Н. А. Богуславскій.

КУРСЪ ГЕОДЕЗІИ

И ПРИЛОЖЕНІЯ ЕЯ

КЪ ТЕХНИЧЕСКИМЪ ИЗЫСКАНІЯМЪ

ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ.

Пособіе для студентовъ, учениковъ техническихъ учебныхъ заведеній и техниковъ путей сообщенія.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Типографія Ю. Н. Эрлихъ, Садовая, № 9.
1897.

Печатано по распоряженію Института инженеровъ путей сообщенія Императора АЛЕКСАНДРА I.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Мой курсъ низшей геодезіи, напечатанный въ 1891 году и предназначенный, главнымъ образомъ, для моихъ слушателей, студентовъ Института инженеровъ путей сообщенія и Института гражданскихъ инженеровъ, разошелся уже давно, благодаря тому, что онъ сослужилъ службу не только моимъ слушателямъ, но также инженерамъ и студентамъ другихъ техническихъ учебныхъ заведеній. Со многихъ сторонъ, послѣдовали требованія напечатать второе изданіе моего курса, въ томъ числѣ и со стороны Директора Института инженеровъ путей сообщенія Михаила Николаевича Герсеванова, содѣйствующаго всѣми силами развитію русской технической литературы.

Я переработалъ мой курсъ почти во всѣхъ его частяхъ. При этомъ пришлось многое ввести вновь, а многое изложить нѣсколько иначе, матеріалъ расположить въ томъ порядкѣ, въ какомъ производится чтеніе. Такъ, въ настоящее время студентамъ I-го курса обоихъ Институтовъ, въ которыхъ читаю геодезію, преподается топографическое черченіе, поэтому главы объ условныхъ знакахъ, горизонталяхъ и штрихахъ пришлось изложить въ началѣ книги. Моимъ курсомъ низшей геодезіи пользовались техники, служащіе по путямъ сообщенія, не изучавшіе физики, поэтому я ввелъ главу о свойствахъ оптическихъ инструментовъ (Гл. IX). Изложенію о мензулѣ и мензульной съемкѣ я отвелъ тотъ объемъ, какой необходимъ инженерамъ и техникамъ, а не топографамъ, которыхъ я не имѣлъ въ виду при составленіи моего курса; на этомъ же основаніи отведено больше мѣста всему тому, въ чемъ встрѣчалась и можетъ встрѣтиться нужда инженеру, напримѣръ, буссолямъ, пантометрамъ, теодолитамъ, дальномѣрамъ, высотомѣрамъ, тахеометрамъ, тахеометрической съемкѣ,

нивеллирамъ, нивеллировкѣ, разбивкѣ кривыхъ, барометрическому нивеллированію, производству изысканій и съемкѣ тригонометрической, которая, въ послѣднее время, употреблялась инженерами при проведеніи дорогъ въ гористыхъ частяхъ Кавказа, а также въ устьяхъ рѣкъ, напримѣръ, въ устьяхъ Дуная. При изложеніи тріангуляціи необходимо было сказать о вычисленіи треугольниковъ малаго изгиба, а потому пришлось предпослать сферическую тригонометрію. Такимъ образомъ, новое изданіе затрогиваетъ вопросы не только низшей геодезіи, но также и высшей, поэтому заглавіе книги я измѣнилъ.

Зная изъ опыта многочисленныхъ экзаменовъ, что именно больше всего затрудняетъ учащагося при изученіи геодезіи, я стремился, насколько умѣлъ и могъ, облегчить трудъ начинающаго изучать геодезію, но вслѣдствіе этого же въ иныхъ мѣстахъ не обошелся безъ повтореній: учащіеся часто не читаютъ всѣхъ главъ, и ссылка въ послѣдующемъ изложеніи на предыдущіе параграфы не всегда помогаетъ лучшему усвоенію, поэтому я иногда повторялъ еще разъ то, что уже раньше изложено; эти повторенія, конечно, увеличили объемъ книги.

Величиною книги начинающій изучать геодезію не долженъ смущаться, помня, что краткое изложеніе часто требуетъ отъ него больше труда, чѣмъ изложеніе подробное, въ особенности при выводѣ формулъ и описаніи инструментовъ, что чертежи и таблицы, помѣщенные въ текстѣ въ большомъ числѣ, также увеличиваютъ объемъ книги.

При изученіи геодезическихъ инструментовъ, одной книги недостаточно, и студентамъ тутъ помогаетъ чтеніе профессоромъ лекцій съ демонстрированіемъ инструментовъ, практическія упражненія подъ его руководствомъ и репетиціи. Безъ такихъ пособій изученіе становится труднѣе, поэтому, кто будетъ изучать геодезію по моему курсу, безъ пособія преподавателя, тому совѣтую получше разсмотрѣть чертежи, изображающіе разрѣзы инструментовъ, а подробное оглавленіе книги можетъ служить ему конспектомъ.

Держащимъ экзаменъ на техника путей сообщенія достаточно будетъ изъ 42-хъ главъ книги усвоить только 29, именно слѣдующія: 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 25, 26, 27, 28, 29, 30 (§§ 325, 326, 327), 35, 36, 38, 39, 40 и 41-ю.

Въ моей книгѣ помѣщены части тѣхъ или другихъ таблицъ; въ дѣйствительной практикѣ, въ большинствѣ случаевъ, придется поль-

зоваться полными таблицами особыхъ изданій, здѣсь же онѣ приведены лишь для того, чтобы изучающій конкретно зналъ о существованіи этихъ таблицъ и расположеніи ихъ матеріала.

Сочиненій по геодезіи очень много *), и тѣ изъ нихъ, по которымъ я изучалъ эту науку, мною перечислены,—было бы смѣшно думать, что составителю курса геодезіи можетъ принадлежать самое существо предмета. Мнѣ принадлежитъ здѣсь общая система изложенія и самое изложеніе, мѣстами совершенно не встрѣчающееся въ другихъ сочиненіяхъ, какъ, напримѣръ при выводѣ тѣхъ или другихъ формулъ, а также изложеніе нѣкоторыхъ пріемовъ употребленія инструментовъ и ихъ повѣрокъ, выработанныхъ собственною практикою. При этомъ я старался изложить курсъ согласно съ современнымъ состояніемъ преподаваемой мною науки, отмѣчая въ немъ все, что можетъ характеризовать развитіе и практическое примѣненіе геодезіи въ Россіи.

Н. А. Богуславскій.

15 апрѣля 1897 г.

*) Prof. D-r O. Boersch. Geodätische Literatur. 1889.

Замѣченныя опечатки.

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
3	—	11	до Р. Х Птоломей,	до Р. Х. Птоломей,
5	8	—	метровъ	метрамъ
»	16	—	метровъ	метрамъ
6	—	13	верстъ	верстамъ
8	7	—	BE	BC
21	4	—	проекціи	изображеніе проекцій
24	—	18	отъ конца A	отъ конца B
24	На черт. 14-мъ		54	55.
55	—	6	карандашемъ	карандашомъ
68	—	11	ABC	ACB
76	—	12	второй	первой
76	—	12	первую	вторую
78	12	—	косинусъ	синусъ
78	—	1	$\cos C$	$\cos A$
89	11	—	$\dfrac{\sin\frac{A+B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}$	$\dfrac{\cos\frac{A+B}{2}}{\sin\frac{C}{2}}$
92	4	—	$\dfrac{\sin\frac{A+B}{2}}{\sin\frac{A+B}{2}}$	$\dfrac{\sin\frac{A-B}{2}}{\sin\frac{A+B}{2}}$
93	—	14	Два	Три
97	—	3	вмѣсто $\sin\frac{c}{2}$ и $\cos\frac{c}{2}$	вмѣсто $\sin\frac{C}{2}$ и $\cos\frac{C}{2}$
98	2	—	$\dfrac{\sin\frac{a}{2}\sin\frac{a}{2}}{\cos\frac{c}{2}}$	$\dfrac{\sin\frac{a}{2}\sin\frac{b}{2}}{\cos\frac{c}{2}}$

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
99	9	—	$-\sin\frac{C-C_1+\varepsilon}{4}$	$-\sin\frac{C-C+\varepsilon}{4}$
100	4	—	$\sin a \sin c \cos A$	$\sin b \sin c \cos A$
101	—	5	катангенсъ	котангенсъ
102	11	—	$\sin c$	$\sin C$
104	5	—	$\frac{1-tg\frac{B-x}{2}}{1-tg\frac{B+x}{2}}$	$\frac{1+tg\frac{B-x}{2}}{1-tg\frac{B-x}{2}}$
104	5	—	$\frac{1+tg\frac{B-x}{2}}{1-tg\frac{B_1+x}{2}}$	$\frac{1-tg\frac{B+x}{2}}{1+tg\frac{B+x}{2}}$
110	4	—	произведенію рядомъ	произведенію синусовъ рядомъ
111	—	6	$\frac{a^4}{2.2.4}$	$\frac{a^4}{2.3.4}$
111	8	—	$a^2=b^2+c^2-2bc\cos A'$	$a^2=b^2+c^2-2bc\cos A'$
112	6	—	$+\frac{c^4}{24R^4}$	$-\frac{c^4}{24R^4}$
112	—	5 и 2	$-6b^2c^2$	$+6b^2c^2$
115	—	12	$tayn\frac{A-B}{2}$	$tang\frac{A-B}{2}$
115	—	5	опредѣляющія	опредѣляющія
120	черт. 83		d	d_1
121	—	2	точку c	точку e
122	5	—	fd	fd_1
134	—	6	5 минутамъ	5 минутамъ
141	—	9	112	111
»	—	5	линіи ab	линіи ab параллельной LA
142	11	—	112	111
142	—	7	88	112
144	8	—	На черт. 90-мъ	На черт. 114-мъ
148	—	11	точка a	точка b
163	—	1	лавнаго	главнаго
167	—	4	двояко-вогнутаго	выпукло-вогнутаго
170	1	—	IK	JK
175	—	4	(черт. 148)	(черт. 147)
176	8	—	(§ 121)	(§ 120)
183	—	16	бо́льшое	большое
184	—	19	оъ возрастаніемъ	съ уменьшеніемъ

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
185	—	8	отъ стекла	стекла отъ
190	6—7	—	инструментахъ	инструментовъ
208	8	—	на оси ν	на оси v
212	—	13	AO » 0°	AO » 90°
212	—	12	AW » 0°	AW » 90°
226	4	—	(черт. 204)	(черт. 208)
233	—	6	наштативъ	на штативъ
234	—	13	B_2:	B_2.
234	—	—	черт. 218	черт. 218 a
234	—	—	черт. 218	черт 218 b
235	5	—	кольцо bb, раздѣленное	кольцо, раздѣленное
235	—	9	g_1	g,
237	4—5	—	предметрами	предметами
241	3	—	Ганіометръ	Гоніометръ
245	19	—	трубы	трубу
253	6	—	COL.	GOL и GOK
255	—	2	$BM = h_1$	$AM' = h_1$
256	10	—	$h_1 + u - i_1 = i - (h + u)$	$h_1 + u - i = i_1 - (h + u)$
264	2	—	H_z	Hz
284	—	13	теодалитѣ	теодолитѣ
291	13	—	случѣ	случаѣ
292	—	10	$D\ tg\ \frac{\delta}{2}$	$d\ tg\ \frac{\delta}{2}$
292	—	8	$D =$	$d =$
292	—	6	$D = Ag$	$d = Ag$
292	—	5	исключая D	исключая d
294	8	—	$tg\left(\alpha + \frac{\alpha}{2}\right)$	$tg\left(\alpha + \frac{\delta}{2}\right)$
296	14	—	означенной	означенный
298	—	5	падующіе	падающіе
299	—	7	$\alpha_1\beta_1F'_1$	$\alpha\beta F_1$
299	—	4	$\frac{d}{d_1} = \frac{1}{a_1b_1}$	$\frac{d}{d_1} = \frac{g}{a_1b_1}$
300	—	10	$\frac{EF_1}{n(F + F_1 - a)}$	$\frac{FF_1}{n(F + F_1 - a)}$
301	—	7	перенести и два знака	перенести на два знака
302	—	5	винта $l_1\ l_1$	винта $l,\ l$
303	—	17	(черт. 267)	(черт. 207)
303	—	19	Шмалькадера	Шмалькальдера
303	—	18	Шмалькадера	Шмалькальдера
304	4	—	$i = Ag\ tg\ \alpha$	$i = D\ tg\ \alpha$

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	*Напечатано.*	*Сльдуетъ.*
304	—	6	$BE = J + (V - i) = -(i - V)$	$BE = J - (V - i) = = J + (i - V)$
305	—	9	$H - H_1 + J = i - V$	$H - H_1 + J = i + V$
311	—	4	$EC = V_1$	$EC_1 = V_1$
313	5	—	BCD	BCM
331	—	7	$D = Ag\cos\alpha - \frac{g}{4A}\sin^2\alpha$	$D = Ag\cos^2\alpha - \frac{g}{4A}\sin^2\alpha$
336	—	8	$H_1 = H_0 + J \pm (i - V)$	$H_1 = H_0 + J + (i - V)$
346	—	14	кипрегляхъ	кипрегеляхъ
354	—	10	$H_1 = H_0 + J \pm (i - V)$	$H_1 = H_0 + J + (i - V)$
365	—	2	вотй	этой
366	6	—	Точку B	Точку D
391	3	—	AO	AC
394	15	—	N_1NN	NNN
394	—	11	ρ	S
394	—	1	откоса	отказа
397	—	1	(черт. 330 a)	(черт. 230 a)
398	7	—	N	N_1
402	—	9	брульены	брульоны
404	—	2	K_1	K
408	черт. 333		$180^\circ - \alpha$	$180^\circ - 2\alpha$
413	7	—	такъ же, какъ	такъ, какъ
415	—	2	$f_1 f'$	f, f'
418	—	4—3	партативенъ	портативенъ
421	—	11	P_1	P_2
422	черт. 351		$45^\circ - b$	$45^\circ + b$
423	1	—	при M	при N
423	—	16	O	Q
430	черт. 357		$GFFK$	$GFEK$
431	2	—	EA	EK
433	1	—	BF, а не BD	BD, а не BF
433	2	—	рейки BF	рейки BD
437	5	—	F_2C_2	F_2G_2
439	—	13	Арау	Аарау
440	20	—	(ob), окулярнаго (ok)	(Ob), окулярнаго (OK)
442	10	—	центръ сѣтки объектива	центры сѣтки и объектива
445	8	—	l и l	l и l'
445	3	—	G	G'
445	5	—	r_1, r' и r	r_1, r' и r''
446	2	—	g	q
446	3	—	L	L'

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
446	—	10	λ	l
446	—	2	α'	L'
446	12	—	r и r	r и r'
455	4	—	верхнію	верхнюю
459	8	—	α	d
462	—	9	производя щихъ	производящихъ
478	—	6	$99^c,743$	$95^c,743$
480	—	11	точка $^7/_3 + 48$	точка $^7/_3 + 45$
485	—	2	,и что	, что
486	—	6	$x = h + h_1 + tg\,\theta \,.\, \Delta''$	$x = h - h_1 + tg\,\theta \,.\, \Delta''$
486	6	—	$(h-h_1) - (h'-h'_2)$	$(h-h_1) - (h'-h'_1)$
491	въ формулѣ		$x = \frac{Y}{\sqrt{2D}}$	$X = \frac{Y}{\sqrt{2D}}$
495	—	2	$Z\Delta$	$z\Delta$
496 и 497	—	—	16029	15983
497	—	5	8015	7992
498	2	—	сочиненіахъ	сочиненіяхъ
498	—	17	онѣ должны	они должны
498 и 500	—	—	18454	18401
500	—	4	отчего	отъ чего
502	7	—	высеребрянной	высеребренной
502	—	18	опустить	опускать
503	4	—	Фартена-Фуса	Фортена-Фуса
504	—	11	барометровъ	барометровъ
506	—	13	оси v	оси V
506	—	16	концомъ b	концомъ c
526	14	—	до $0{,}001''$	до $0{,}01''$
535	—	5	(черт. 416 a);	(черт. 416 b);
537	—	4	Кишенева	Кишинева
539	16	—	придѣлавается	придѣлывается
550	черт. 427		BO	BOC_1
551	3	—	d,	d_2,
551	12	—	$s_1 = \frac{\delta}{2} \cdot \frac{sin\ O}{sin\,(O-x)}$	$\rho_1 = \frac{\delta_1}{2} \cdot \frac{sin\ O}{sin\,(O-x)}$
557	12,13 и 14	—	$\frac{l_1 i^2}{2} sin\ 1''$	$\frac{l_1 i^2}{2} sin^2\ 1''$
557	—	8	$- \frac{l\ sin\ 1''}{2} \Sigma i^2$	$k\Sigma\lambda\,(t-t_0) - \frac{l\ sin^2\ 1''}{2} \Sigma i^2$
557	—	7	$- \frac{sin\ 1''}{2} \Sigma\lambda i^2$	$- \frac{sin^2\ 1''}{2} \Sigma\lambda i^2$

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
563	—	6	$L = ml_0 + \frac{k_2}{k_1 - k_2} \sum_1^m (l_1 - l_2)$	$L_1 = ml_0 + \frac{k_2}{k_1 - k_2} \sum_1^m (l_1 - l_2)$. Средняя ариѳметическая $\frac{L + L_1}{2}$ опредѣлитъ длину базиса.
565	—	18	(§§ 43, 59 и 50)	(§§ 43, 59 и 60)
566	—	1	$\frac{f}{a} = \frac{\sin A_1}{\sin A_2} = \frac{\sin A_1}{\sin F_2}$	$\frac{f}{a} = \frac{\sin A_1}{\sin F_2}$
566	12	—	$A + B + C - (180° - \varepsilon) = 0$	$A + B + C - (180° + \varepsilon) = 0$
567	3	—	$1 = \frac{\sin B_1 \sin B_1 \sin D_1}{\sin A_2 \sin C_2 \sin C_2}$	$1 = \frac{\sin B_1 \sin C_1 \sin D_1}{\sin A_2 \sin B_2 \sin C_2}$
568	15	—	уголъ $BDE = D_1$	уголъ $BDC = D_1$
568	—	1	диференціей	дифференціей
570	6	—	(§ 349)	(§ 348)
573	10	—	$a_1 a_2 \ldots,$	$a_1 \ldots a_n,$
584	—	3	$(d\,tg\,\alpha_1 - V)$	$(d\,tg\,\alpha_2 - V_1)$
597	10	—	(черт. 442)	(черт. 441)
608	4	—	рознящимся	разнящимся
612	черт. 451		GG_1G	GG_1G'
612	—	6	GG	GG'
616	на черт. 457 пропущена буква			K
621	2	—	падѣлочнаго	подѣлочнаго
639	17	—	игла p	игла f
641	2	—	$DD_1D_2B_1BA$	$DD_1D_2B_1AB$
642	10	—	изъ точки B	изъ точки B_1
643	—	—	$a\,(m_{n+1} - m_n)$	$a\,(m_{n+1} - m_1)$
645	—	15	передъ $(m_2 - m_1)$	передъ $(m_3 - m_2)$
655	—	15	тѣмъ точнѣе будетъ	тѣмъ точнѣе, чѣмъ точнѣе будетъ
656	9	—	отъ точки D	отъ точки A
659	—	18	$\alpha = 3408 \frac{d}{R}$	$\alpha = 3439 \frac{d}{R}$
664	—	5	192,28	192,14
664	—	2	2,28	2,14
669	11	—	найти MN	найти AM
670	12	—	середину хорды O	середину хорды G
675	3	—	бесектрисъ	бисектрисъ
678	10	—	B_1E	B_1D

Страница.	*Строка сверху.*	*Строка снизу.*	*Напечатано.*	*Слѣдуетъ.*
679	12	—	$R = \frac{[4k^2n^2 + x_0^4]^{3/2}}{4k^2n^2x_0}$	$R = \frac{[4k^2n^2 + x_0^4]^{3/2}}{8k^2n^2x_0}$
679	15	—	$R = \frac{(2kn^2)}{8k^2n^2x_0}$	$R = \frac{(2kn)^3}{8k^2n^2x_0}$
682	13	—	И одостигая	Но достигая
686	—	9	бисектрисъ PR	бисектрисъ PT
687	18	—	бисектрисъ PR	бисектрисъ PT
701	15	—	50 сажень	50 саженъ
705	18	—	обоп берега	оба берега
714	—	7	каждые сто	каждыя сто
717	15	—	$\frac{dU}{ab}$	$\frac{dU}{db}$
717	—	2	$\Sigma n = n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 + \ldots$	$\Sigma n^2 = n_1^2 + n_2^2 + n_3^2 + \ldots$
726	—	4	отъ 491-го	отъ 497-го
729	—	2	вѣтряной	вѣтреной
732	2	—	$H_1 - h : h - H_2 = d_1 : d_2$	$(H_1 - h) : (h - H_2) = d_1 : d$
741	14	—	проходятъ	проходитъ
743	3, 7 и 14	—	11.100	11.000
743	15	—	18.500	18.400
756	—	1	по двѣ	двѣ

Глава I.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЯ ПОНЯТІЯ.

1. Предметъ геодезіи и раздѣленіе ея на высшую и низшую. Съ тѣхъ поръ, какъ люди начали разселяться по землѣ, для нихъ являлась потребность въ искусствѣ дѣленія на части отдѣльныхъ участковъ земной поверхности. Искусство это древними греками было названо *геодезіей*. Такъ какъ дѣленіе на части всякой поверхности совершается по правиламъ геометріи, то изъ этого видно, что потребность въ искусствѣ дѣленія земли на части должна была привести къ открытію истинъ геометріи. Основанная на истинахъ геометріи, геодезія изъ искусства сдѣлалась наукой и, какъ таковая, существуетъ болѣе 2000 лѣтъ, принадлежа къ числу прикладныхъ математическихъ наукъ. Говоря вообще, геодезія даетъ способы изслѣдованія вида и величины земли: опредѣленіемъ положенія различныхъ точекъ земной поверхности, измѣреніемъ различныхъ линій, измѣреніемъ различныхъ частей земной поверхности и изображеніемъ этихъ частей на бумагѣ въ подобномъ, но уменьшенномъ видѣ.

Технику и инженеру, во многихъ случаяхъ, необходимо имѣть ясное представленіе о той или другой части земной поверхности, объ ея очертаніяхъ, объ ея изгибахъ. Такъ, прежде чѣмъ приступить къ проекту какого либо зданія или сооруженія, проектирующій долженъ имѣть ясное представленіе о мѣстности, на которой желаетъ возвести то или другое сооруженіе. Напримѣръ: онъ долженъ знать ширину и поперечное сѣченіе (или профиль) русла рѣки въ томъ мѣстѣ, гдѣ надлежитъ построить мостъ; онъ долженъ знать длину, ширину и очертаніе мѣста, гдѣ будетъ построенъ домъ, иначе въ проектѣ можетъ оказаться ширина или длина дома больше ширины или длины даннаго подъ постройку мѣста. При проектированіи дороги, канала, водоснабженія, онъ необходимо долженъ знать рельефъ

мѣстности, выбираемой для этихъ сооруженій. Вообще, инженеру, при возведеніи того или другого сооруженія на земной поверхности, приходится часто пользоваться правилами геодезіи.

Всякій сельскій хозяинъ или лѣсничій долженъ имѣть совершенно ясное представленіе о величинѣ и формѣ дачи, гдѣ онъ хозяйничаетъ, чтобы съ наибольшею выгодою распредѣлить сѣвообороты, лѣсосѣки и тому подобныя хозяйственныя операціи.

На войнѣ знаніе мѣстности даетъ возможность заранѣе обсудить выгоды и невыгоды для движенія войскъ по той или другой части земной поверхности, указываетъ, гдѣ можно укрыть свои войска и съ какихъ мѣстъ удобнѣе обстрѣливать непріятеля, вести на него атаку; тогда какъ незнаніе особенностей мѣстности затрудняетъ управленіе войсками, влечетъ за собою ошибочныя распоряженія, а иногда бываетъ источникомъ неудачъ и даже гибели цѣлыхъ армій.

Конечно, есть очень много и другихъ случаевъ, когда необходимо имѣть ясное представленіе о видѣ и величинѣ какой либо части земной поверхности, и, слѣдовательно, во всѣхъ этихъ случаяхъ приходится пользоваться услугами геодезіи. Географія была бы невозможна безъ геодезіи.

Геодезія раздѣляется на *низшую* и *высшую*. Низшая геодезія, иначе называемая *топографіею*, разсматриваетъ и даетъ способы измѣрять и изображать на бумагѣ малыя части земной поверхности, могущія быть принятыми, безъ большой погрѣшности, за плоскости. Изображеніе такихъ частей на бумагѣ называется *планомъ*.

Высшая геодезія имѣетъ предметомъ своимъ собственно изслѣдованіе вида и величины земли. Она даетъ способы измѣренія и изображенія на бумагѣ такихъ частей земной поверхности, которыя не могутъ быть развернуты на плоскость, безъ нѣкотораго измѣненія въ относительномъ расположеніи вида и величины этихъ частей. Изображеніе такихъ частей на бумагѣ называется *картою*.

2. Общія понятія о фигурѣ земли. Въ самыя отдаленныя отъ насъ времена человѣкъ стремился разрѣшить вопросъ о фигурѣ земли. Въ глубокой древности полагали, что земля, будучи плоской, покоится на трехъ китахъ или на трехъ слонахъ. Но уже и въ тѣ времена начали сомнѣваться въ вѣрности такого предположенія.

Гдѣ бы мы ни находились на земной поверхности, она представляется намъ въ видѣ обширной криволинейной поверхности, очень

близко подходящей къ плоскости. На морѣ же эта поверхность представляется плоскостью, ограниченною совершенно правильнымъ кругомъ, въ центрѣ котораго находится самъ наблюдатель. Кругъ этотъ называется *видимымъ горизонтомъ*.

При передвиженіи съ одного мѣста моря на другое, наблюдатель постоянно видитъ себя въ центрѣ круга, имѣющаго одинъ и тотъ же размѣръ. Если наблюдатель находится въ болѣе возвышенныхъ точкахъ надъ поверхностью моря, то кругъ видимаго горизонта дѣлается все больше и больше, и, при нахожденіи наблюдателя на высотѣ 10 тысячъ футовъ надъ поверхностью моря, радіусъ этого круга доходитъ до 185 верстъ.

Приближаясь къ какому либо отдаленному предмету, находящемуся или въ морѣ, или на ровной части земной поверхности, наблюдатель первѣе всего видитъ вершину этого предмета, затѣмъ предметъ этотъ все болѣе и болѣе начинаетъ открываться отъ вершины къ подошвѣ и, наконецъ, при дальнѣйшемъ къ нему приближеніи, онъ дѣлается виденъ весь, по всей его высотѣ. Если бы земная поверхность была плоская, то подобнаго явленія нельзя было бы наблюдать: мы видѣли бы предметы по всей ихъ высотѣ, независимо отъ того, находятся ли они вблизи, или вдали отъ насъ.

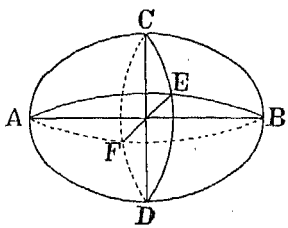
Многочисленныя наблюденія подтвердили, что всегда и на всѣхъ мѣстахъ земной поверхности видимый горизонтъ представляется въ видѣ круговъ, и что отдаленные предметы, при приближеніи къ нимъ, начинаютъ виднѣться отъ вершины къ подошвѣ. Изъ этихъ наблюденій съ давнихъ временъ выводили заключеніе, что земля *шарообразна*.

Многіе ученые полагаютъ, что первый, кто принималъ землю за шаръ, былъ Пиѳагоръ, жившій за пять вѣковъ до Р. Х Птоломей, жившій во II столѣтіи христіанской эры, уже выражалъ сомнѣніе въ томъ, что земля представляетъ собою точный шаръ. Съ возрожденіемъ наукъ въ XVI вѣкѣ, многіе стали заниматься вопросомъ о фигурѣ земли, и въ числѣ ихъ были Гюгенсъ и Ньютонъ. Ньютонъ высказывалъ, въ видѣ предположенія, что земля должна имѣть форму эллипсоида вращенія, сжатаго у полюсовъ. Двѣ французскія экспедиціи, въ 1735 и 1736 г., одна въ Перу, а другая въ Лапландію, для изслѣдованія вида земли, подтвердили предположеніе Ньютона. Въ концѣ XVIII вѣка надъ вопросомъ о видѣ и величинѣ земли работали Д'Аламберъ, Мишель, Борда и Лапласъ. Работы ученыхъ относительно

вида и величины земли продолжались и въ текущемъ вѣкѣ: Литровъ, Бессель, Гаусъ, Кларкъ, Шубертъ, Струве, Савичъ, Стебницкій, Слуцкій, Ждановъ и другіе много потрудились надъ этимъ предметомъ.

Всѣ эти изслѣдованія ученыхъ привели къ заключенію, что форма земли отличается отъ формы шара и наиболѣе подходитъ къ *эллипсоиду вращенія*, если не принимать во вниманіе отдѣльныхъ мѣстныхъ возвышеній земной поверхности.

Эллипсисомъ называютъ замкнутую кривую, отличающуюся отъ круга тѣмъ, что діаметры ея неравны, отчего кривая имѣетъ форму вытянутаго круга; наибольшій діаметръ ея называется *большою* осью эллипсиса, а наименьшій — *малою*. Если эллипсисъ вращается около малой или большой своей оси, то образуется тѣло вращенія, называемое *эллипсоидомъ вращенія*. (Черт. 1).



Черт. 1.

Земной *эллипсоидъ вращенія* происходитъ отъ вращенія около малой оси эллипсиса.

Болѣе подробныя изслѣдованія вида земли привели къ заключенію, что земля не можетъ быть разсматриваема въ точности какъ эллипсоидъ вращенія, что хотя она и близко подходитъ къ формѣ этого послѣдняго, тѣмъ не менѣе, истинная ея форма, называемая *геоидомъ*, отличается отъ эллипсоида. Но какую форму имѣетъ въ дѣйствительности геоидъ, вопросъ этотъ, во всей его точности и полнотѣ, нельзя считать еще окончательно рѣшеннымъ.

Если большую полуось земного эллипсоида назовемъ буквою a, а малую буквою b, то отношеніе $\frac{a-b}{a}$ называется *сжатіемъ* земли. Величины большой полуоси и сжатія, выведенныя геометрами изъ измѣреній, произведенныхъ въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности, показаны въ слѣдующей таблицѣ:

	Вальбекъ 1819 г.	Эри 1830 г.	Бессель 1841 г.	Кларкъ 1880 г.	Бакедорфъ 1888 г.	Ждановъ 1893 г.
Большая полуось въ метрахъ.	6376896	6377490	6377397	6378249	6378344	6377717
Сжатіе . . .	$\frac{1}{302,8}$	$\frac{1}{299,3}$	$\frac{1}{299.2}$	$\frac{1}{293,5}$	$\frac{1}{298,6}$	$\frac{1}{299,7}$

Такія значительныя разницы въ величинахъ большой оси нельзя объяснить неточностью измѣреній или ошибками при вычисленіи, а потому остается лишь одинъ выводъ, что большая ось не вездѣ одинакова или что земля отступаетъ отъ формы эллипсоида вращенія.

3. Названія частей земной поверхности. Принимая землю за шаръ, считаютъ радіусъ ея равнымъ 6370279 метрамъ. Въ вычисленіяхъ же приближенныхъ считаютъ радіусъ земли равнымъ 6370000 метровъ или 5973 верстамъ. При вычисленіяхъ, еще менѣе точныхъ, принимаютъ радіусъ земли равнымъ 6000 верстъ. Малая ось земного эллипсоида называется *осью земли*, а концы этой оси—*полюсами*.

Сомкнутыя кривыя, образуемыя отъ пересѣченія земного эллипсоида плоскостями, проходящими черезъ ось земли, называются *меридіанами*. Такимъ образомъ, для каждой точки земли имѣется свой меридіанъ, или, какъ говорятъ, меридіанъ мѣста.

Длина четверти земного меридіана равна 10.000.000 метровъ.

Сомкнутыя кривыя, образуемыя отъ пересѣченія земного эллипсоида вращенія плоскостями перпендикулярными къ земной оси, называются *параллелями*. Параллель, отстоящая на равныхъ разстояніяхъ отъ полюсовъ земли, называется *экваторомъ*.

Линія, по которой дѣйствуетъ на земной поверхности сила тяжести, называется линіей *отвѣсной*, а плоскость, проходящая чрезъ отвѣсную линію,—отвѣсною плоскостью.

Линія и плоскость, перпендикулярныя къ отвѣсной линіи, называются *горизонтальными* линіей и плоскостью.

Тонкая веревка или проволока, прикрѣпленная однимъ концомъ къ неподвижному предмету, находящемуся на земной поверхности, напр. къ потолку какого либо зданія, и натянутая тяжестью, привѣшенною къ другому концу проволоки или веревки, называется *отвѣсомъ*; ось цилиндра, образующаго проволоку или веревку, будетъ, слѣдовательно, *отвѣсной линіей*.

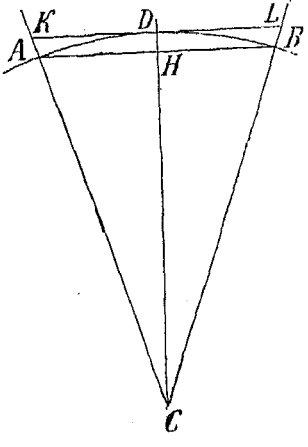
Уголъ, составленный отвѣсною линіей въ какой либо точкѣ земной поверхности съ экваторомъ, называется *широтою этой точки* или *широтою мѣста*. Широту мѣста выражаютъ въ градусахъ, минутахъ и секундахъ и считаютъ ее отъ нуля до 90°.

Меридіанъ, проходящій чрезъ пассажный инструментъ гринвичской (въ Англіи) астрономической обсерваторіи, въ настоящее время,

принято считать за *первый меридіанъ*. Дуга, выраженная въ градусахъ, минутахъ и секундахъ отъ перваго меридіана до меридіана какого угодно другого мѣста и считаемая по параллели этого послѣдняго или по экватору до меридіана мѣста, называется *долготою* этого мѣста.

Географическое положеніе точки земного эллипсоида вполнѣ опредѣлено, если извѣстна долгота и широта этой точки. Долгота и широта мѣста называются *координатами* точки земной поверхности, а опредѣленіе долготъ и широтъ точекъ земной поверхности составляетъ предметъ *высшей геодезіи и астрономіи*.

4. Части земной поверхности, измѣряемыя пріемами низшей геодезіи. Низшая геодезія имѣетъ предметомъ своимъ, какъ уже выше было сказано, разсмотрѣніе и изображеніе на бумагѣ незначительныхъ участковъ земли. Дугу, стягивающую уголъ въ 1°, описанную такимъ радіусомъ, какъ радіусъ земного шара, можно принять за прямую линію, а площадь, ограниченную такими дугами или линіями,—за плоскость.



Черт. 2.

Дѣйствительно, возьмемъ кругъ, назовемъ буквой s длину дуги ADB въ одинъ градусъ (черт. 2) этого круга, длину касательной KDL буквой t, а длину хорды AB буквой d. Предполагая радіусъ этого круга равнымъ 6000 верстъ, сдѣлаемъ надлежащія вычисленія, на основаніи правилъ тригонометріи, и тогда получимъ:

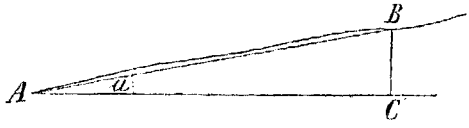
$t - s = 1{,}36$ саж. и $s - d = 0{,}61$ саж.

Разницы эти настолько малы, что дугу въ 1° земной поверхности принимаютъ сливающеюся съ касательной и хордою. А такъ какъ величина этой дуги, т. е. $\frac{1}{360}$ дуги большого круга на земной поверхности, равна почти 105 верстамъ, то правилами низшей геодезіи обыкновенно пользуются при измѣреніи пространствъ небольшихъ, имѣющихъ длину и ширину не болѣе 100 верстъ, или площадей, не превышающихъ 10.000 кв. верстъ. Если длину дуги на земномъ шарѣ взять равною 20 верстамъ, то разница между такою дугою и касательною къ ней была бы не болѣе 0,01 сажени.

5. Заложеніе, или проекція линіи, взятой на земной поверхности. Если извѣстна длина линіи и уголъ, составленный ею съ горизонтомъ, то извѣстна и проекція этой линіи на плоскости горизонтальной. Дѣйствительно, если линія AB наклонена къ горизонту подъ угломъ a, то проекція ея AC опредѣлится изъ прямоугольнаго треугольника (черт. 3), какъ катетъ по гипотенузѣ, т. е.

$$AC = AB \cos a.$$

По этой формулѣ можно вычислить проекціи для различныхъ угловъ.



Черт. 3.

Изъ слѣдующей таблицы видно, какъ измѣняется длина проекціи линіи во сто саженъ съ измѣненіемъ угла наклоненія.

Углы.	Проекціи линіи въ 100 с.	Углы.	Проекціи линіи въ 100 с.	Углы.	Проекціи линіи въ 100 с.
10′	100	1°	99,985	5°	99,619
20′	99,998	2°	99,939	6°	99,452
30′	99,996	3°	99,863	7°	99,255
40′	99,993	4°	99,756	8°	99,027
50′	99,989				

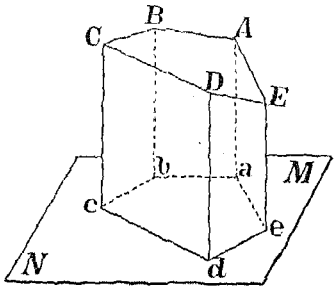
Такимъ образомъ, при углѣ въ 4° разница между длиною линіи въ сто саженъ и длиною ея проекціи равняется почти 0,25 сажени. При углѣ въ 8° разница доходитъ почти до одной сажени. Итакъ, до 4° разницу между линіей и ея проекціей можно считать ничтожной.

6. Плоскость проекцій для частей земной поверхности, изображаемыхъ на бумагѣ по правиламъ низшей геодезіи. Если вообразить подъ частью земной поверхности горизонтальную плоскость, опустить изъ разныхъ точекъ этой поверхности перпендикуляры на горизонтальную плоскость и затѣмъ основанія перпендикуляровъ соединить линіями, согласно соотвѣтствующимъ начертаніямъ пред-

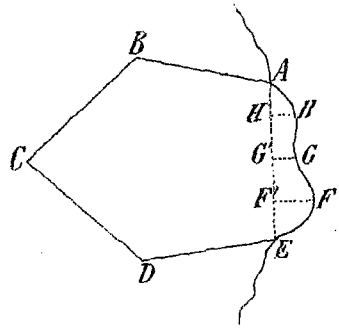
метовъ на землѣ, то на горизонтальной плоскости получится то, что называется *горизонтальной проекціей* части земной поверхности.

На чертежѣ 4-омъ взята нѣкоторая поверхность $ABCDE$ и изъ вершинъ ея A, B, C, D и E опущены перпендикуляры на горизонтальную плоскость NM; подошвы этихъ перпендикуляровъ называются *проекціями* вершинъ A, B и т. д., а линіи ab, bc, cd и т. д. *проекціями* линій AB, BC, CD и т. д. Весь же многоугольникъ $abcde$ называется *проекціей* поверхности $ABCDE$.

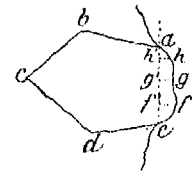
7. Понятіе о планѣ части земной поверхности. Если, руководствуясь геометрическими правилами, построить на бумагѣ, въ по-



Черт. 4.



Черт. 5.



Черт. 6.

требномъ уменьшеніи, фигуру подобную полученной горизонтальной проекціи, то на бумагѣ получится чертежъ, называемый *планомъ*.

Слѣдовательно, планомъ называется изображеніе на бумагѣ, въ уменьшенномъ видѣ, горизонтальной проекціи части земной поверхности со всѣми предметами, находящимися на ней.

8. Что надо измѣрить въ полѣ, чтобъ составить планъ мѣстности. Положимъ, что имѣется нѣкоторая часть земной поверхности, и требуется составить планъ этой мѣстности. Тогда поступаютъ слѣдующимъ образомъ: измѣряютъ всѣ стороны, ихъ углы наклоненія съ горизонтальною плоскостью и двугранные углы, составленные отвѣсными плоскостями, проходящими чрезъ линіи, ограничивающія данную мѣстность, и, вычисливъ проекціи линій, получаютъ проекцію данной поверхности; пусть она будетъ $ABCDE$ (черт. 5). Принявъ для всѣхъ измѣренныхъ линій одно уменьшеніе, напр. n, наносятъ на бумагу (черт. 6) линію $ab = \frac{AB}{n}$, строятъ при точкѣ b

уголъ $abc = ABC$; потомъ, по направленію линіи bc, откладываютъ часть $bc = \frac{BC}{n}$, затѣмъ уголъ $bcd = \angle BCD$ и т. д. Тогда на бумагѣ получается многоугольникъ $abcde$, подобный многоугольнику $ABCDE$, проекціи данной мѣстности, и называемый планомъ данной мѣстности.

Итакъ, чтобы составить планъ, необходимо, во 1-хъ, измѣрить линіи, во 2-хъ, — измѣрить углы наклоненія линій къ горизонту, если эти углы больше 4°, въ 3-хъ, — опредѣлить величины проекцій этихъ линій, въ 4-хъ, — измѣрить углы, составленные проекціями этихъ линій на плоскости горизонтальной.

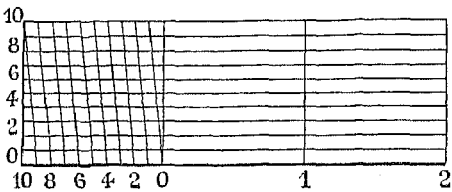
9. Что такое масштабъ. Выше мы сказали, что планъ мѣстности составляется въ уменьшенномъ видѣ. Если длина горизонтальной проекціи линіи на землѣ равна AB (черт. 5 и 6), а на бумагѣ она изображена линіей ab, то $ab = \frac{AB}{n}$, гдѣ n нѣкоторое цѣлое число. Написанное выше равенство можно изобразить такъ:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{1}{n}.$$

Отношеніе $\frac{1}{n}$ линіи на планѣ къ проекціи соотвѣтствующей линіи мѣстности называется *масштабомъ* (мѣрная палка). Итакъ, *масштабъ выражается дробью, у которой числитель единица, а знаменатель число, показывающее, во сколько разъ уменьшены на планѣ проекціи каждой линіи мѣстности.* Напр., если планъ составленъ въ масштабѣ $\frac{1}{8.400}$, то это значитъ, что проекція каждой линіи на землѣ болѣе своего изображенія на планѣ въ 8.400 разъ, или что линія на планѣ, равная одному дюйму, соотвѣтствуетъ линіи на землѣ въ 8.400 дюймовъ, или въ 100 саженъ. Если масштабъ равенъ $\frac{1}{10.000}$, то это значитъ, что проекція данной линіи на землѣ больше своего изображенія въ 10.000 разъ, и что линія на планѣ, равная одной сотой сажени, или одному сантиметру, соотвѣтствуетъ линіи на землѣ въ 100 саженъ, или въ 100 метровъ.

Масштабъ, выраженный дробью, называется *дробнымъ масштабомъ* или *численнымъ масштабомъ*. Масштабъ же, при которомъ надо знать, сколько саженъ на земной поверхности соотвѣтствуютъ

данной единицѣ длины на планѣ, напр. одному дюйму, одной соткѣ сажени, одному сантиметру, называется *линейнымъ масштабомъ*. Линейный масштабъ удобнѣе дробнаго, потому что даетъ возможность опредѣлять длину простымъ измѣреніемъ на планѣ. Для большей точности употребляютъ еще такъ называемый *поперечный масштабъ*, построеніе котораго извѣстно читателю изъ элементарной геометріи (черт. 7).



Черт. 7.

Смотря по тому, сколько саженъ заключается въ одномъ дюймѣ плана, масштабы называются сотенными, двухсотенными, верстовыми, трехверстными, пятиверстными и т. д. Смотря по величинѣ знаменателя дробнаго масштаба, этотъ послѣдній называется *крупнымъ* или *мелкимъ*. Именно, чѣмъ меньше знаменатель, тѣмъ масштабъ крупнѣе. Масштабы, имѣющіе болѣе 250 саженъ въ дюймѣ, называютъ масштабами мелкими, масштабы же, имѣющіе въ одномъ дюймѣ менѣе 250 саженъ, называются крупными.

10. Какъ отъ дробнаго или численнаго масштаба перейти къ линейному. Изъ изложеннаго выше становится совершенно понятно, какъ отъ дробнаго масштаба перейти къ линейному; для этого необходимо знаменателя дробнаго масштаба раздѣлить или на 84, или на 100, смотря по тому, хотятъ ли линейный масштабъ выразить въ дюймахъ, или въ сотыхъ частяхъ единицы мѣры: сажени или метра. Такъ, если дробный масштабъ равенъ $\frac{1}{21.000}$, то, раздѣливъ 21.000 на 84, найдемъ 250, т. е. одному дюйму плана, при такомъ масштабѣ, соотвѣтствуютъ 250 саженъ на землѣ, а раздѣливъ 21.000 на 100, получимъ 210, т. е. одной соткѣ сажени на планѣ соотвѣтствуютъ 210 саж. на землѣ, или одному сантиметру на планѣ соотвѣтствуютъ 210 метровъ на землѣ. Если дробный масштабъ равенъ $\frac{1}{42.000}$, то одинъ дюймъ плана соотвѣтствуетъ $\frac{42.000}{84} = 500$ саженямъ, или одной верстѣ на землѣ. Если дробный масштабъ равенъ $\frac{1}{126.000}$, то одинъ дюймъ на планѣ равенъ 3 верстамъ, т. е. линейный масштабъ—трехъ-верстный.

11. Переходъ отъ одного линейнаго масштаба къ другому линейному, выраженному въ другихъ единицахъ мѣры. Чтобы перейти отъ одного линейнаго масштаба къ другому, тоже линейному, надо данный масштабъ перевести въ численный, а отъ этого послѣдняго перейти къ линейному въ другой единицѣ мѣры. Напр., если масштабъ равенъ одной верстѣ въ одной сотой сажени, то, для того чтобы перейти къ масштабу въ одномъ дюймѣ, найдемъ сначала численный масштабъ для одной версты въ сотой сажени; онъ равенъ $\frac{1}{50.000}$. Раздѣливъ 50.000 на 84, найдемъ 595,238 сажени въ одномъ дюймѣ. Слѣдовательно, на планѣ, составленномъ въ масштабѣ одна верста въ сотой сажени, линія въ одинъ дюймъ равна почти 595 саж.

12. Въ какомъ масштабѣ исполняются карты и планы въ Россіи и какъ велики ошибки въ измѣреніи разстояній по картѣ въ зависимости отъ масштаба. Масштабы картъ, изданныхъ въ Россіи, всегда составляются такъ, чтобы въ одномъ дюймѣ было круглое число верстъ, напр. 1, 2, 3, 5, 10, 60 и 100 верстъ. При этомъ карты въ масштабѣ отъ 10 до 100 и болѣе верстъ въ дюймѣ называются картами *географическими*, а карты въ масштабѣ отъ 1 до 10 верстъ—картами *топографическими*. Линейный масштабъ обыкновенно чертится на каждомъ листѣ карты, что облегчаетъ пользованіе имъ при измѣреніи разстояній между предметами на картѣ.

Планы землемѣрные составляются обыкновенно въ масштабѣ 100 саженъ въ дюймѣ. Планы для инженерныхъ цѣлей, составляются въ болѣе крупныхъ масштабахъ: 25,50 и даже 10 саженъ въ одномъ дюймѣ или въ одной сотой сажени.

Измѣряя разстоянія между различными точками, нанесенными на картѣ, приходится всегда дѣлать нѣкоторую ошибку. Чтобы уменьшить величину этой ошибки, полезно употреблять поперечный масштабъ, но, употребляя и поперечный масштабъ, мы все-таки сдѣлаемъ нѣкоторую ошибку при измѣреніи разстоянія на картѣ, хотя, быть можетъ, и очень малую.

Опредѣляя, по измѣренному разстоянію между предметами на картѣ, разстояніе между соотвѣтствующими предметами на землѣ, мы сдѣлаемъ ошибку во столько разъ большую, во сколько разъ взято уменьшеніе для карты. Напр., если численный масштабъ карты равенъ $\frac{1}{10.000}$, а при измѣреніи линіи на картѣ, мы сдѣлали, поло-

жимъ, ошибку въ 0,01 дюйма, то въ разстояніи на землѣ сдѣлаемъ ошибку въ 100 дюймовъ или $1^1/_5$ сажени. При масштабѣ же въ $\frac{1}{100.000}$, ошибка эта, при тѣхъ же условіяхъ, была бы около $12^1/_2$ саженъ.

Такимъ образомъ, если желаютъ измѣрять по картѣ разстоянія между соотвѣтствующими предметами на землѣ точнѣе, то необходимо имѣть карты въ болѣе крупномъ масштабѣ. Но крупный масштабъ увеличиваетъ число листовъ карты пропорціонально квадрату масштаба. Такъ, карта, помѣщающаяся на одномъ листѣ, займетъ 16 такихъ же листовъ, если масштабъ увеличить только въ 4 раза, что, конечно, сопряжено съ увеличеніемъ цѣнности карты и вмѣстѣ съ тѣмъ съ меньшимъ удобствомъ при пользованіи картою, исполненною на большомъ числѣ листовъ. По всему этому для плановъ и картъ берутъ масштабы въ зависимости отъ того, насколько точно желаютъ опредѣлять разстоянія по картѣ.

При крупныхъ масштабахъ, напр. 100 саженъ въ дюймѣ, длина въ одну сажень въ масштабѣ выражается толщиною черты карандаша, поэтому четверть сажени въ такомъ случаѣ нанести нельзя. Такъ какъ разница между величиною линіи въ сто саженъ и ея проекціей (§ 5) при углѣ наклоненія къ горизонту, простирающемся до 4°, равна $^1/_4$ сажени, то наклоненіемъ къ горизонту до 4-хъ градусовъ линіи въ 100 с. пренебрегаютъ, принимая самыя линіи за ихъ проекціи. При линіяхъ большей длины эта разница будетъ возрастать, и, разъ она можетъ быть выражена въ принятомъ масштабѣ, пренебрегать ею не слѣдуетъ, и на планѣ необходимо наносить въ такомъ случаѣ не измѣренную линію, а ея проекцію.

Масштабъ карты или плана зависитъ, кромѣ того, отъ величины и числа предметовъ, какіе необходимо нанести на картѣ или планѣ; напр., если требуется нанести на планъ какія либо сооруженія такъ, чтобы главныя части этихъ сооруженій были ясны, тогда, очевидно, приходится брать крупный масштабъ, потому что, занимая небольшія пространства, они становятся ясны на планѣ только при крупномъ масштабѣ. Чтобы не испещрять карты или плана многими предметами, наносятъ только главные изъ нихъ, имѣющіе особенное значеніе въ томъ или другомъ отношеніи. Въ зависимости отъ этого, планы и карты называются: дорожными, морскими, межевыми, лѣсными, хозяйственными и т. п. На лѣсныхъ планахъ обозначаются со всею точностью и подробностью лѣса. На горныхъ — мѣста рас-

пространенія горныхъ породъ и мѣста добыванія различнаго рода минеральныхъ богатствъ. На межевыхъ—границы частныхъ и казенныхъ владѣній. На морскихъ, озерныхъ и рѣчныхъ—глубина моря, озера или рѣки, свойства ихъ береговъ, расположеніе маяковъ, бакеновъ и т. п. На дислокаціонныхъ — предметы, имѣющіе вліяніе на расквартированіе войскъ, какъ-то: города, села, деревни, мѣста удобныя для штабъ-квартиръ, лазаретовъ, провіантскихъ магазиновъ, лагерей и т. п. На дорожныхъ картахъ—пути сообщенія и относящіяся къ нимъ сооруженія.

13. Что надо измѣрить въ полѣ, чтобъ получить возвышеніе одной точки надъ другою. Получивъ, по вышеизложенному, (§§ 6, 7, 8) планъ данной мѣстности, мы не будемъ еще знать о неровностяхъ земли, возвышеніяхъ, углубленіяхъ и т. п. и, вообще, о рельефѣ мѣстности. Чтобы составить понятіе о рельефѣ, надо знать разности высотъ различныхъ точекъ данной мѣстности, или знать, на сколько какая-либо точка поверхности земли выше или ниже какой-нибудь другой ея точки. Для этого данную мѣстность воображаютъ разсѣченною плоскостями, перпендикулярными къ ея горизонтальному заложенію, т. е. вертикальными плоскостями. Полученныя такимъ образомъ кривыя сѣченія поверхности данной мѣстности называются *профилями* мѣстности. Части такихъ кривыхъ можно разсматривать за прямыя линіи, наклоненныя къ горизонтальной плоскости подъ разными углами.

Если измѣрены углы наклоненія линій земной поверхности съ горизонтальною плоскостью или измѣрены тангенсы этихъ угловъ, а также и длины самихъ линій, то возвышеніе одной точки надъ другою вполнѣ опредѣлится. Такъ, возвышеніе точки B надъ точкою A (черт. 3) выразится величиною $BC = AB \sin \alpha$. Слѣдовательно, для полученія возвышеній или пониженій одной точки относительно другой, необходимо измѣрить не только длину прямыхъ линій, но и углы наклоненія линій мѣстности къ горизонту. Есть и другіе способы опредѣленія величины BC, или разности высотъ двухъ точекъ, о чемъ подробнѣе будетъ сказано ниже.

Если отложить на бумагѣ въ опредѣленномъ масштабѣ, по горизонтальному направленію, проекціи равныя длинѣ линій, а по перпендикулярамъ, возстановленнымъ въ этихъ точкахъ, въ другомъ масштабѣ, обыкновенно въ болѣе крупномъ, нежели горизонтальный

масштабъ, отложить высоты и концы этихъ высотъ соединить прямыми, то вычерченная такимъ образомъ ломанная будетъ близко подходить къ кривой сѣченія вертикальной плоскости съ поверхностью данной мѣстности, т. е. будетъ представлять собою изображеніе *профиля мѣстности*.

Способы опредѣленія разности высотъ точекъ земной поверхности составляютъ дѣйствія, называемыя *вертикальною съемкою*, или *нивеллировкою*. Высоты точекъ надъ уровнемъ океана или надъ какою либо произвольною горизонтальною плоскостью называются *отмѣтками* точекъ земной поверхности. Слѣдовательно, отмѣтки могутъ быть взяты или относительно уровня океана, или относительно какой либо условной плоскости; въ этомъ послѣднемъ случаѣ отмѣтки точекъ земной поверхности называются *условными отмѣтками*. Тѣ и другія отмѣтки принято выражать у насъ въ Россіи въ саженяхъ и сотыхъ доляхъ сажени.

14. Что надо сдѣлать въ полѣ, чтобъ произвести съемку мѣстности и составить планъ. Изъ всего сказаннаго видимъ, что для составленія плановъ и профилей мѣстности надо умѣть: 1) назначать линіи на земной поверхности, 2) измѣрять углы, составленные линіями мѣстности съ горизонтальною плоскостью, 3) измѣрять углы, составленные вертикальными плоскостями, проходящими чрезъ данныя линіи, или измѣрять углы, составляемые между собою проекціями линій мѣстности на плоскости горизонтальной, и 4) измѣрять длину линій мѣстности. Говоря же кратко, при производствѣ всякой съемки приходится измѣрять углы и линіи. Но прежде чѣмъ перейти къ изложенію пріемовъ этихъ измѣреній займемся изложеніемъ того, въ какомъ видѣ представляются планы и карты.

Глава II.

ОБЪ УСЛОВНЫХЪ ЗНАКАХЪ КАРТЪ И ПЛАНОВЪ.

15. Общія основанія для условныхъ знаковъ. Если снимаемыя части земной поверхности настолько значительны, что могутъ выразиться отчетливо въ масштабѣ съемки, то онѣ изображаются на планѣ или картѣ со всей геометрической точностью. Но есть

масса предметовъ, которые не могутъ быть выражены даже въ крупныхъ масштабахъ, напр. столбъ, яма, ширина канавы или дороги и т. п. Въ подобныхъ случаяхъ прибѣгаютъ къ условнымъ обозначеніямъ, или *условнымъ знакамъ*.

Чѣмъ крупнѣе масштабъ, тѣмъ условныхъ знаковъ на картѣ менѣе, и наоборотъ, съ уменьшеніемъ масштаба число условныхъ знаковъ увеличивается, и сами они измѣняютъ свой видъ, такъ что на картахъ мелкаго масштаба даже города, большія села, хребты горъ, большія рѣки и т. п. изображаются условно. Поэтому, карты различныхъ масштабовъ имѣютъ свои отдѣльные условные знаки. Такого рода условные знаки называются *масштабными*.

Для большей наглядности и выраженія свойства и рода предметовъ на планахъ и картахъ, употребляютъ краски различнаго цвѣта. Нѣкоторыя изъ красокъ употребляются для всякаго рода картъ, такъ напр. луга изображаются всегда желтоватымъ цвѣтомъ, лѣса — зеленымъ, воды — голубымъ. Такого рода условные знаки называются *качественными*.

Условные знаки такихъ предметовъ, какъ столбы, кресты, отдѣльныя деревья и, вообще, предметовъ, могущихъ быть отдѣленными отъ земли, ставятся такъ, что подошва этихъ знаковъ занимаетъ мѣсто, гдѣ они дѣйствительно находятся, самый же знакъ располагается въ направленіи отъ юга къ сѣверу. Знаки предметовъ, неотдѣлимыхъ отъ земли, напр., ямъ, колодцевъ, родниковъ, фонтановъ, выражаются кружочками и ставятся такъ, чтобы центръ кружочка представлялъ мѣсто, занимаемое предметомъ.

Ширина различнаго рода дорогъ, стѣнъ, заборовъ, плетней, канавъ, валиковъ за канавами изображается условнымъ знакомъ, а потому ширина всѣхъ этихъ предметовъ на картѣ не дѣйствительная, а условная.

Лѣса обозначаются неправильными пятнами, набрасываемыми въ видѣ группъ болѣе или менѣе частыхъ, чѣмъ выражается густота лѣса, а величина пятенъ означаетъ возрастъ лѣса. Для отличія строевого отъ дровяного лѣса, мѣста расположенія строевого лѣса заштриховываютъ два раза, а дровяного одинъ разъ, мѣста же расположенія кустарника не заштриховываютъ вовсе.

Названія городовъ, селъ, деревень, господскихъ домовъ, фольварковъ, фермъ, мызъ надписываются на топографическихъ картахъ условнымъ шрифтомъ, выражающимъ своей условной величиной важ-

ность предмета и его обширность. Такъ, города заштатные и безъ-уѣздные надписываются шрифтомъ въ 0,12 дюйма по высотѣ; мѣстечки, посады, станицы, села, слободы, погосты и колоніи въ 0,10 дюйма; господскіе дома, фольварки, фермы и мызы въ 0,06 дюйма.

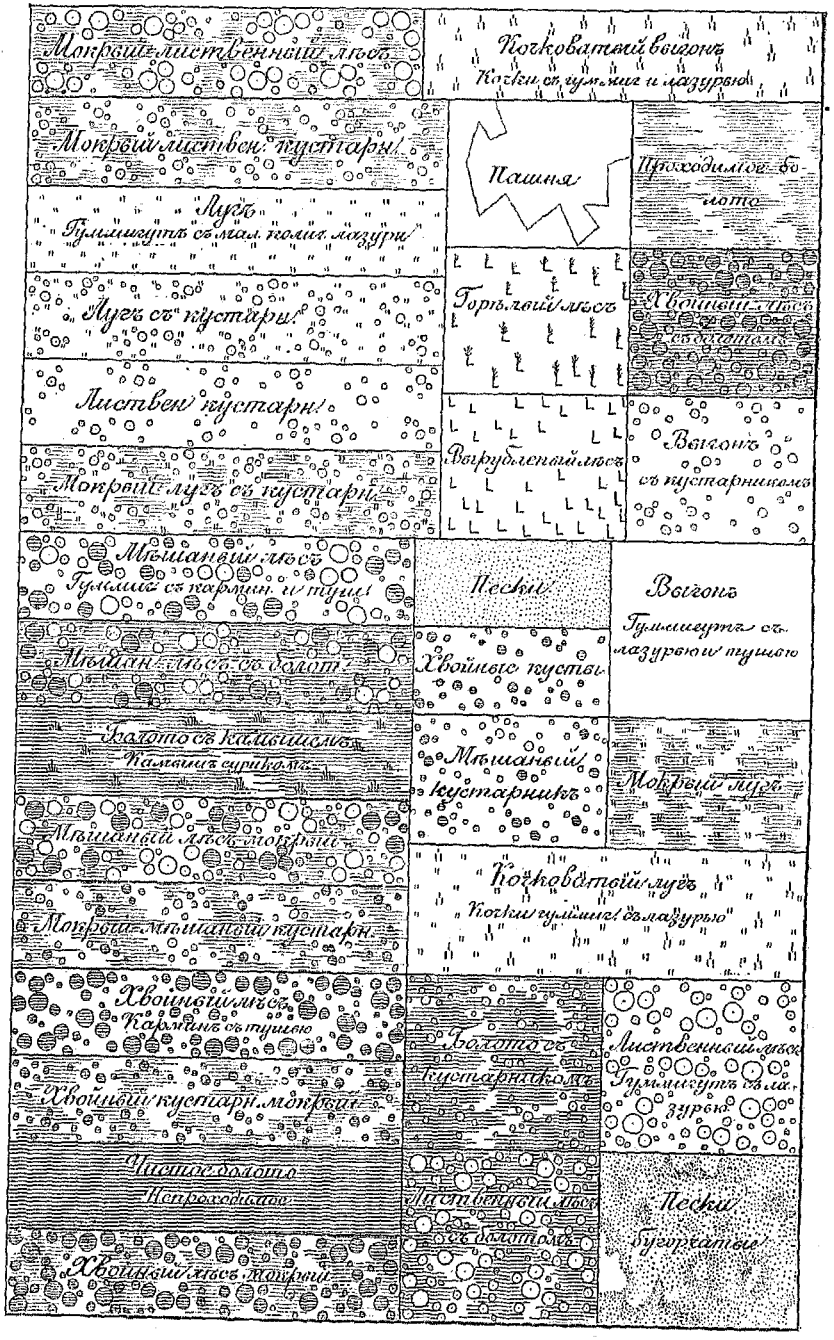
Названія многихъ предметовъ не выписываются сполна, а только ставятся ихъ начальныя буквы или же пишутся названія сокращенно; такъ, бумажная фабрика означается—бум., пильный заводъ—пил., литейный—лит., лѣсъ—лс., лугъ—лг , колонія—клн., и т. п. Собственныя имена надписываются сполна, напр. названія селъ, деревень, урочищъ, а также названія озеръ и лѣсовъ, если они имѣютъ названія.

Надписи дѣлаются или вдоль предметовъ, если они продолговаты, каковы напр. названія рѣкъ, ручьевъ, овраговъ, дорогъ и горныхъ хребтовъ; или внутри предметовъ, если они занимаютъ большія площади, каковы напр. озера, лѣса и болота; или, наконецъ, около предметовъ, напр. у населенныхъ пунктовъ и малыхъ предметовъ. Надписи въ этихъ послѣднихъ случаяхъ всегда ставятся параллельно южной или сѣверной рамкѣ карты или плана.

На планахъ и картахъ, раскрашенныхъ, или иллюминованныхъ, всѣ воды, какъ-то: моря, рѣки, ручьи, каналы, озера, пруды, сажалки и болота, покрываются голубою краскою—*лазурью*; каменныя строенія, шоссе или булыжныя дороги, каменоломни, сигналы, числа верстъ и дворовъ, надписываются *карминомъ*; лѣса лиственные, луга, выгоны, отдѣльныя деревья, аллеи, сады и парки покрываются зеленою краскою—*лазурью съ гуммигутомъ*; лѣсъ хвойный—*карминомъ съ тушью*; лѣсъ мѣшаный—*гуммигутомъ съ карминомъ и тушью*; пески раскрашиваются *сурикомъ*.

При помощи условныхъ знаковъ, планъ или карта могутъ быть сдѣланы ясными и полными. Но для ясности плана всѣ предметы должны легко отыскиваться, другъ друга не затемнять и не пестрить плана. Для полноты плана должны быть нанесены всѣ предметы, сообразные съ цѣлями съемки.

16. Условные знаки для военно-топографической карты. Ниже изображены условные знаки нашихъ военно-топографическихъ картъ трехъ-верстнаго масштаба. Но существуютъ, кромѣ этихъ условныхъ знаковъ, для каждаго изданія картъ свои условные знаки, таковы напр. знаки, утвержденные для рѣчныхъ картъ, издаваемыхъ министерствомъ путей сообщенія.


Мокрые лиственные леса
Почковатый выгонъ
Почки съ гуммиг. и лазурью
Мокрый лиственный кустарникъ
Пашня
Проходимое болото
Лугъ
Гуммигутъ съ мал. долею лазури
Торфяной лесъ
Хвойные леса
съ болотами
Лугъ съ кустарникомъ
Лиственный кустарникъ
Вырубленный лесъ
Выгонъ
съ кустарниками
Мокрый лугъ съ кустарникомъ
Мѣшанный лесъ
Гуммигутъ съ кармин. и тушью
Пески
Выгонъ
Гуммигутъ съ лазурью и тушью
Мѣшанный лесъ со болотами
Хвойные кусты
Болото съ кармином и тушью
Мѣшанный кустарникъ
Мокрый луга
Мѣшанный лесъ мокрый
Почковатый лугъ
Почки гуммиг. съ лазурью
Мокрый мѣшанный кустарникъ
Хвойный лесъ
Кармин съ тушью
Болото съ кустарниками
Лиственный лесъ
Гуммигутъ съ лазурью
Хвойный кустарникъ мокрый
Частое болото
Непроходимое
Лиственный лесъ
со болотами
Пески
Кустарниковые
Хвойный лесъ мокрый

 Кладбище Христіанское.

 » Магом. и Еврейск.

 Каменныя строенія. (красная краска).

 Деревянныя. (желтая краска).

 Каменныя
 Деревянныя } Церкви.

 Часовни каменныя.

 » деревянныя.

 Монастырь.

 Мечеть.

 Разворенныя деревни.

 Развалины зданій.

 Почтовая станція.

 Питейный домъ, корчма.

 Домъ лѣсничаго.

 Форпостъ.

 Кордонъ.

 Карантинъ.

 Таможня.

 Телеграфная станція.

 Колодезь и Фонтанъ.

 Верстовые столбы. (Камен. и деревян.)

 Астрономическій пунктъ.

 Геометрическая высота.

 Тригонометрическій пунктъ.

 Отдѣльно стоящія деревья.

 Вѣтреная мельница каменная.

 » » деревянная.

 Водяная мукомольн. мельница.

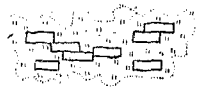
 » пильная »

 Фабрики и заводы. (съ надписью какіе).

 Маякъ.

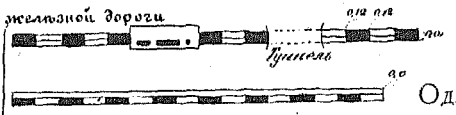
 Рудникъ. (съ подписью какой).

 Курганы.



Торфяникъ.

Желѣзныя.



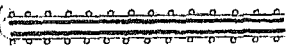
Двухколейная.

Одноколейная, съ полотномъ на два пути.

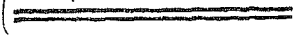
Одноколейная, съ полотномъ на одинъ путь.

Желѣзноконная.

Камен.



0,07 Государственное шоссе, съ канавами и деревьями.

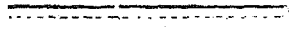


0,06 Малая шоссированная дорога.

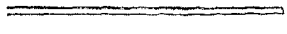
Дороги: Грунтовыя.



0,06 Большая (почтовая и транспортная).
удобная для проѣзда тяжестей во всякое время года.



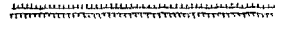
0,06 Большая (транспортная),
менѣе удобная для проѣзда тяжестей.



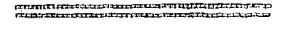
0,03 Проселочная съ канавами.

Проселочная.

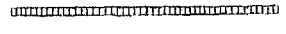
Полевая и вьючная (показываютъ только начала отходящихъ дорогъ, какъ ориентировочныхъ пунктовъ).



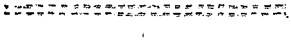
Гребля.



Фашинная дорога

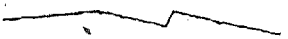


Деревянная мостовая.

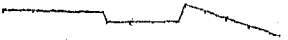


Зимняя.

Тропа.



Каменная стѣна.



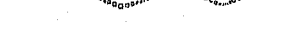
Деревянный заборъ.



Плетень, Изгородь.



Живая изгородь.

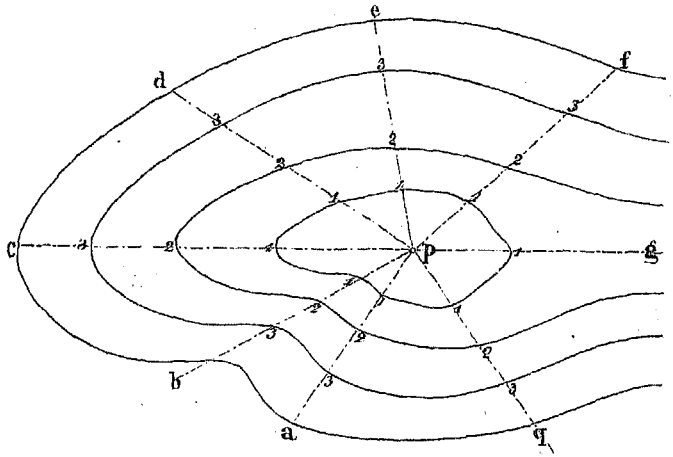


Телеграфная линія.

Глава III.

ИЗОБРАЖЕНІЕ НЕРОВНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТМѢТКАМИ И ГОРИЗОНТАЛЯМИ.

17. Общія понятія о горизонталяхъ. Когда производится съемка мѣстности, то опредѣляютъ не только положеніе точекъ относительно другъ друга, но часто и отмѣтки различныхъ точекъ (§ 13). Отмѣтки эти надписываются у соотвѣтствующихъ точекъ, и такимъ образомъ получается планъ, испещренный цифрами, дающими понятіе о неровностяхъ земной поверхности. Но чтобы вообразить себѣ эти не-



Черт. 8.

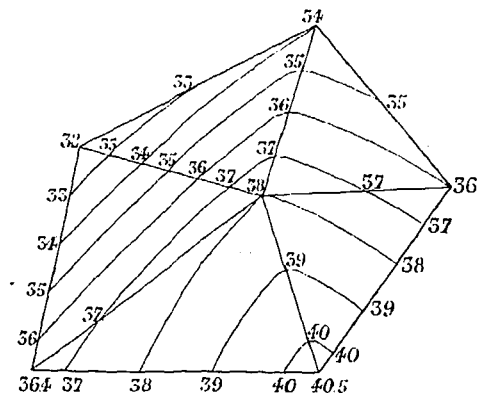
ровности, надо долго вглядываться въ написанныя цифры, а потому планъ съ надписанными отмѣтками нельзя считать наглядным.

Чтобы придать плану большую наглядность, а также и для другихъ цѣлей, о которыхъ будетъ сказано ниже, неровности выражаютъ при помощи разнообразныхъ способовъ. Напр., имѣя на планѣ отмѣтки различныхъ точекъ, можно соединить прямыми и кривыми линіями точки съ одинаковыми отмѣтками. Такія линіи, проходящія чрезъ точки съ одинаковыми отмѣтками, называются *горизонталями*, или *изогипсами*, такъ какъ каждая изъ нихъ принадлежитъ одному горизонту. Самый же планъ, на которомъ изображены

горизонтали земной поверхности, называется *планомъ горизонталей* или *планомъ въ горизонталяхъ*. Черт. 8 и 9 представляютъ собою части подобныхъ плановъ.

Можно, слѣдовательно, сказать, что горизонтали на планѣ суть проекціи кривыхъ, образующихся отъ пересѣченія земной поверхности нѣкоторыми горизонтальными плоскостями. Смежныя горизонтали на данномъ планѣ проводятъ чрезъ точки, разность отмѣтокъ которыхъ равняется одной опредѣленной величинѣ. Высоту между горизонтальными плоскостями беруть равною 10 саженямъ, 5, 1 сажени и менѣе, что зависитъ, какъ увидимъ ниже, какъ отъ масштаба, въ какомъ составленъ планъ, такъ и отъ крутости или пологости снятой на планъ мѣстности.

Главныя горизонтали проводятъ на основаніи отмѣтокъ, опредѣленныхъ инструментально, а среднія между ними на глазъ, сообразно съ измѣненіемъ ихъ на мѣстности. Поэтому, горизонтали чертятъ въ полѣ во время производства съемки, чтобы придать имъ характеръ, наиболѣе соотвѣтствующій дѣйствительности.



Черт. 9.

Мысль изображать неровности земной поверхности горизонталями, или изогипсами, родилась въ прошломъ столѣтіи и принадлежитъ французамъ Бюашу и Дюпень-Трель и женевцу Дю-Карла.

Для того, чтобы горизонтали, начерченныя на планѣ, соотвѣтствовали дѣйствительному ихъ положенію на земной поверхности, необходимо имѣть на планѣ отмѣтки точекъ перегибовъ земной поверхности, т. е. необходимо опредѣлить величину отмѣтокъ концовъ такихъ прямыхъ линій, которыя на всемъ своемъ протяженіи наклонены къ горизонту подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, или, какъ говорятъ, отмѣтки концовъ линій *одного ската*, или *одного уклона*.

Если опредѣлены отмѣтки концовъ линій одного ската, то каждыя три ближайшія другъ къ другу отмѣтки находятся въ вершинахъ треугольниковъ (черт. 9), которые можно разсматривать почти какъ

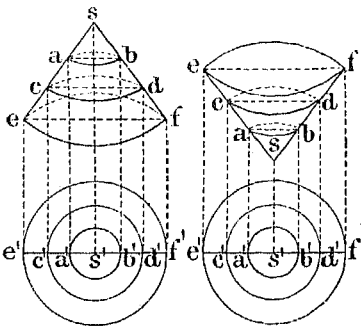
плоскіе или отступающіе отъ плоскости незначительно. Если слѣдовать строго высказанному правилу, то пришлось бы опредѣлять отмѣтки очень большого числа точекъ, вслѣдствіе многочисленныхъ мелкихъ изгибовъ земной поверхности, а потому на практикѣ всегда отступаютъ отъ указаннаго правила и смотрятъ на него, какъ на правило, опредѣляющее лишь максимальное число отмѣтокъ, необходимыхъ для хорошаго составленія плана въ горизонталяхъ.

18. Сходство различныхъ неровностей земной поверхности съ поверхностями геометрическихъ тѣлъ. Несмотря на безконечное разнообразіе неровностей земной поверхности, каждую отдѣльную часть ея, тѣмъ не менѣе, можно уподобить поверхности какого либо геометрическаго тѣла или даже плоскости. Такъ, иныя возвышенности имѣютъ конусообразный видъ, другія шарообразный, третьи пирамидальный, четвертыя съ трехъ сторонъ имѣютъ видъ конусообразный, а съ четвертой пирамидальный, вершина же у однѣхъ шарообразна, у другихъ остроконечна. Но сходства частей земной поверхности съ правильными тѣлами въ чистомъ видѣ, конечно, не встрѣчается, и каждая часть земной поверхности составляется изъ разнообразнѣйшихъ сочетаній поверхностей геометрическихъ тѣлъ: конусовъ косыхъ и прямыхъ, наклонныхъ плоскостей, цилиндрическихъ и шаровыхъ поверхностей. Поэтому, чтобы умѣть выражать горизонталями разнообразныя формы земной поверхности и, по составленному уже плану въ горизонталяхъ, судить о формѣ частей земной поверхности, изображаемой этимъ планомъ, полезно усвоить, какой видъ имѣютъ горизонтали для различныхъ геометрическихъ тѣлъ.

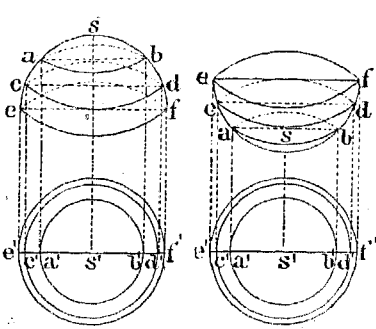
19. Горизонтали, соотвѣтствующія разнымъ геометрическимъ тѣламъ. Сѣченія прямого конуса, шарового сегмента и воронкообразнаго тѣла плоскостями параллельными, отстоящими другъ отъ друга на равныхъ разстояніяхъ, даютъ круги (черт. 10). При этомъ, проекціи этихъ сѣченій у конуса равно удалены другъ отъ друга. У шарового сегмента не равно удалены другъ отъ друга и сближаются къ подошвѣ или окраинѣ (черт. 11). У воронкообразнаго тѣла онѣ также не равно отстоятъ одна отъ другой и сближаются къ вершинѣ возвышенія или ко дну воронкообразнаго углубленія (черт. 10 и 11).

Равноотстоящія по высотѣ сѣченія наклонной поверхности проектируются на плоскость въ видѣ прямыхъ, параллельныхъ или кри-

выхъ, мало изогнутыхъ и концентричныхъ; проекціи ихъ на плоскости отстоятъ на одинаковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга на всемъ пространствѣ, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ наклонная поверхность имѣетъ

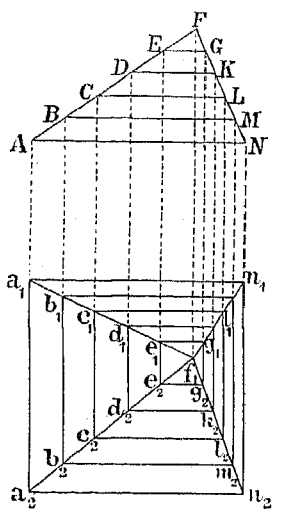


Черт. 10.



Черт. 11.

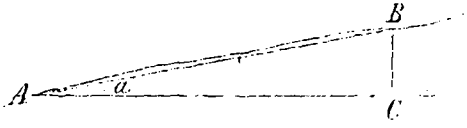
одинаковый склонъ; при измѣненіи этого склона, разстоянія между горизонталями измѣняются, т. е. или увеличиваются, или уменьшаются. Равноотстоящія сѣченія пирамидъ даютъ проекціи въ видѣ многоугольниковъ съ параллельными сторонами (черт. 12). Равноотстоящія сѣченія наклоннаго конуса проектируются на плоскость въ видѣ эллипсовъ, сближающихся къ одной сторонѣ и удаляющихся другъ отъ друга къ сторонѣ противуположной.



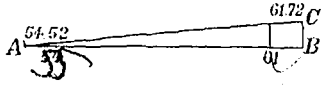
Черт. 12.

20. Какъ по данному на планѣ положенію заложенія линіи, имѣющей одинъ данный скатъ, отмѣтки концовъ которой извѣстны, найти точки, чрезъ которыя проходятъ горизонтали, отстоящія другъ отъ друга по высотѣ на опредѣленную величину. Пусть, напримѣръ, отмѣтки концовъ линіи AB (черт. 13) даннаго ската такія: 61 и 54 с. Требуется же начертить на планѣ горизонтали чрезъ одну сажень, по высотѣ. Для рѣшенія этого заданія, необходимо найти на заложеніи AC точки, чрезъ которыя надо провести горизонтали съ отмѣтками 55, 56, 57, 58, 59 и 60 $с_{аж}$, а для этого надо раздѣлить длину AC на семь равныхъ частей. Если бы

отмѣтки крайнихъ точекъ линіи AC равнялись, напр., 61,72 с. и 54,52 саж., то слѣдовало бы сначала найти на линіи AB (черт. 14) проекціи точекъ, имѣющихъ отмѣтки 61 саж. и 55 саж. Если длина AB равна напр. 100 саж., а буквами X_1 и X_2 назовемъ разстоянія отъ концовъ данной линіи до точекъ, чрезъ которыя про-



Черт. 13.



Черт. 14.

ходятъ горизонтали съ отмѣтками 61 и 55 саж., то величины X_1 и X_2 получатся изъ слѣдующихъ пропорцій:

$$X_1 : 100 = (61{,}72 - 61) : (61{,}72 - 54{,}52)$$

$$X_2 : 100 = (61{,}72 - 55) : (61{,}72 - 54{,}52)$$

Откуда $X_1 = 10$ с.; $X_2 = 93{,}3$ с.

Отложивъ на планѣ отъ конца A данной линіи, отмѣтка котораго равна 61,72, по направленію къ другому концу, сначала 10, а потомъ 93,3 саж., найдемъ проекціи точекъ, отмѣтки которыхъ 61 и 55 саж. Раздѣливъ линію, заключенную между этими послѣдними точками, пропорціональнымъ циркулемъ на 6 частей, найдемъ точки, чрезъ которыя надо провести горизонтали, соотвѣтствующія отмѣткамъ 60, 59, 58, 57, 56.

Дѣйствуя такъ же на всѣхъ линіяхъ одного ската, найдемъ точки, соотвѣтствующія однѣмъ и тѣмъ же отмѣткамъ.

Такимъ образомъ, зная разность высотъ крайнихъ точекъ по линіямъ Pa, Pb, Pc, Pd, Pe, Pf, Pg, Pq (черт. 8), принявъ отмѣтку точки P, напр., за нуль и опредѣливъ по линіямъ одного ската мѣста для точекъ, имѣющихъ высоту, разнящуюся, напр., на одну сажень, можно всѣ точки съ одинаковыми отмѣтками соединить горизонталями въ видѣ плавныхъ кривыхъ линій. Такъ же точно составленъ планъ горизонталей на чертежѣ 9-мъ.

21. Основныя свойства горизонталей. Изъ вышеизложеннаго ясно, что горизонтали могутъ выражать строго соотвѣтствующія имъ

отмѣтки лишь въ точкахъ, въ которыхъ отмѣтки были опредѣлены инструментально.

Хотя каждая горизонталь выражаетъ не вездѣ строго одинаковыя отмѣтки точекъ мѣстности, но, при искусной съемкѣ, отмѣтки, выражаемыя каждою горизонталью, близки къ дѣйствительности.

Положимъ, имѣемъ на земной поверхности, между какими либо двумя точками A и B (черт. 13) однообразный скатъ съ небольшими неровностями, какими можно пренебрегать въ виду однообразія общаго ската, т. е. имѣемъ линію на земной поверхности, части которой наклонены къ горизонту почти подъ однимъ и тѣмъ же угломъ, или линію одного ската, одного уклона, одного и того же паденія. Пусть скатъ BA наклоненъ къ горизонту подъ угломъ a, а высота BC точки B надъ точкою A равна h, тогда проекція линіи AB, или *заложеніе* ската AB, или *основаніе* ската, выразится линіей AC, обозначивъ которую буквою d, можемъ, на основаніи черт. 13, написать:

$$d = h\,cotg\,a = \frac{h}{tg\,a}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

т. е. *заложеніе равно высотѣ, дѣленной на тангенсъ угла наклоненія.* Тангенсъ угла наклоненія линіи называется *уклономъ*, поэтому можно также сказать: *заложеніе равно высотѣ, дѣленной на уклонъ данной линіи.*

По этой формулѣ можемъ найти величину заложеній при различныхъ углахъ наклоненія, принимая за единицу разстояній либо единицу высоты, либо заложеніе при 1°. Эти величины написаны въ слѣдующей табличкѣ:

Углы наклоненія .	10′	1°	2°	3°	4°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Величина заложеній при высотѣ h равной единицѣ мѣры длины. . .	343,88	57,3	28,6	19,1	14,3	11,4	5,7	3,7	2,7	2,1	1,7	1,4	1,2	1
Величина заложеній, принимая за единицу величину заложенія при 1°.	—	1	$^1/_2$	$^1/_3$	$^1/_4$	$^1/_5$	$^1/_{10}$	—	—	—	—	—	—	$^1/_{57}$

Числа второго ряда выражаются въ тѣхъ же единицахъ мѣры, въ какихъ выражено h, такъ какъ въ формулѣ 1-й $tg\,a$, — число отвлеченное.

При h равномъ одной сажени, числа 2-го ряда изображаютъ заложенія въ саженяхъ. При h равномъ двумъ саженямъ, всѣ величины заложеній, показанныя во 2-мъ ряду, должны быть увеличены вдвое. При h равномъ пяти саженямъ, тѣ же величины заложеній, т. е. показанныя во 2-мъ ряду, должны быть увеличены въ 5 разъ, и т. д.

Примѣчаніе. Приведенную здѣсь табличку полезно запомнить, что очень нетрудно, стоитъ только замѣтить, что заложеніе при углѣ наклоненія въ 1° равно 57,3; затѣмъ дальнѣйшія числа во 2-й строкѣ получаются дѣленіемъ 57,3 на 2, 3, 4, 5, 10. Начиная съ 15°, числа 2-го ряда надо запомнить.

Разсмотрѣніе этой таблички приводитъ къ тому заключенію, что съ увеличеніемъ угла наклоненія, для одного и того же разстоянія по высотѣ, заложенія уменьшаются. И обратно, чѣмъ меньше заложенія между точками земной поверхности, тѣмъ круче скаты, расположенные между этими точками.

А такъ какъ разстоянія на планѣ между горизонталями суть не что иное какъ заложенія линій, расположенныхъ на земной поверхности, въ томъ масштабѣ, въ какомъ составленъ планъ, то можно сказать: *чѣмъ ближе одна къ другой расположены горизонтали, тѣмъ круче мѣстность, которую онѣ собою выражаютъ, и наоборотъ—чѣмъ дальше онѣ другъ отъ друга, тѣмъ мѣстность, ими выражаемая, положе.*

Цифры, поставленныя въ 3-ей горизонтальной графѣ приведенной выше таблички, показываютъ, между прочимъ, *что заложенія обратно пропорціональны угламъ крутости до 10 градусовъ.* При большихъ же углахъ законъ этотъ не имѣетъ мѣста во всей его строгости.

22. Линіи наибольшаго ската. Если имѣемъ двѣ плоскости, составляющія двугранный уголъ, то мѣрою этого двуграннаго угла, какъ извѣстно, служитъ линейный уголъ, образованный перпендикулярами къ ребру въ какой нибудь его точкѣ. Всякій другой уголъ, составленный двумя какими-либо линіями, лежащими въ тѣхъ же плоскостяхъ и сходящимися въ одной точкѣ ребра, но не перпендикулярными къ ребру, меньше линейнаго угла, измѣряющаго двугранный.

Если часть земной поверхности представляетъ плоскость, наклонную къ горизонту, то, разсѣкая эту часть земной поверхности плос-

костями горизонтальными, получимъ рядъ горизонталей, которыя въ то же время будутъ ребрами двугранныхъ угловъ, а линіи *наибольшаго ската земной поверхности будутъ линіями перпендикулярными, или нормальными, къ горизонталямъ земной поверхности.*

Если горизонтали представляются не въ видѣ прямыхъ, а въ видѣ кривыхъ, концентричныхъ между собою, то линія наибольшаго ската перпендикулярна къ касательной, проведенной въ какой-нибудь точкѣ горизонтали. Если горизонтали идутъ въ видѣ прямыхъ параллельныхъ или кривыхъ линій концентричныхъ, то проекція линіи наибольшаго ската будетъ прямая. Если горизонтали идутъ въ видѣ прямыхъ, непараллельныхъ между собою, или кривыхъ неконцентричныхъ, то проекція линіи наибольшаго ската представляется въ видѣ ломаной линіи, отдѣльныя части которой перпендикулярны или нормальны къ соотвѣтственнымъ горизонталямъ.

23. Отчего зависитъ тотъ или другой промежутокъ по высотѣ между горизонталями. Посмотримъ, чѣмъ надо руководствоваться при выборѣ той или другой величины для разстояній по высотѣ между горизонталями.

Для того, чтобы смежныя горизонтали не сливались, заложенія между ними, даже при самой крутой мѣстности, должны быть различаемы невооруженнымъ глазомъ. Если линію, величиною въ дюймъ, раздѣлить, напримѣръ, на сто частей, то точки дѣленія слѣдуютъ одна за другою очень близко, однако, самыя тонкія линіи, проведенныя чрезъ эти точки, еще не сливаются между собою. Поэтому, при составленіи плана въ горизонталяхъ, имѣютъ въ виду, чтобы заложенія между горизонталями не были менѣе 0,01 дюйма, и это при самыхъ крутыхъ покатостяхъ.

За самую крутую покатость, какую еще можно выразить горизонталями, принимается покатость, имѣющая уголъ наклоненія къ горизонту въ 45°. Для всякой линіи, наклоненной къ горизонту подъ этимъ угломъ, заложеніе равно высотѣ.

Отсюда ясно, что линія, выражающая собою 0,01 дюйма въ масштабѣ плана, должна быть принята за высоту между горизонталями. Если же масштабъ съемки 50 саженъ въ дюймѣ, то 0,01 дюйма на планѣ выражаетъ въ дѣйствительности $^1/_2$ сажени на мѣстности. Такимъ образомъ, при масштабѣ 50 саженъ и при наличности самой

крутой мѣстности, разстояніе по высотѣ между горизонталями можно взять равнымъ $^1/_2$ сажени. При очень пологой или даже почти ровной мѣстности, слѣдуетъ уменьшать разстояніе между горизонталями, иначе онѣ получатся на планѣ слишкомъ далеко другъ отъ друга.

На тѣхъ же основаніяхъ, при масштабѣ 100 саженъ въ дюймѣ, разстояніе между горизонталями по высотѣ можно брать равнымъ 1 сажени, увеличивая или уменьшая это разстояніе, въ зависимости отъ того, крута или полога снимаемая часть земной поверхности.

При масштабѣ 200 саженъ въ дюймѣ, за предѣлъ для разстояній между горизонталями по высотѣ надо брать 2 сажени. При масштабѣ 1 верста въ дюймѣ, горизонтали проводятъ не болѣе, какъ чрезъ 5 саженъ. При двухъ-верстномъ масштабѣ въ дюймѣ, берутъ не болѣе 10 саженъ по высотѣ. При трехъ-верстномъ масштабѣ и для самой крутой мѣстности, можно брать для разстоянія между горизонталями по высотѣ—15 саженъ, а для мѣстности средней крутости можно взять отъ $7^1/_2$ до 4-хъ саженъ.

Такимъ образомъ, *разстояніе по высотѣ между горизонталями зависитъ отъ масштаба плана, а также и отъ крутости или пологости части земной поверхности, для которой составляется планъ горизонталей.*

24. Какъ можно пользоваться табличкою заложеній. Имѣя планъ горизонталей, можно судить о крутости той или другой мѣстности, или объ углѣ наклоненія; для этого надо измѣрить заложеніе данной линіи между двумя горизонталями по масштабу плана. Найдя заложеніе въ саженяхъ и раздѣливъ его на величину разстоянія по высотѣ между горизонталями, надо посмотрѣть, между какими числами 2-ой горизонтальной графы таблицы заложеній помѣщается полученное частное. По закону пропорціональности можно опредѣлить соотвѣтствующій уголъ крутости. А для того, чтобы скорѣе и точнѣе опредѣлять крутости по заложеніямъ, лучше пользоваться болѣе подробною табличкою, помѣщенною на стр. 29-ой.

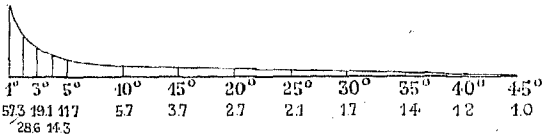
25. Масштабъ заложеній, или масштабъ крутостей. Чтобы по плану горизонталей судить о крутостяхъ, можно пользоваться также масштабомъ заложеній. Для построенія этого масштаба надо числа 2-го ряда таблицы заложеній помножить на величину разности высотъ между горизонталями плана, такимъ образомъ получатся зало-

Углы наклоненія скатовъ.	Величина заложенія при $h=1$.	Величина заложенія, считая за единицу заложеніе при 1°, т. е. 57,29.	Углы наклоненія скатовъ.	Величина заложенія при $h=1$.	Величина заложенія, считая за единицу заложеніе при 1°, т. е. 57,29.	Углы наклоненія скатовъ.	Величина заложенія при $h=1$.	Величина заложенія, считая за единицу заложеніе при 1°, т. е. 57,29.
10′	343,88		30	16,35		15	3,71	$^1/_{15}$
20	171,88		40	15,57		16	3.49	$^1/_{16}$
30	114,59		50	14,92		17	3,27	$^1/_{17}$
40	85,94		4° 0	14,30	$^1/_5$	18	3,08	$^1/_{18}$
50	68,75		10	13,78		19	2,90	$^1/_{19}$
1° 0	57,29	1	20	13,20		20	2,75	$^1/_{21}$
10	49,10		30	12,70		21	2,61	$^1/_{22}$
20	42,96		40	12,25		22	2,48	$^1/_{23}$
30	38,19		50	11,85		23	2,36	$^1/_{24}$
40	34,37		5° 0	11,43	$^1/_5$	24	2,25	$^1/_{25}$
50	31,24		30	10,39		25	2,14	$^1/_{26}$
2° 0	28,64	$^1/_2$	6	9,51	$^1/_6$	26	2,05	$^1/_{28}$
10	26,43		7	8,14	$^1/_7$	27	1,96	$^1/_{29}$
20	24,54		8	7,11	$^1/_8$	28	1,88	$^1/_{30}$
30	22,90		9	6,31	$^1/_9$	29	1,80	$^1/_{32}$
40	21,47		10	5,67	$^1/_{10}$	30	1,73	$^1/_{33}$
50	20,21		11	5,14	$^1/_{11}$	35	1,43	$^1/_{40}$
3° 0	19,08	$^1/_3$	12	4,70	$^1/_{12}$	40	1,19	$^1/_{47}$
10	18,09		13	4,33	$^1/_{13}$	45	1	$^1/_{57}$
20	17,17		14	4,01	$^1/_{14}$			

женія, соотвѣтствующія данному плану въ горизонталяхъ. Пользуясь этими данными, построеніе масштаба производятъ слѣдующимъ образомъ: на прямой линіи на равныхъ, но произвольныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ, ставятъ цифры перваго ряда таблички, т. е. углы, а на перпендикулярахъ къ взятой линіи въ назначенныхъ точкахъ, откладываютъ длины, равныя найденнымъ заложеніямъ въ масштабѣ плана, затѣмъ концы этихъ перпендикуляровъ соединяютъ плавною кривою и получаютъ такимъ образомъ масштабъ заложеній.

На чертежѣ 15 изображенъ масштабъ заложеній для разстоянія

между горизонталями по высотѣ, разстоянія равнаго одной единицѣ линейной мѣры, сажени, метру и т. п. Имѣя такой масштабъ, можно по плану горизонталей рѣшать вопросы о крутости скатовъ. Для этого, взявъ въ циркуль заложеніе между горизонталями въ данномъ мѣстѣ



Черт. 15.

плана, надо на масштабѣ заложеній найти ординату, равную растворенію циркуля, причемъ число градусовъ опредѣлится по числамъ смежнымъ съ наложенною ординатою.

26. Типы неровностей земной поверхности. Чтобы умѣть чертить горизонтали съ натуры, а также по плану горизонталей судить о характерѣ неровностей, надо умѣть отличать на земной поверхности различные типы неровностей. Земная поверхность представляется или въ видѣ возвышеній, или въ видѣ углубленій, или въ видѣ равнинъ. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ ее можно считать какъ-бы состоящею изъ отдѣльныхъ малыхъ плоскостей. Форма возвышенія и углубленія можетъ имѣть совершенно одинаковый видъ (черт. 10 и 11), поэтому главныя ихъ составныя части, будучи тоже сходными между собою, тѣмъ не менѣе, разнятся въ названіяхъ.

Такъ, составныя части возвышеній носятъ слѣдующія названія: 1) *вершина*, 2) *подошва*, 3) *скатъ*, или *отлогость*, 4) *водораздѣльныя линіи*, 5) *отрогъ*, или *вѣтвь*.

Соотвѣтствующія части углубленій носятъ названія: 1) *впадина*, или *дно*, 2) *окраина*, 3) *щека*, или *берегъ*, 4) *тальвегъ* и 5) *лощина*. Части земной поверхности, отъ которыхъ начинаются не только возвышенія, но и углубленія, называются *сѣдловинами*.

Вершиною называется та часть горы, откуда мѣстность понижается во всѣ стороны. Большія вершины, почти или совершенно горизонтальныя, называются *горными плато*. Вершины остроконечныя, конусообразныя называются *пиками*, *шпицами*. Длинныя вершины называются *продольными вершинами*. Небольшія горки, расположенныя на покатостяхъ, называются *обратными вершинами*.

Впадиною, или дномъ, называется та часть углубленія, откуда мѣстность возвышается во всѣ стороны.

Вершины скорѣе всего бросаются въ глаза наблюдателю, тогда какъ впадины часто бываютъ закрыты отъ него.

Подошвою называется *такая кривая линія, по которой возвышенность* соприкасается съ мѣстностью горизонтальною или почти горизонтальною.

Окраина, это—граница углубленія, или та кривая линія, по которой углубленіе соприкасается съ подошвою возвышенности.

Подошва и окраина, въ большинствѣ случаевъ, очерчиваются на земной поверхности очень неясно, въ особенности подошва.

Скатомъ, или отлогостью, называется часть поверхности земли, идущая отъ вершины къ подошвѣ. Формы скатовъ легко различаются глазомъ на всякой мѣстности.

Берегами, или щеками, называютъ мѣста, идущія отъ впадины къ окраинѣ; они представляютъ собою, слѣдовательно, отлогость, или скатъ углубленія.

Водораздѣльными линіями, именуемыми также перевалами и ребрами, называются тѣ части мѣстности, откуда скаты понижаются въ обѣ стороны.

Возвышенія часто располагаются по одному направленію и тянутся на значительныя протяженія; въ такомъ случаѣ онѣ называются *цѣпью горъ*, цѣпью возвышенностей, или *горнымъ хребтомъ*. Водораздѣльная линія, проходящая по самымъ возвышеннымъ точкамъ горнаго хребта, называется *хребтовою линіей*.

Если горные хребты тянутся параллельно или почти параллельно другъ другу на значительномъ протяженіи, то два ихъ ската образуютъ *долину*. Въ каждой долинѣ различаются слѣдующія части: *дно*, *правый и лѣвый бокъ*, *начало* и *устье*.

Линія, расположенная на днѣ долины и идущая отъ начала ея къ устью, по самымъ пониженнымъ точкамъ, называется *тальвегомъ*, или *водосоединительною линіей*. По этой линіи обыкновенно въ долинѣ располагается ручей, рѣка или вообще живое урочище. Тальвегъ, большею частію, у начала своего имѣетъ большій уклонъ, чѣмъ при устьѣ.

Скаты возвышеній и щеки, или берега углубленій, имѣютъ очень разнообразную форму; рѣдко они идутъ подъ однимъ угломъ накло-

ненія, въ большинствѣ же случаевъ уголъ наклоненія ихъ мѣняется. Мѣста, гдѣ мѣняются углы наклоненія скатовъ, называются *переломами*, или *перегибами*. Скаты, имѣющіе значительную крутизну, называются *обрывами*, *крутоярами*, *кручами*.

По скатамъ возвышеній и углубленій всегда располагаются боковыя возвышенія и впадины. Боковыя возвышенія называются *отрогами*, *вѣтвями* главнаго возвышенія или углубленія. Боковыя углубленія называются *лощинами*, *оврагами*. Слѣдовательно, отрогомъ, или вѣтвью, называется часть перевала, выдающаяся изъ общей массы горы. Лощиной называется продолговатое углубленіе, врѣзывающееся въ массу горы. Каждая лощина образуется двумя отрогами, и каждый отрогъ находится между двумя лощинами. Въ отрогахъ и лощинахъ различаются такія же части, какъ и въ хребтахъ, и долинахъ.

Лощины получаютъ различныя названія, смотря по величинѣ и взаимному расположенію ихъ частей. Если лощина широка и имѣетъ довольно крутыя щеки, то она называется *продольною долиной*; узкая и длинная лощина, расположенная между кручъ, называется *тѣснино́ю* и *ущельемъ*, а узкая и короткая—*горнымъ проходомъ*, или *горными воротами*; узкія ущелья съ крутыми берегами называются *провалами*; наибольшая изъ лощинъ называется *главною*, а впадающія въ нее *побочными*; небольшія лощины, параллельныя главной лощинѣ, называются *боковыми лощинами*. Небольшія лощины, но продолговатыя и съ обрывистыми берегами, называются *промоинами*, *рытвинами*, *проточинами*.

Мы сказали выше, что части земной поверхности, отъ которыхъ начинаются возвышенія вмѣстѣ съ углубленіями, называются *сѣдловинами*. Поэтому, въ сѣдловинахъ встрѣчаются нѣсколько хребтовыхъ линій, отроговъ или хребтовъ, а также берутъ начало нѣсколько тальвеговъ, лощинъ или долинъ.

Обрывы, имѣющіе значительную высоту, называются *утёсами*, *стѣнами*. Обширный отлогій скатъ, идущій послѣ крутой покатости, называется *уступомъ*, а почти горизонтальный уступъ называется *террасою*; уступъ, постепенно съуживающійся и кончающійся кручею, называется *языкомъ*, *горнымъ выступомъ*; если на уступѣ имѣется обратная вершина, то образуется или *продольный уступъ*, или *поперечный*, смотря по тому, тянется ли обратная вершина вдоль главнаго уступа, или поперекъ его.

Склоны главной долины, обыкновенно, бываютъ покрыты возвышеніями и впадинами, образующими второстепенныя долины, имѣющія направленія къ главной долинѣ, иногда перпендикулярныя, иногда наклонныя то въ одну, то въ другую сторону. Каждая второстепенная долина, точно такъ же, какъ и главная, заключаетъ въ себѣ два склона, соединяющихся внизу у тальвега и понижающихся по мѣрѣ приближенія къ тальвегу главной долины. Второстепенныя долины отдѣляются отъ сосѣднихъ долинъ гребнями второстепенныхъ хребтовъ, примыкающихъ къ главному хребту, постепенно понижающихся къ направленію главной долины и составляющихъ съ направленіемъ главнаго хребта разнообразные углы какъ въ горизонтальной, такъ и вертикальной плоскости.

Скаты второстепенныхъ долинъ точно такъ же, какъ и главныхъ, состоятъ изъ возвышеній и углубленій, представляющихъ собою гребни и долины 3-го порядка.

На склонахъ долинъ почти всегда находятся на разныхъ высотахъ двѣ или три террасы, имѣющія большій или меньшій наклонъ по направленію къ тальвегу.

Долины двухъ рѣкъ сближаются между собою долинами 2-го и 3-го порядка. Поэтому, для того, *чтобы изъ долины одной рѣки пройти безъ большихъ подъемовъ или спусковъ въ долину другой, лучше всего пользоваться долинами 2-го и 3-го порядка, переваливая при этомъ изъ одного бассейна въ другой чрезъ наиболѣе пониженныя сѣдловины.*

27. Горизонтали, соотвѣтствующія неровностямъ земной поверхности. На земной поверхности такихъ рѣзкихъ очертаній и перегибовъ, какіе встрѣчаются въ правильныхъ геометрическихъ тѣлахъ, какъ напр. въ пирамидѣ, не бываетъ. Всѣ рѣзкіе перегибы постепенно сглаживаются отъ дѣйствія воды, и одна крутость переходитъ въ другую менѣе замѣтнымъ образомъ. Тѣмъ не менѣе, на основаніи изложеннаго въ §§ 19, 20 и 26-мъ, судя по горизонталямъ, мы можемъ сдѣлать слѣдующія заключенія о неровностяхъ земной поверхности.

Если горизонтали представляются въ видѣ кривыхъ, близкихъ къ цѣльнымъ концентрическимъ кругамъ или частямъ ихъ, равноотстоящимъ другъ отъ друга, то земная поверхность, изображаемая этими горизонталями, имѣетъ видъ конусообразнаго углубленія или

возвышенія. Дно углубленія и вершина возвышенія выражаются тою горизонталью, внутри которой другихъ горизонталей не имѣется. Горизонталь, выраженная наибольшимъ объемлющимъ кругомъ или его частью, соотвѣтствуетъ подошвѣ возвышенія или окраинѣ углубленія.

Если горизонтали представляются въ видѣ цѣльныхъ концентрическихъ круговъ или частей ихъ, но неравноотстоящихъ другъ отъ друга и сближающихся между собою по мѣрѣ увеличенія діаметровъ ихъ, то земная поверхность, изображаемая такими горизонталями, имѣетъ видъ шарообразнаго углубленія или возвышенія. Дно углубленія или вершина возвышенія находятся въ центрѣ этихъ круговъ, а мѣсто дна или вершины опредѣляется горизонталью, внутри которой горизонталей болѣе уже не имѣется.

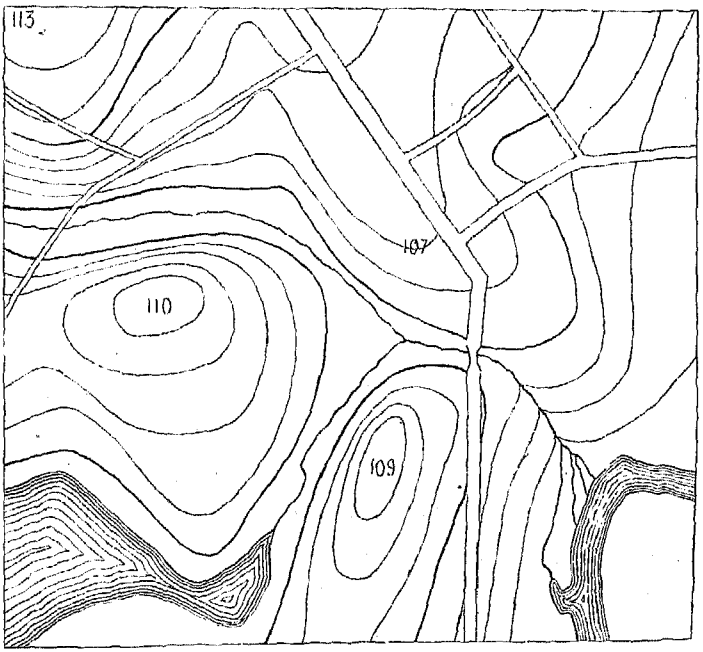
Если горизонтали представляются въ видѣ цѣльныхъ концентрическихъ круговъ или частей ихъ, неравноотстоящихъ другъ отъ друга и сближающихся между собою по мѣрѣ уменьшенія діаметровъ, то земная поверхность, изображаемая такими горизонталями, имѣетъ видъ воронкообразнаго углубленія или возвышенія. Вершина возвышенія или дно углубленія находятся въ центрѣ этихъ круговъ.

Если горизонтали представляются въ видѣ цѣльныхъ концентрическихъ эллипсисовъ или частей ихъ, то земная поверхность, изображаемая такими горизонталями, имѣетъ видъ косого конусообразнаго возвышенія или углубленія. Наибольшій эллипсисъ соотвѣтствуетъ подошвѣ возвышенія или окраинѣ углубленія, а наименьшій — или вершинѣ возвышенія, или дну углубленія.

Если горизонтали представляются въ видѣ замкнутыхъ многоугольниковъ или ломаныхъ прямыхъ, параллельныхъ между собою, то земная поверхность, изображаемая этими горизонталями, имѣетъ видъ или пирамиды, или части пирамиды, причемъ отдѣльныя грани ея суть поверхности близкія къ наклоннымъ плоскостямъ.

Чтобы по плану въ горизонталяхъ составить себѣ ясное представленіе о неровностяхъ мѣстности, или, какъ кратко говорятъ, чтобы *прочесть планъ*, необходимо прежде всего найти на немъ вершины возвышеній, впадины углубленій и сѣдловины, тогда дальнѣйшій разборъ плана въ горизонталяхъ не представитъ затрудненій, стоитъ только руководствоваться нижеслѣдующими правилами.

28. Правила, коими надо руководствоваться при составленіи плана въ горизонталяхъ, а также при чтеніи плана горизонталей. Подошва возвышенія или окраина углубленія выражаются сомкнутою или разомкнутою кривою, но всегда объемлющею всѣ остальныя горизонтали, выражающія возвышеніе или углубленіе. Если горизонталь принадлежитъ подошвѣ, то отмѣтка смежной горизонтали болѣе отмѣтки горизонтали, выражающей подошву. Если



Черт. 16.

горизонталь принадлежитъ окраинѣ, то отмѣтка смежной горизонтали менѣе отмѣтки горизонтали, выражающей окраину.

Вершина и дно всегда выражаются сомкнутыми горизонталями, внутри которыхъ другихъ горизонталей нѣтъ. Вершину часто означаютъ пунктирною промежуточною горизонталью, отстоящею отъ ближайшей горизонтали на нѣкоторую произвольную величину.

Чтобы отличить дно отъ вершины, первое очень часто заштриховываютъ или покрываютъ легкой черной краской. На картѣ, изображающей неровную мѣстность, дно отъ вершины можно различить по положенію рѣкъ, ручьевъ, прудовъ, озеръ и овраговъ, рѣзко

отдѣляющихъ низкія мѣста отъ возвышенныхъ. На черт. 16-мъ ясно видны мѣста расположенія воды и вершинъ.

Отроги, или вѣтви, выражаются выдающимися горизонталями отъ вершины къ подошвѣ. Водораздѣльная, или хребтовая линія, почти всегда находится между горизонталями одинаковыхъ отмѣтокъ, гдѣ разстояніе между ними наибольшее.

Лощина выражается горизонталями, вдающимися отъ подошвы къ вершинѣ. Тальвегъ проходитъ тамъ, гдѣ разстояніе между горизонталями или наибольшее, или наименьшее.

Сѣдловина находится въ томъ мѣстѣ, гдѣ горизонтали обращены выпуклыми своими частями въ одну сторону. На черт. 17-мъ показаны мѣста сѣдловинъ пунктирными линіями.

Утесы и скалы не изображаются горизонталями, но ихъ представляютъ въ видѣ точекъ.

Если въ какомъ нибудь мѣстѣ двѣ смежныя горизонтали отстоятъ другъ отъ друга на большое разстояніе, тогда какъ остальныя сближены, то мѣсто между горизонталями, отстоящими на большое разстояніе, выражаетъ террассу, или уступъ.

Обрывы выражаются почти сливающимися горизонталями, а навѣсныя скалы и пещеры пересѣкающимися.

Для того, чтобы по плану въ горизонталяхъ различать форму неровностей, необходимо знать направленіе скатовъ, или какія горизонтали выше и какія ниже, для чего подписываютъ на нѣкоторыхъ горизонталяхъ ихъ отмѣтки. Если же отмѣтокъ на планѣ не имѣется, то опредѣленію направленій скатовъ можетъ содѣйствовать расположеніе водъ или тальвеговъ. Разъ въ одномъ мѣстѣ опредѣлено направленіе покатости, то легко уже опредѣлить направленіе покатостей и во всѣхъ другихъ мѣстахъ, такъ какъ горизонтали одного плана находятся въ неразрывной связи между собою.

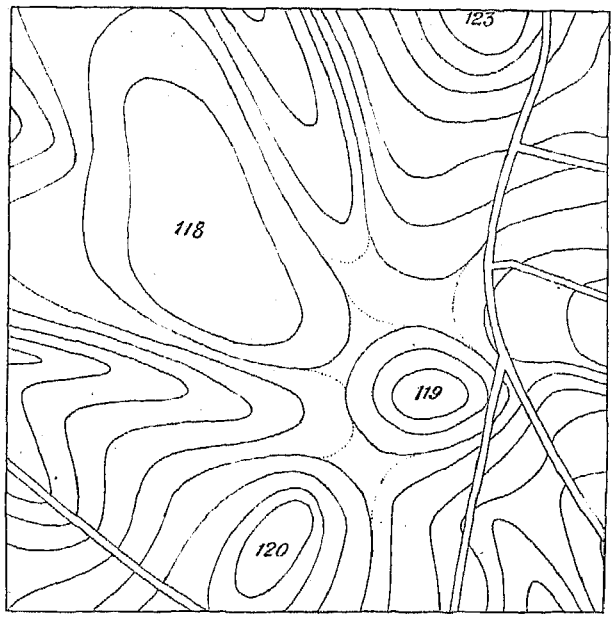
Для легкости счета, горизонтали, отмѣтки которыхъ дѣлятся на пять, утолщаютъ или вычерчиваютъ красною краскою.

Въ равнинныхъ мѣстахъ, кромѣ основныхъ горизонталей, принятыхъ для всей съемки, вычерчиваютъ еще промежуточныя горизонтали на опредѣленныхъ промежуточныхъ высотахъ между главными горизонталями, и, для отличія отъ этихъ послѣднихъ, промежуточныя обозначаютъ пунктиромъ или разрывными линіями.

Для большей выразительности плана, или утолщаютъ горизонтали,

или оттушевываютъ свѣтлою тушью нижнія стороны ихъ, или, наконецъ, утолщаютъ горизонтали, принадлежащія восточнымъ и южнымъ скатамъ, т. е. вводятъ боковое освѣщеніе. Обыкновенно предполагаютъ свѣтъ падающимъ отъ сѣверо-запада, поэтому, при такомъ способѣ, у возвышеній въ тѣни находятся восточные и южные скаты, а въ углубленіяхъ, наоборотъ, въ тѣни находятся западные и сѣверные бока, или щеки.

Иногда утолщаютъ горизонтали крутыхъ покатостей, а горизон-



Черт. 17.

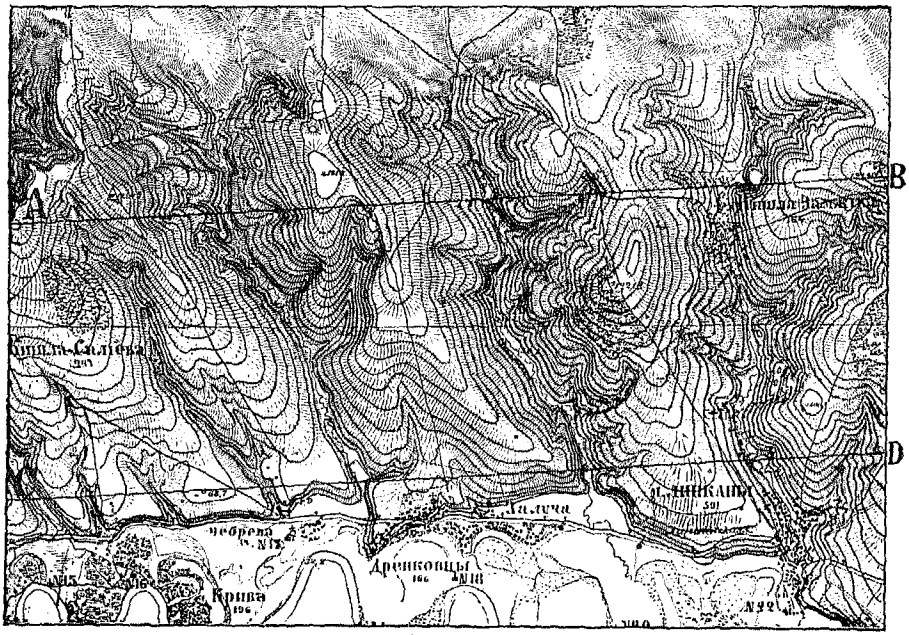
тали покатостей отлогихъ дѣлаютъ тонкими. Оттѣненіе горизонталей крутыхъ покатостей придаетъ большую пластичность и рельефность изображаемымъ неровностямъ.

29. Задачи, рѣшаемыя при помощи плана въ горизонталяхъ. Когда вычерченъ планъ въ горизонталяхъ, то, на основаніи его, можно *составить профиль въ любомъ направленіи*. Для этого, назначивъ требуемое направленіе на планѣ, стоитъ только измѣрить разстоянія между горизонталями, по назначенному направленію отложить ихъ на бумагѣ по линіи, принятой за горизонтальную, затѣмъ изъ то-

чекъ отложенія возставить перпендикуляры и на этихъ послѣднихъ отложить высоты, соотвѣтствующія горизонталямъ, а концы перпендикуляровъ соединить прямыми линіями. Полученная ломанная будетъ *профилемъ* мѣстности по данному направленію.

На черт. 18-мъ показанъ планъ въ горизонталяхъ, а на 19-мъ и 20-мъ—профиля, составленные на основаніи этого плана по направленіямъ *AB* и *CD*.

Когда планъ въ горизонталяхъ вычерченъ, то можно *назначить*



Черт. 18.

отъ любой точки, находящейся на опредѣленной горизонтали, направленіе линіи, имѣющей данный уклонъ.

Уклонъ равенъ тангенсу угла наклоненія, составленнаго съ горизонтомъ линіей, соединяющей данныя точки. Поэтому, если назовемъ уголъ наклоненія линіи къ горизонту буквою a, разность высотъ точекъ — буквою h (черт. 13) и горизонтальное разстояніе между данными точками—буквою d, то h, какъ катетъ прямоугольнаго треугольника, противолежащій углу a, выразится въ величинѣ

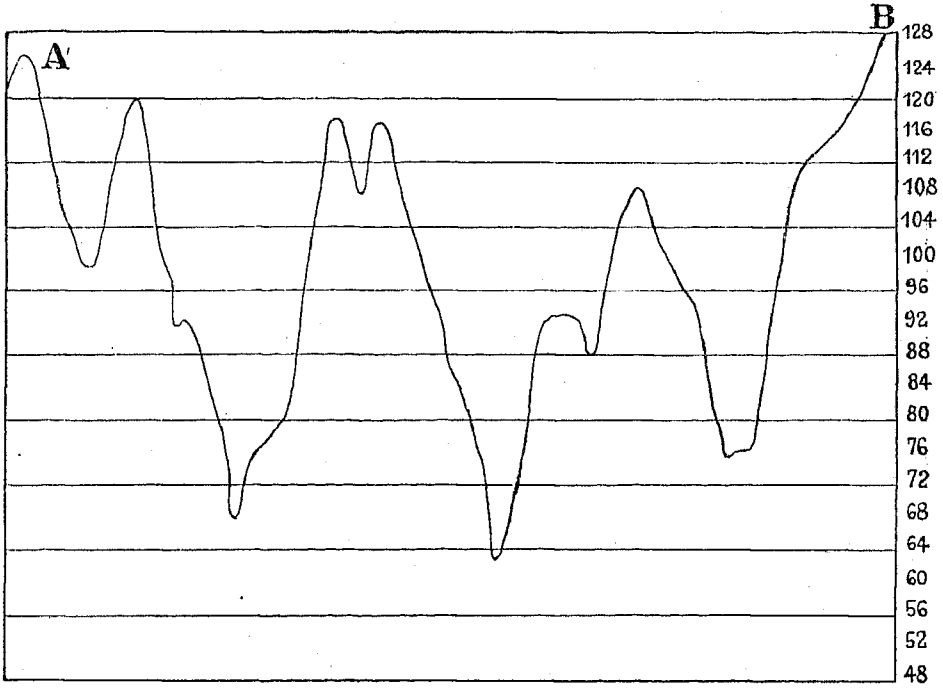
другого катета d такъ:

$$h = d\,tg\,a.$$

$tg\,a$, какъ сказали выше, есть уклонъ линіи, соединяющей двѣ данныя точки, а потому, назвавъ его буквой i, можемъ написать:

$$d = \frac{h}{i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Такимъ образомъ, чтобы назначить на планѣ направленіе линіи,



Черт. 19.

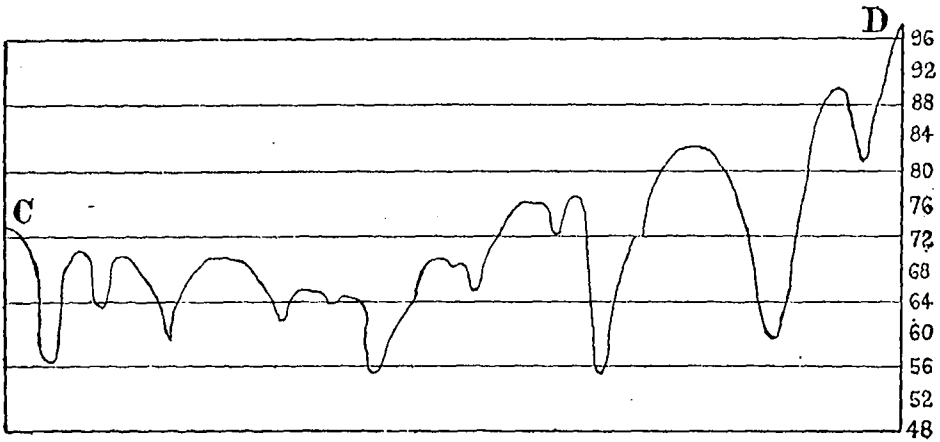
зная ея уклонъ и разность высотъ (h) между двумя смежными горизонталями, надо прежде всего по формулѣ $d = \frac{h}{i}$ вычислить заложеніе искомаго направленія.

Пусть, напр. горинзонтали проведены чрезъ три сажени, а искомому направленію желаютъ придать уклонъ, равный 0,015, т. е. такой, при которомъ, на разстояніи 1000 саженъ, разность высотъ крайнихъ точекъ линіи равняется 15 саж. Горизонтальное заложеніе

искомой линіи между двумя горизонталями опредѣлится изъ формулы (2):

$$d = \frac{3 \text{ саж.}}{0{,}015} = 200 \text{ саж.}$$

Найдя такимъ образомъ величину d, берутъ въ циркуль 200 саж. въ томъ масштабѣ, въ какомъ вычерченъ планъ, и изъ данной точки на горизонтали, какъ изъ центра, описываютъ дугу до пересѣченія со смежными горизонталями. Одну изъ полученныхъ четырехъ точекъ пересѣченія принимаютъ за новый центръ и тѣмъ же радіусомъ описываютъ новую дугу до пересѣченія со слѣдующею горизонталью и, продолживъ этотъ пріемъ по мѣрѣ надобности, соединяютъ, затѣмъ, между собою найденныя точки смежныхъ горизонталей и получаютъ



Черт. 20.

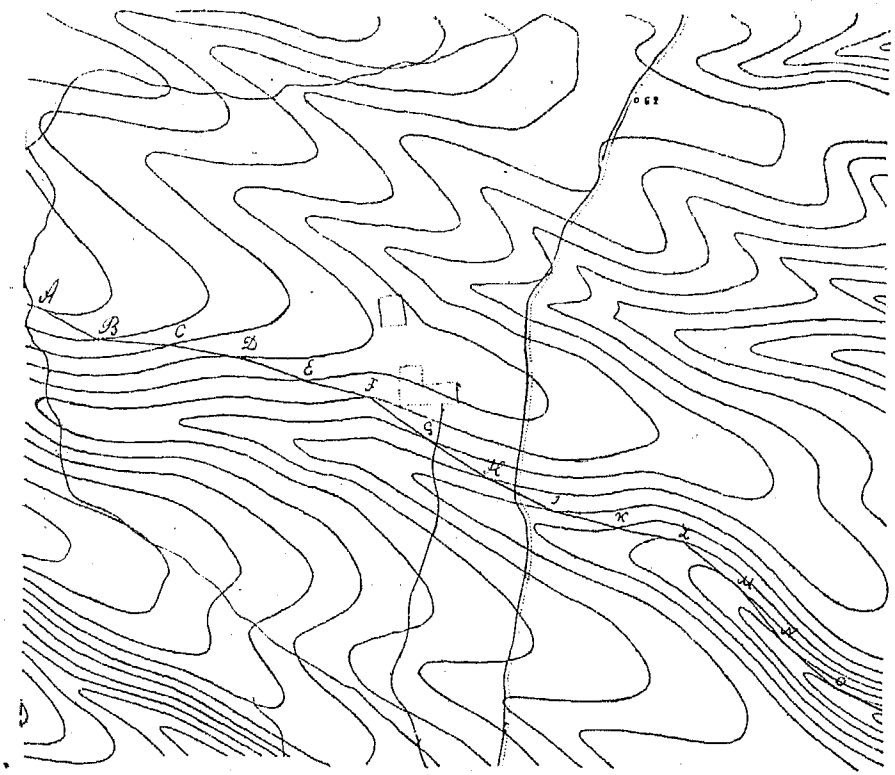
такимъ образомъ ломанную линію, имѣющую уклонъ равный 0,015. Если на планѣ въ горизонталяхъ отъ какой нибудь точки, взятой на одной изъ горизонталей, желаютъ назначить линію, имѣющую уклонъ 0,012, т. е. такой, чтобы линія подымалась или опускалась на 12 саженъ на разстояніи въ 1000 саженъ, и если разстояніе по высотѣ между горизонталями равно 3-мъ саженямъ, то величина проекціи, или заложенія, требуемой линіи найдется изъ формулы:

$$d = \frac{3}{0{,}012} = 250.$$

Взявъ въ циркуль, въ масштабѣ плана, 250 саженъ, изъ данной

на горизонтали точки описываютъ окружность, которая пересѣчетъ каждую изъ двухъ смежныхъ горизонталей въ двухъ точкахъ, и такимъ образомъ получатся четыре рѣшенія.

Въ видѣ примѣра, на чертежѣ 21-мъ изображенъ планъ въ горизонталяхъ. Масштабъ плана 1 верста въ 1-мъ дюймѣ, разстояніе по высотѣ между горизонталями 2 сажени. По указанному выше правилу,



Черт. 21.

на этомъ планѣ назначена линія *ABCDE*...., имѣющая уклонъ 0,011. Изучающій хорошо сдѣлаетъ, если, при помощи этого плана, исполнитъ всѣ тѣ задачи, о которыхъ говорится въ этомъ параграфѣ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда смежныя горизонтали не засѣкаются вычисленнымъ заложеніемъ, получается указаніе на то, что въ данномъ мѣстѣ нельзя назначить линію даннаго уклона, потому что мѣстность наклонена къ горизонту подъ углами меньшими, чѣмъ уголъ, соотвѣтствующій заданному уклону.

Точно такъ же *по плану въ горизонталяхъ легко опредѣлить уклонъ данной линіи между двумя смежными горизонталями.* Для этого надо измѣрить, по масштабу плана, длину линіи до точекъ ея пересѣченія съ двумя смежными горизонталями и найденную величину подставить, вмѣсто d, въ формулу $i = \frac{h}{d}$; а такъ какъ величина h извѣстна, то остается только дробь $\frac{h}{d}$ обратить въ десятичную, которая и выразитъ собою уклонъ данной линіи. Пусть, напр. разстояніе между горизонталями по высотѣ равно 2 саженямъ, длина линіи, измѣренной между двумя смежными горизонталями на планѣ, равна 250 саженямъ, *въ такомъ случаѣ уклонъ взятой линіи* равенъ 0,008, т. е. линія подымается или опускается на протяженіи тысячи саженъ на 8 саженъ или на протяженіи 125 саженъ на одну сажень.

Всѣ получаемые такимъ образомъ результаты будутъ тѣмъ точнѣе, чѣмъ точнѣе составленъ планъ горизонталей.

Изъ всего этого видно, что технику или инженеру планъ въ горизонталяхъ даетъ могущественное средство при рѣшеніи вопросовъ о наилучшемъ назначеніи дорогъ, каналовъ, водопроводныхъ сѣтей, и, вообще, при рѣшеніи вопросовъ о назначеніи мѣстъ для тѣхъ или другихъ сооруженій, потому что во всѣхъ этихъ случаяхъ приходится выбирать мѣсто съ опредѣленнымъ уклономъ. Такъ, для желѣзныхъ дорогъ у насъ въ Россіи приняты слѣдующіе предѣльные уклоны: въ ровныхъ мѣстахъ полагается не дѣлать дорогу съ уклономъ большимъ 0,008, рѣдко 0,01, въ холмистыхъ она должна имѣть не болѣе 0,01, рѣдко 0,012, а въ гористыхъ, какъ на Кавказѣ и Уралѣ, допускался предѣльный уклонъ отъ 0,015 до 0,025. На Сурамскомъ перевалѣ Поти-Тифлисская дорога имѣла, до постройки туннеля, уклонъ 0,045.

30. Достоинства и недостатки выраженія неровностей земли горизонталями. Планъ въ горизонталяхъ даетъ возможность опредѣлить, во 1-хъ, высоту точекъ, если извѣстна отмѣтка хотя одной горизонтали, а слѣдовательно, и возвышеніе, или, какъ говорятъ, командованіе одной точки надъ другою, а на основаніи этого, является возможность составлять профиля по данному направленію; во 2-хъ, онъ позволяетъ опредѣлять крутость и уклоны скатовъ по величинѣ заложеній, а слѣдовательно, назначать направленіе линіи, имѣющей опредѣленный уклонъ, въ 3-хъ, опредѣлять направленіе скатовъ и, въ 4-хъ, распознавать форму неровностей земной поверхности.

Но одновременно съ этимъ способъ выраженія неровностей горизонталями имѣетъ и нѣкоторыя неудобства. При разсматриваніи плана горизонталей, необходимо умственно представить себѣ разстояніе между горизонталями по высотѣ, а между тѣмъ, при малой высотѣ, горы представляются ниже, а скаты положе, при большей высотѣ — наоборотъ. Поэтому, существенный недостатокъ плана въ горизонталяхъ заключается въ отсутствіи пластичности и наглядности изображенія. Масштабъ крутостей не устраняетъ этой ненаглядности изображенія, хотя и облегчаетъ пользованіе планомъ въ горизонталяхъ. До нѣкоторой степени этотъ недостатокъ устраняется утолщеніемъ горизонталей.

При помощи горизонталей невозможно выразить на планѣ всѣ мелкія видоизмѣненія скатовъ, и это можно считать также за недостатокъ горизонталей. Профиль, составленный по плану горизонталей, въ значительной мѣрѣ можетъ отступать отъ дѣйствительнаго профиля: на немъ не окажется вершинокъ, обрывовъ, уступовъ и мелкихъ углубленій, что зависитъ отъ неточности рисовки горизонталей съ натуры, и хотя въ главныхъ частяхъ онъ сходенъ съ натурой, но въ то же время разнится отъ нея множествомъ небольшихъ видоизмѣненій. Эта разница тѣмъ больше, чѣмъ больше разстояніе по высотѣ между горизонтальными сѣченіями (h), т. е. тѣмъ больше подробностей остается въ этомъ случаѣ неизображенными какъ на планѣ, такъ и на профилѣ.

На этомъ основаніи можно считать, что предѣлъ точности опредѣленія высоты по плану въ горизонталяхъ и по профилю, составленному на основаніи плана горизонталей, равенъ $\frac{h}{2}$. Такъ что если промежутокъ между горизонталями равенъ 2 саженямъ, то ошибка въ опредѣленіи высоты по плану въ горизонталяхъ можетъ простираться и до одной сажени. При $h = 5$ саж., ошибка можетъ быть равна 2,5 саж.

Планъ въ горизонталяхъ можетъ дать ясное и отчетливое понятіе о мѣстности только при крупномъ масштабѣ, и за такой предѣлъ можно считать масштабъ не болѣе 500 саженъ въ дюймѣ. Для картъ же болѣе мелкаго масштаба онъ даетъ лишь общее представленіе о неровностяхъ обширной мѣстности.

Для цѣлей инженернаго искусства, какъ было сказано въ § 12-мъ,

планъ долженъ быть составленъ въ крупномъ масштабѣ, поэтому для этихъ цѣлей планъ горизонталей — самый удобный способъ изображенія неровностей земной поверхности.

Для общаго понятія объ орографіи страны приходится пользоваться генеральными картами малаго масштаба, и на такихъ орографическихъ картахъ, называемыхъ также гипсометрическими, выраженіе рельефа горизонталями надо считать вполнѣ удовлетворяющимъ цѣли.

Для цѣлей военныхъ, способъ этотъ считается не совсѣмъ удобнымъ, такъ какъ планъ горизонталей не представляетъ собою сплошной, осязательной, наглядной картины, позволяющей читать изображаемый рельефъ со всѣми его орографическими формами, непосредственно, съ одного лишь взгляда, безъ какихъ либо соображеній. Но это неудобство плана въ горизонталяхъ, не исключаетъ пользованія имъ и военными.

Глава IV.

ИЗОБРАЖЕНІЕ НЕРОВНОСТЕЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАСТУШЕВКОЮ, ОТМЫВКОЮ И ШТРИХАМИ.

31. Общія понятія о растушевкѣ и отмывкѣ. Чтобы придать картѣ наглядность, выразительность, пластичность, стараются изобразить ее въ видѣ картины, на которой неровности сразу бросались бы въ глаза. Для этого неровности выражаютъ переходами тѣней, въ зависимости отъ освѣщенія покатостей лучами свѣта, падающими въ опредѣленномъ направленіи. Съ этой цѣлью, съ давнихъ временъ на картахъ употреблялась растушевка и отмывка кистью. Но эти способы могутъ дать лишь поверхностное представленіе о рельефѣ мѣстности, не опредѣляя никакими точными признаками ни крутизны, ни направленія покатостей, хотя, несомнѣнно, ихъ слѣдуетъ признать за быстро исполнимые способы.

32. Изображеніе штрихами по способу Лемана. Леманъ (офицеръ саксонской арміи) почти, современникъ Бюаша и Дю-Карла, предложилъ, для выраженія неровностей земной поверхности, *способъ штриховъ*. Способъ этотъ, хотя и различно видоизмѣненный въ различныхъ государствахъ, принятъ, какъ наилучшій, для изображенія неровностей земной поверхности.

Хотя способъ штриховъ, главнымъ образомъ, имѣетъ значеніе для цѣлей военныхъ, но такъ какъ онъ неразрывно связанъ со способомъ горизонталей, какъ увидимъ далѣе, и такъ какъ на картахъ всей Россіи, издаваемыхъ военно-топографическимъ отдѣломъ главнаго штаба и продаваемыхъ для общаго пользованія, рельефъ изображается штрихами, то знакомство со способомъ штриховъ обязательно не только для военныхъ, но и для всѣхъ, кому приходится пользоваться картами военно-топографическаго отдѣла, какъ напр. для инженеровъ, лѣсничихъ, таксаторовъ, дабы они имѣли возможность по плану въ штрихахъ составить понятіе о рельефѣ мѣстности.

Самый способъ состоитъ въ слѣдующемъ: Леманъ предложилъ выражать тѣнь штрихами различной толщины, а свѣтъ промежутками между ними, при этомъ разстояніе между осями штриховъ принялъ за постоянную величину. *Направленіе штриховъ* онъ предложилъ дѣлать по направленію наибольшаго ската, или паденія, т. е. *перпендикулярно или нормально горизонталямъ, вслѣдствіе чего направленіе штриховъ обозначаетъ направленіе скатовъ.*

Въ основаніе густоты тѣней Леманъ сначала принималъ, что горизонтальная плоскость вполнѣ освѣщена, а потому для изображенія такой плоскости штрихами не пользовался, плоскости же отвѣсныя покрывалъ полною тѣнью.

Но въ виду того, что покатости, имѣющія уголъ наклоненія болѣе 45°, представляются для движенія войскъ недоступными и въ военномъ отношеніи имѣютъ одинаковое значеніе, Леманъ предложилъ впослѣдствіи покрывать такія покатости тушью, тѣни же различной густоты принималъ лишь для покатостей до 45 градусовъ, и зависимость между количествомъ тѣни и свѣта опредѣлилъ произвольною формулою:

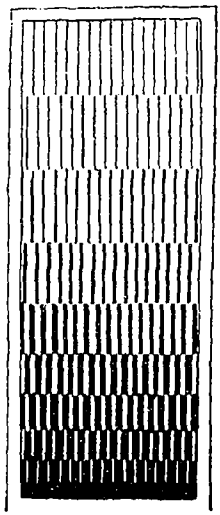
$$\frac{\text{тѣнь}}{\text{свѣту}} = \frac{\alpha}{45 - \alpha},$$

которую можно представить иначе, а именно:

$$\frac{\text{толщина штриха}}{\text{промежутку между штрихами}} = \frac{\alpha}{45 - \alpha},$$

гдѣ, какъ и въ первой формулѣ, α уголъ наклоненія ската къ горизонту.

На основаніи этой формулы, Леманъ построилъ шкалу штриховъ отъ 5° до 45° (черт. 22), взявъ для угловъ величины, показанныя въ слѣдующей табличкѣ:



Черт. 22.

НОМЕРА РАЗРЯДОВЪ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	4 0°	45°
$\alpha : (45 - \alpha)$ . .	1:8	2:7	3:6	4:5	5:4	6:3	7:2	8:1	9:0
Заложеніе при высотѣ сѣченія равной одной единицѣ мѣры длины	11,4	5,6	3,7	2,7	2,1	1,7	1,4	1,1	1

Изъ этой таблички, напримѣръ, видно, что для всѣхъ покатостей, имѣющихъ углы наклоненія отъ 0 до 5°, толщина штриха относится къ промежутку, какъ одинъ къ восьми, т. е. ширина свѣтлаго промежутка въ восемь разъ шире толщины штриха. Для угловъ наклоненія отъ 35° до 40°, наоборотъ, ширина свѣтлаго промежутка въ восемь разъ уже толщины штриха.

При пользованіи этой шкалой, всѣ покатости до 5° изображаются самою слабою тѣнью, такъ какъ толщина штриха относится къ промежутку между штрихами, какъ 1 къ 8; равнымъ образомъ, всѣ покатости отъ 5 до 10 градусовъ также выражаются одною тѣнью, но немного гуще, чѣмъ предыдущія покатости, и т. д.

Такъ какъ штрихи, по способу Лемана, чертятся перпендикулярно, или нормально, къ горизонталямъ, *то правильная штриховка невозможна безъ проведенія на планѣ горизонталей.* Но очень часто карты заштриховывали безъ проведенія горизонталей, и, конечно, при такомъ способѣ въ выраженіе неровностей вводилось много произвольнаго каждымъ изъ исполнителей такого черченія. Что касается возникновенія мысли, положенной въ основаніе системы Лемана, то она принадлежитъ, кажется, Фридриху Великому, который требовалъ, чтобы на картахъ ставилось черное пятно въ мѣстахъ, недоступныхъ для прохожденія войска.

33. Шкала штриховъ Болотова. Способъ Лемана хотя и принятъ, въ своихъ главныхъ основаніяхъ, во всѣхъ странахъ для выра-

женія неровностей, но подвергся различнаго рода измѣненіямъ. Примѣненіе его для изображенія неровностей Россіи удостоилось Высочайшаго утвержденія, но такъ какъ въ Россіи больше равнинъ, чѣмъ гористыхъ мѣстъ, то различныя покатости до 5°, по шкалѣ Лемана, пришлось изображать однообразно и то же самое дѣлать и при изображеніи разнообразныхъ покатостей между 5 и 10 градусами. А между тѣмъ стоитъ только взглянуть на таблицу заложеній (§ 25) или крутостей, чтобы видѣть, что заложенія отъ 1° до 10° измѣняются, при своихъ переходахъ отъ градуса къ градусу, довольно рѣзко, тогда какъ отъ 11° до 45° измѣненія въ заложеніяхъ мало замѣтны. Вслѣдствіе этихъ обстоятельствъ профессоръ геодезіи Болотовъ (въ 50-хъ годахъ) полагалъ, что, при изображеніи штрихами неровностей пространствъ Россійской Имперіи, слѣдуетъ отношенія между тѣнью и свѣтомъ, по способу Лемана, оставить безъ измѣненія; что же касается градаціи угловъ наклоненія, то онъ считалъ необходимымъ возрастаніе ихъ сдѣлать не равномѣрно, какъ у Лемана, чрезъ пять градусовъ, а съ возрастающими разностями при переходѣ отъ одного разряда къ другому. Такимъ образомъ, градусы угловъ въ разрядахъ Лемана Болотовъ замѣнилъ числами 1°, 2°, 4°, 7°, 11°, 16°, 23°, 32° и 45°, т. е. возрастающіе разницы взялъ такими: 1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 7°, 9° и 13°.

Въ приведенной ниже табличкѣ соединены вмѣстѣ разряды шкалъ Лемана и Болотова.

НОМЕРА РАЗРЯДОВЪ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Углы наклоненія по Леману . .	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Углы наклоненія по Болотову. .	1°	2°	4°	7°	11°	16°	23°	32°	45°
Отношеніе штриха къ промежутку	1:8	2:7	3:6	4:5	5:4	6:3	7:2	8:1	9:0

Такимъ образомъ, отношеніе толщины штриха къ промежутку въ шкалѣ Лемана и шкалѣ Болотова одно и то же, только различнымъ разрядамъ шкалы Лемана приписаны углы наклоненія въ другой градаціи, и въ градаціи произвольной, не отвѣчающей даже какой либо произвольной формулѣ, какъ это имѣетъ мѣсто въ системѣ Лемана.

Наконецъ, при изображеніи неровностей по шкалѣ Болотова, слабые скаты представляются затемненными, отчего имъ сообщается гористый характеръ. Устранить этотъ недостатокъ возможно измѣненіемъ разстояній между осями штриховъ въ зависимости отъ угловъ наклоненія. Введеніе этого условія сообщаетъ шкалѣ большую выразительность.

34. Шкалы штриховъ военно-топографическаго отдѣла главнаго штаба. На основаніи высказанныхъ выше соображеній, военно-топографическій отдѣлъ главнаго штаба установилъ шкалу, въ которой рядъ угловъ взятъ не произвольно, а въ геометрической прогрессіи, по возрастающимъ тангенсамъ этихъ угловъ, или по возрастающимъ уклонамъ мѣстности, а знаменатель отношенія въ этой прогрессіи взятъ равнымъ $^2/_3$, на основаніи того соображенія, что восхожденіе въ гору тѣмъ труднѣе, чѣмъ больше уклонъ. Рядъ этихъ угловъ приведенъ въ слѣдующей табличкѣ:

Номера разрядовъ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Углы наклоненія . .	1°	1°34′	2°28′	3°51′	6°8′	9°24′	14°32′	22°8′	32°32′	45°

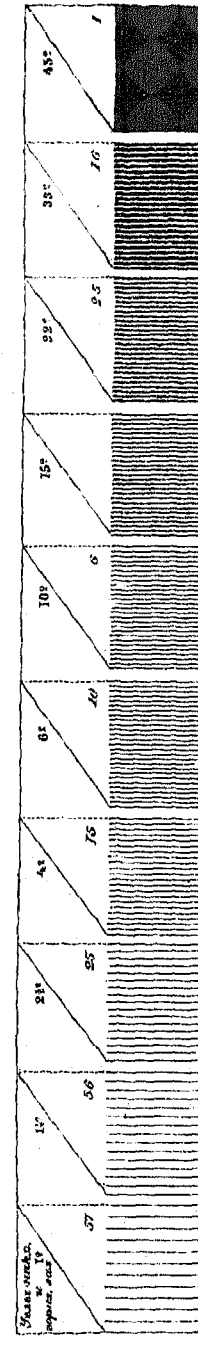
Для большей простоты шкала эта была затѣмъ измѣнена, а именно взяты: для 2 и 3 разряда $1^1/_2$ и $2^1/_2$ градуса, а для остальныхъ разрядовъ градусы и ихъ половины безъ минутъ. Вслѣдствіе этого табличка пріобрѣтаетъ слѣдующій видъ:

НОМЕРА РАЗРЯДОВЪ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Заложенія при высотѣ сѣченія равной одной единицѣ.	57,3	38	23	15	10	6	4	2,5	1,6	1
Углы наклоненія	1°	$1^1/_2$	$2^1/_2$	4	6	$9^1/_2$	$14^1/_2$	22	$32^1/_2$	45
Отношеніе толщины штриха къ промежутку . .	Толщина штриха постоянная, а уменьшаются промежутки.				1:5	2:4	3:3	4:2	5:1	6:0
Число штриховъ въ дюймѣ.	18	22	27	31	—	—	—	—	—	—

Черт. 23 представляетъ образецъ штриховъ этой шкалы для масштаба съемки 250 саженъ въ дюймѣ.

35. Правила необходимыя при чтеніи плана въ штрихахъ и при изображеніи неровностей штрихами, или при ситуаціонномъ черченіи. Чтобы научиться читать планъ въ штрихахъ, необходимо научиться изображать неровности штрихами. Для этого прежде всего необходимо упражняться въ черченіи шкалы между двумя параллельными линіями, проведенными на разстояніи другъ отъ друга около 0,2 дюйма, и ставить штрихи одного разряда до тѣхъ поръ, пока рука и глазъ не пріобрѣтутъ достаточнаго навыка въ размѣщеніи штриховъ на равномъ разстояніи одинъ отъ другого и притомъ перпендикулярно къ проведеннымъ параллельнымъ линіямъ. Начинать это упражненіе надо съ тонкихъ штриховъ перваго разряда, обращая особенное вниманіе на то, чтобы толщина штриха была въ 8 разъ тоньше промежутка между штрихами, и только повторивъ одно и то же нѣсколько разъ, переходить къ черченію штриховъ второго разряда (черт. 22). Такимъ образомъ переходятъ постепенно къ черченію штриховъ послѣдующихъ разрядовъ, послѣ чего приступаютъ къ правильному черченію шкалы въ постепенномъ порядкѣ тѣней, начиная со свѣтлыхъ штриховъ, т. е. отъ 1° до 45° (черт. 23), и обратно отъ 45° до 1°, сначала между двумя параллельными линіями, а затѣмъ между нѣсколькими послѣдовательными рядами параллельныхъ линій. Такое же упражненіе повторяютъ между непараллельными, расходящимися и сходящимися, прямыми и кривыми (черт. 24, 25 и 26).

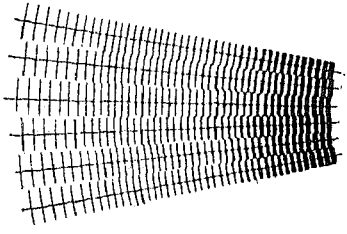
Штрихи проводятъ медленно, дѣйствуя одними пальцами, а не всею кистью руки, слабо нажимая перо такъ, чтобы оно не врѣзывалось въ бумагу, а скользило бы по ней, тогда штрихъ получится чистый, безъ зазубринъ, не шероховатый, а наливной. Штрихи слѣдуетъ проводить сверху внизъ, отъ лѣвой руки къ правой. Навыкнувъ въ черче-



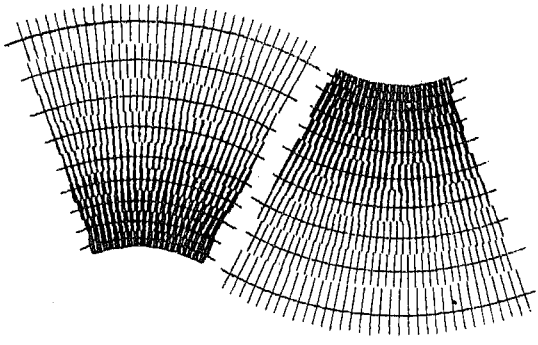
Черт. 23.

ніи штриховъ, можно проводить ихъ сразу и скорѣе, однимъ размахомъ, если они тонкіе и соотвѣтствуютъ среднимъ покатостямъ. При крутыхъ покатостяхъ слѣдуетъ ставить два тонкихъ штриха на разстояніи толщины одного штриха соотвѣтственной покатости и, легко скользя перомъ по бумагѣ, заливать промежутокъ между поставленными уже тонкими штрихами,—отъ этого штрихъ получается чистый и красивый. Если штрихи дѣлаются не перомъ, а карандашомъ, то карандашъ надо очинить конусомъ, а не лопаткою.

Скаты одинаковой крутости должны быть вычерчены штрихами одинаковой толщины и съ одинаковыми между ними промежутками. Если, по ошибкѣ, будутъ поставлены штрихи съ большимъ, чѣмъ



Черт. 24.



Черт. 25. Черт. 26.

слѣдуетъ, промежуткомъ, то исправленіе производится утолщеніемъ штриховъ, такъ какъ неравенство бѣлыхъ промежутковъ рѣзче бросается въ глаза, чѣмъ неравенство въ толщинѣ штриховъ; если невѣрный промежутокъ утолщеніемъ штриховъ не исправляется, то лучше счистить невѣрно поставленный штрихъ и вычертить его вновь правильнѣе. Равенства же толщины штриховъ и промежутковъ между ними всего легче достигнуть такимъ образомъ: окончивъ рядъ штриховъ, слѣдуетъ пересмотрѣть его отъ перваго штриха и промежутка до послѣдняго и подправить штрихи, давая имъ вѣрное положеніе и толщину, и не начинать черченія слѣдующаго ряда до тѣхъ поръ, пока, по собственному убѣжденію работающаго, предыдущій рядъ не будетъ казаться ему правильнымъ. При такомъ порядкѣ, глазъ привыкаетъ, при дальнѣйшихъ работахъ, разыскивать невольныя ошибки.

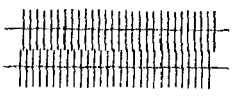
Относительно длины штриховъ держутся такого правила: для

скатовъ большей крутизны штрихи болѣе толстые дѣлаютъ короче, а тонкіе длиннѣе, но такъ, чтобы они не превосходили 0,3 дюйма. Что же касается промежутковъ между штрихами тонкими и толстыми, то въ этомъ отношеніи соблюдается общій законъ относительно штриховъ, т. е. чѣмъ тоньше штрихъ, тѣмъ больше промежутокъ, а съ постепеннымъ утолщеніемъ штриха промежутокъ постепенно уменьшается, сообразно съ приведенными выше таблицами шкалъ Лемана, Болотова и военно-топографическаго отдѣла.

Прежде чѣмъ начать чертить штрихи на планѣ для выраженія ими рельефа, надо сначала нанести горизонтали, и притомъ едва замѣтно. Черченіе штриховъ надо начинать отъ вершинъ и вести ихъ къ подошвамъ отъ лѣвой руки къ правой; штрихи надо доводить сплошь до горизонталей, но не переводить чрезъ нихъ, т. е. штрихъ долженъ



Черт. 27.



Черт. 28.



Черт. 29.

проходить на всемъ протяженіи между горизонталями. Если не соблюдать этого правила, то будутъ получаться свѣтлыя или темныя полосы, выражающія уступы и рѣзкіе перегибы скатовъ; во всякомъ случаѣ, этимъ нарушается правильность и гладкость тѣни (черт. 27 и 28). Во избѣжаніе этого, слѣдуетъ начинать штрихъ нижняго ряда какъ разъ на линіи концовъ верхняго (черт. 29). Штрихи одного ряда не должны быть продолженіями штриховъ рядовъ смежныхъ, вмѣстѣ съ тѣмъ штрихи различныхъ рядовъ не слѣдуетъ чертить въ шахматномъ порядкѣ. Для этого, при черченіи слѣдующаго ряда, надо начинать чертить не съ середины выше лежащихъ промежутковъ, а ближе къ одному изъ краевъ промежутка между штрихами. Расположеніе штриховъ въ шахматномъ порядкѣ не считается изящнымъ. При малыхъ же разстояніяхъ между горизонталями, одинъ штрихъ можно класть на двухъ и большемъ числѣ промежутковъ. При изображеніи пологихъ скатовъ, а также скатовъ, имѣющихъ закривленное очертаніе, что бываетъ на хребтахъ и въ лощинахъ, проводятъ промежуточныя горизонтали и между ними уже штрихи, такъ что штрихъ между главными горизонталями подраздѣляется на

нѣсколько отдѣльныхъ частей, чѣмъ уменьшается длина штриха, а разстояніе между верхними и нижними концами штриховъ получается въ то же время болѣе или менѣе одинаковой величины.

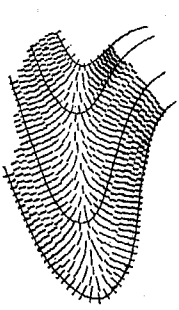
Промежуточныя горизонтали слѣдуетъ проводить также и при скатахъ, изображающихъ собою косую поверхность, заключенную между двумя главными горизонталями. Небольшія формы мѣстности, вычерченныя длинными штрихами, имѣютъ некрасивый видъ, кромѣ того, длинными штрихами трудно выразить мелкіе изгибы земной поверхности; крутыя же формы, вычерченныя мелкими штрихами, теряютъ форму массивности, и, сверхъ того, такое черченіе требуетъ много времени, и оно утомительно. Съ другой стороны, одни короткіе штрихи придаютъ ситуаціонному черченію характеръ пестроты. Въ виду этого, чтобы соблюсти одинъ тонъ на планѣ и для облегченія черченія, допускается, при очень сближенныхъ горизонталяхъ, черченіе штриховъ чрезъ одну горизонталь, а при далеко отстоящихъ, расширенныхъ горизонталяхъ, проводятъ вспомогательныя, въ особенности если главныя горизонтали кривыя, и штрихи сходятся или расходятся (черт. 30). Вспомогательныя горизонтали слѣдуетъ непремѣнно проводить симметрично между главными такъ, чтобы ихъ изгибы соотвѣтствовали изгибамъ этихъ послѣднихъ (черт. 31); онѣ не должны примыкать къ главнымъ горизонталямъ, т. е. ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ проводить вспомогательныя горизонтали такъ, какъ показано на черт. 32.

Послѣ того, какъ проведены вспомогательныя, или подраздѣлительныя горизонтали, проводятъ слегка карандашомъ линіи наибольшаго ската, или паденія, и надписываютъ на нихъ мелкими цифрами градусы (черт. 31), обозначающіе степень крутости; гораздо лучше, однако, пріобрѣсти навыкъ представлять себѣ крутизну покатости и разрядъ по шкалѣ штриховъ по разстояніямъ между горизонталями, или заложеніямъ.

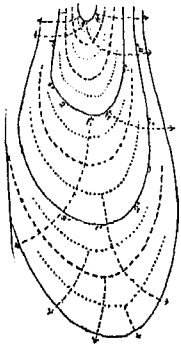
Если проводятся вспомогательныя горизонтали, то штрихи чертятъ между двумя смежными промежуточными горизонталями, пересѣкая главную (черт. 33). Для того, чтобы штрихъ былъ перпендикуляренъ къ главной горизонтали, имъ пересѣкаемой, при непараллельныхъ прямыхъ или неконцентричныхъ кривыхъ горизонталяхъ, необходимо слегка сгибать штрихи, дѣлая выпуклость въ сторону расширенія горизонталей, но такъ, чтобы *концы* штриховъ были бы

все-таки перпендикулярны къ тѣмъ горизонталямъ, между которыми проводятся штрихи.

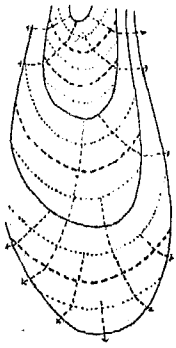
Относительно промежутка между расходящимися и сходящимися штрихами слѣдуетъ придерживаться того правила, чтобы схожденіе и расхожденіе штриховъ нигдѣ не было меньше промежутка соотвѣтственнаго разряда по шкалѣ штриховъ. Расходящіеся же штрихи при всѣхъ выпуклостяхъ и, въ особенности, на узкихъ хребтахъ размѣщаются такъ, чтобы промежутки верхнихъ концовъ какого нибудь ряда штриховъ равнялись бы промежуткамъ такихъ же концовъ расходящихся штриховъ верхняго предыдущаго ряда. Въ обоихъ этихъ случаяхъ дѣлается отступленіе отъ общаго правила, чтобы



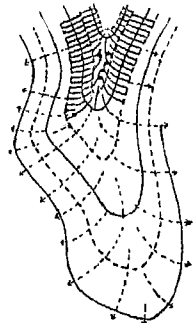
Черт. 30.



Черт. 31.



Черт. 32.

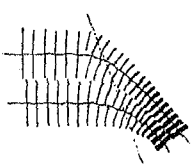


Черт. 33.

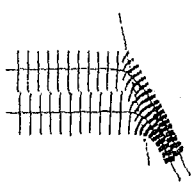
штрихи одного ряда не захватывали штриховъ другого ряда, напротивъ того, въ этихъ случаяхъ ставятъ штрихи то подъ промежуткомъ, то подъ штрихомъ (черт. 34).

На всѣхъ выпуклыхъ и вогнутыхъ скатахъ, для сохраненія промежутку опредѣленной его ширины и перпендикулярности штриховъ къ горизонталямъ, является необходимость въ употребленіи клинообразнаго штриха, т. е. съ одного конца заостреннаго. Чтобы избѣгнуть постановки клинообразнаго штриха, слѣдуетъ въ такихъ мѣстахъ укорачивать штрихи и ставить два вмѣсто одного при выпуклостяхъ, или одинъ вмѣсто двухъ при вогнутостяхъ, придерживаясь правила, чтобы штрихи слѣдующаго ряда начинались съ такой же толщины, съ какой окончены штрихи предыдущаго ряда, и оканчивались бы толще или тоньше, смотря по крутизнѣ или отлогости

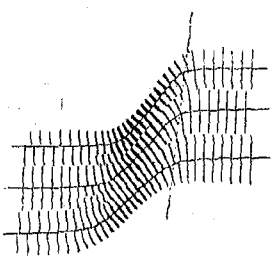
скатовъ. *Клинообразный штрихъ примѣняется для выраженія* вообще перегибовъ скатовъ. На выраженіе перегиба скатовъ, непараллельнаго общимъ горизонталямъ, рѣзко-угловатаго или мягко-выпуклаго, необходимо обращать особенное вниманіе. Чѣмъ острѣе уголъ перегиба горизонтали, т. е. чѣмъ рѣзче горизонталь приближается къ уступу, тѣмъ рѣзче долженъ быть обозначенъ переходъ отъ пологой покатости въ крутую, и здѣсь примѣняется клинообразный штрихъ, такъ какъ въ одномъ такомъ штрихѣ заключается нѣсколько разрядовъ шкалы штриховъ (черт. 34, 35 и 36). При очень пологихъ скатахъ чертятъ рѣдкіе штрихи, изгибаемые въ обѣ стороны. На скатахъ горъ, спускахъ хребтовъ и проч. встрѣчаются нерѣдко перегибы, переходящіе въ горизонтальныя площадки; для выраженія ихъ штрихами, со-



Черт. 34.



Черт. 35.



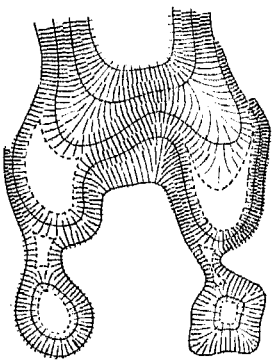
Черт. 36.

отвѣтствующія мѣста на планѣ заштриховываются самымъ свѣтлымъ штрихомъ, а въ большинствѣ случаевъ оставляются бѣлыми, незаштрихованными (черт. 37). Острые перегибы по хребтовой линіи иногда также не заштриховываются (черт. 38 и 39), а оставляются бѣлыми.

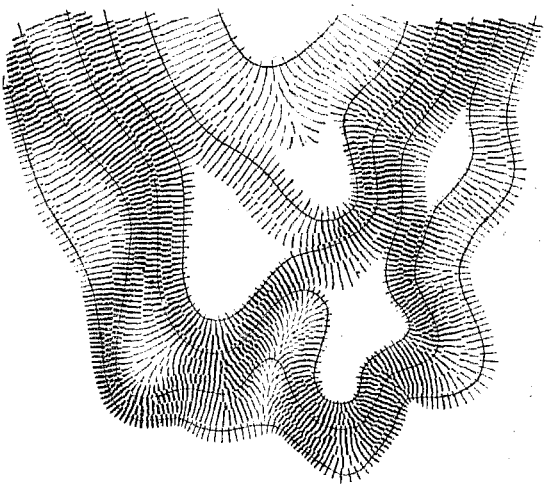
Если на скатѣ имѣются рѣзкіе переходы въ углахъ наклоненія, то они образуютъ на земной поверхности уступы, срѣзы, обрывы и ступени. *Края ихъ могутъ быть горизонтальными или наклонными.* При изображеніи такихъ мѣстъ штрихами, ситуація получается болѣе темная, а штрихи болѣе утолщенные.

При косыхъ переходахъ мѣстности полезно сначала вычертить всѣ тонкіе штрихи до крутой покатости слѣва направо и внизъ, и затѣмъ уже приступать къ вычерчиванію крутыхъ скатовъ, начиная съ верхняго ряда, и каждый разъ отъ изгиба такъ, чтобы штрихи постепенно къ правой сторонѣ были бы толще, а къ низу клино-

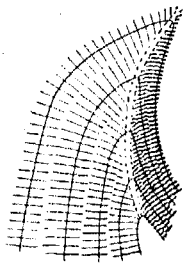
образный штрихъ тоньше (черт. 35). Клинообразному штриху придаютъ различныя формы (черт. 40, 41, 42 и 43). Изъ этихъ формъ штрихъ (черт. 40), съ совершенно прямыми боками съ верху до низу,



Черт. 37.

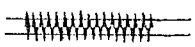


Черт. 38.



Черт. 39.

вполнѣ правиленъ, но некрасивъ, въ особенности въ началѣ и въ концѣ ската. Штрихъ, показанный на черт. 43-мъ, съ выпуклыми до половины боками, чрезвычайно красивъ и мягокъ въ тѣни, а потому наиболѣе употребителенъ. Штрихи, показанные на черт. 41 и 42, совершенно не употребляются. Перегибы сѣдловинъ, уступы, хребты, при вычерчи-



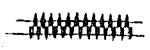
Черт. 40.



Черт. 41.



Черт. 42.



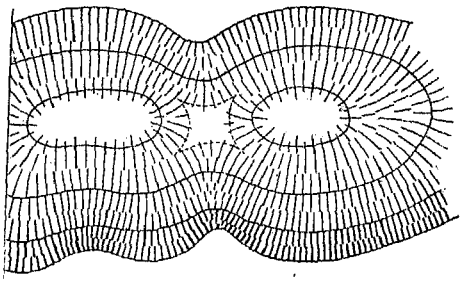
Черт. 43.

ваніи, обозначаются слегка линіями карандашемъ (черт. 44 и 45).

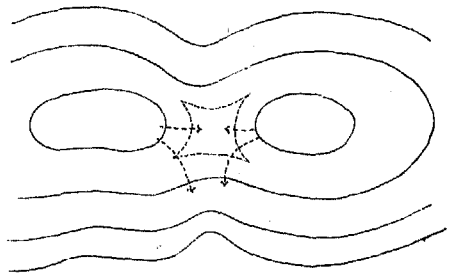
Вершины должны начинаться мягко, при этомъ послѣ перваго штриха слѣдующій ставится на половину меньше, потомъ опять длиннѣе и опять меньше, такъ что начало вокругъ вершины получается какъ бы зубчатое (черт. 44, 47 и 48).

При выраженіи штрихами сѣдловинъ, необходимо имѣть въ виду,

чтобы штрихи, изображающіе углы сѣдловины, не составляли ломанныхъ линій со штрихами, проведенными отъ вершинъ, а ставились бы въ видѣ дугъ, по направленію линій наибольшаго ската, или паденія, и вмѣстѣ съ тѣмъ были бы нормальны къ гори-



Черт. 44.

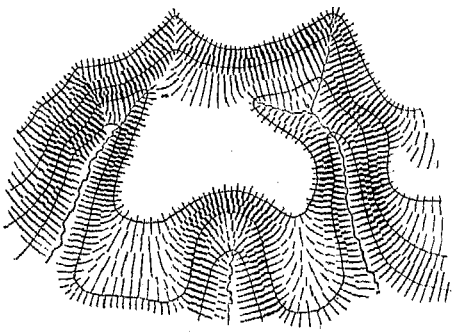


Черт. 45.

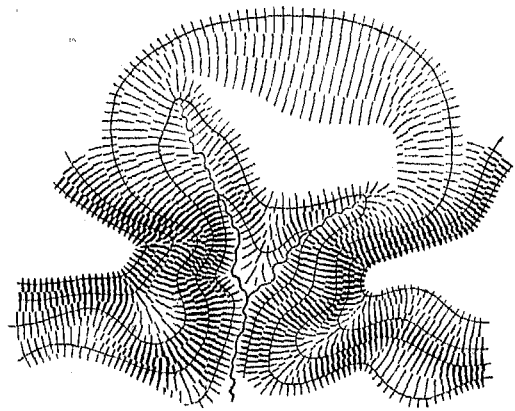
зонталямъ, выражающимъ форму вершинъ и покатостей, а также и къ линіямъ очерковъ сѣдловинъ (черт. 44). Очеркъ сѣдловины не зачерчивается штрихами, но означается слегка карандашомъ. Форма и ве-

Черт. 46.





Черт. 47.

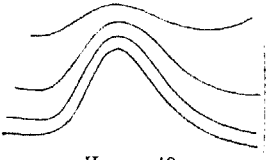


Черт. 48.

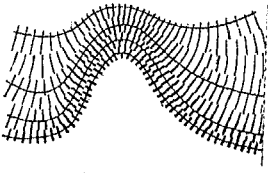
личина этихъ площадокъ зависятъ отъ промежуточной горизонтали. Сѣдловины изображаются многоугольниками съ вогнутыми боками, со штрихами нормальными къ сторонамъ многоугольника съ наружной его стороны. Если отъ вершины приходится чертить толстые штрихи съ слабыми свѣтовыми промежутками, такъ что ситуа-

ція выходитъ черною, то ближайшіе къ вершинѣ штрихи слѣдуетъ вытягивать тонкими линіями, или, какъ выражаются, *заклинивать* горизонтали.

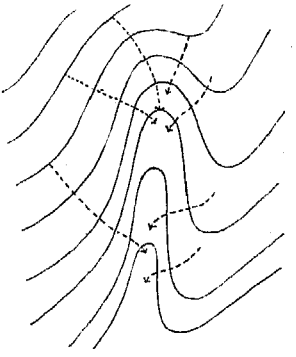
Круглыя лощины вычерчиваютъ (черт. 49 и 50) штрихомъ немного изогнутымъ и укороченнымъ, соотвѣтственно положенію за-



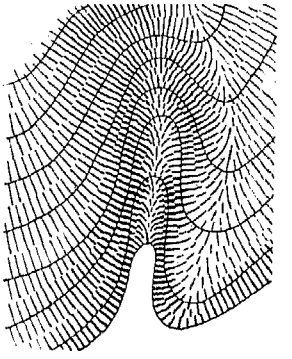
Черт. 49.



Черт. 50.

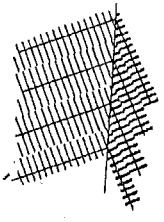


Черт. 51.

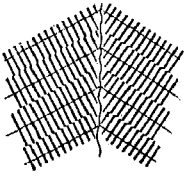


Черт. 52.

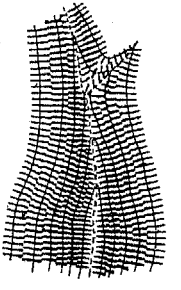
кругленныхъ горизонталей, а дно лощины вычерчивается при этомъ свѣтлѣе ея боковъ (черт. 50). Острыя лощины (черт. 53) изображаются горизонталями, подходящими отъ противоположныхъ скатовъ къ тальвегу, или водостоку, подъ острыми углами, поэтому штрихъ,



Черт. 53.



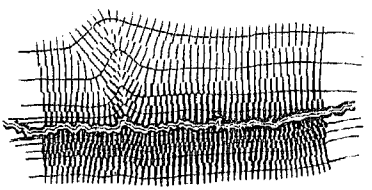
Черт. 54.



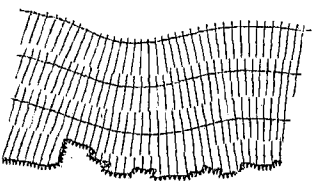
Черт. 55.

вмѣстѣ съ горизонталью и тальвегомъ, составляетъ прямоугольный треугольникъ, у котораго направленіе тальвега будетъ гипотенузой. Слѣдовательно, чѣмъ острѣе углы пересѣченія горизонталей съ линіей тальвега, тѣмъ ближе къ прямымъ угламъ будетъ пересѣченіе штриха съ тальвегомъ (черт. 53). Если штрихи боковыхъ скатовъ встрѣчаютъ тальвегъ подъ неравными углами, то они разной тол-

щины, а именно, чѣмъ острѣе уголъ штриха съ тальвегомъ, тѣмъ штрихъ тоньше, а чѣмъ ближе къ прямому углу пересѣченіе штриха съ тальвегомъ, тѣмъ щеки лощины круче и штрихъ толще; при этомъ необходимо изгибать концы штриховъ, иначе штрихи крутого ската будутъ упираться въ штрихъ ската пологаго (черт. 53,

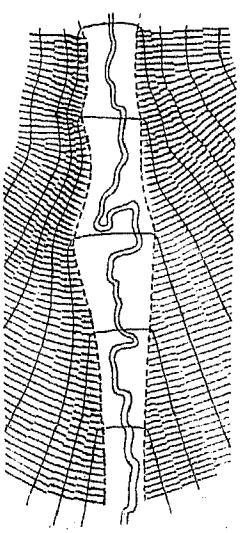


Черт. 56.

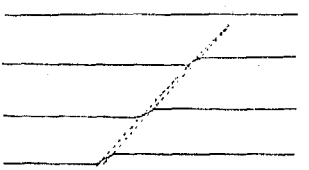


Черт. 57.

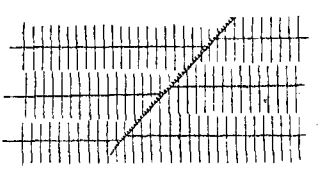
54 и 55). Если на днѣ лощины нѣтъ промоины, то штрихи къ самой линіи тальвега дѣлаются тонкіе (черт. 54 и 55), въ противномъ случаѣ, ихъ надо заканчивать также тонко, но упирать въ края про-



Черт. 58.



Черт. 59.



Черт. 60.

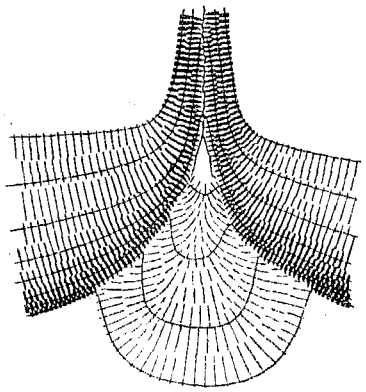
моины, которая при этомъ обводится изломанной чертою (черт. 56). Обрывы вычерчиваются рѣзкимъ, толстымъ штрихомъ (черт. 57).

Широкая долина съ очень слабымъ паденіемъ, такая напр., что горизонтали на планѣ отстоятъ другъ отъ друга на одинъ дюймъ, штрихомъ не зачерчивается, скаты же, ограничивающіе долину, вы-

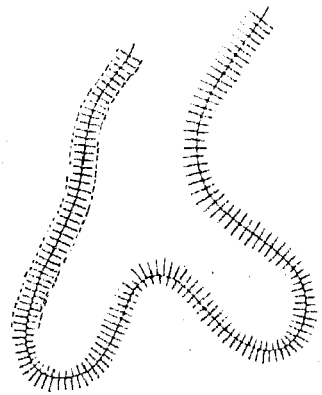
черчиваются только до излома горизонтали, направляющейся по другую сторону лощины. Соединивъ такіе изломы пунктирною линіей карандашомъ, получаютъ предѣльную линію для ситуаціоннаго черченія (черт. 58). Легкіе уступы и складки мѣстности, нерельефно выражающейся горизонталями, вычерчиваются, какъ показано на черт. 59 и 60.

Наносныя отложенія, при крутомъ паденіи лощины, вычерчиваются, какъ показано на черт. 61. Пологія мѣста, выражающіяся одною горизонталью, вычерчиваются, какъ показано на черт. 62.

При быстрыхъ работахъ карандашомъ, и для выраженія лишь формъ поверхности и относительныхъ крутостей и превышеній, упо-



Черт. 61.



Черт. 62.

требляютъ такъ называемый *вязаный штрихъ*, т. е. между штрихами чертятся вкось тонкія линіи, связывающія одинъ штрихъ съ другимъ. Преимущество этого штриха заключается въ томъ, что рука не отрывается во время черченія отъ рисунка.

На основаніи всего изложеннаго о горизонталяхъ и штрихахъ, можно высказать въ краткихъ словахъ, какъ выражаются штрихами правильныя геометрическія формы, а именно:

Наклонная плоскость изображается горизонталями въ видѣ прямыхъ равно-отстоящихъ другъ отъ друга, а потому она выражается штрихами прямыми, параллельными и одинаковой густоты тѣни.

Цилиндрическая выпуклая поверхность изображается штрихами прямыми, параллельными и одинаковой густоты тѣни, увеличивающейся къ подошвѣ.

Цилиндрическая вогнутая поверхность изображается штрихами прямыми, параллельными, съ густотою тѣни, увеличивающеюся къ вершинѣ.

Прямой конусъ изображается штрихами прямыми, расходящимися и одинаковой густоты.

Шаровой сегментъ изображается штрихами прямыми и расходящимися, съ густотою тѣни, увеличивающеюся къ подошвѣ.

Воронко-образная поверхность изображается штрихами прямыми и расходящимися, но съ густотою тѣни, увеличивающейся къ вершинѣ.

Наклонный конусъ изображается штрихами кривыми, расходящимися и съ густотою тѣни, увеличивающеюся въ сторону наклоненія оси конуса.

Наклонная пирамида изображается штрихами прямыми и параллельными, съ густотою тѣни различною для различныхъ граней пирамиды, смотря по угламъ наклоненія ихъ къ горизонту. Ребра пирамиды выражаются прямыми линіями, соединяющими точки пересѣченія штриховъ смежныхъ граней, но они не вычерчиваются.

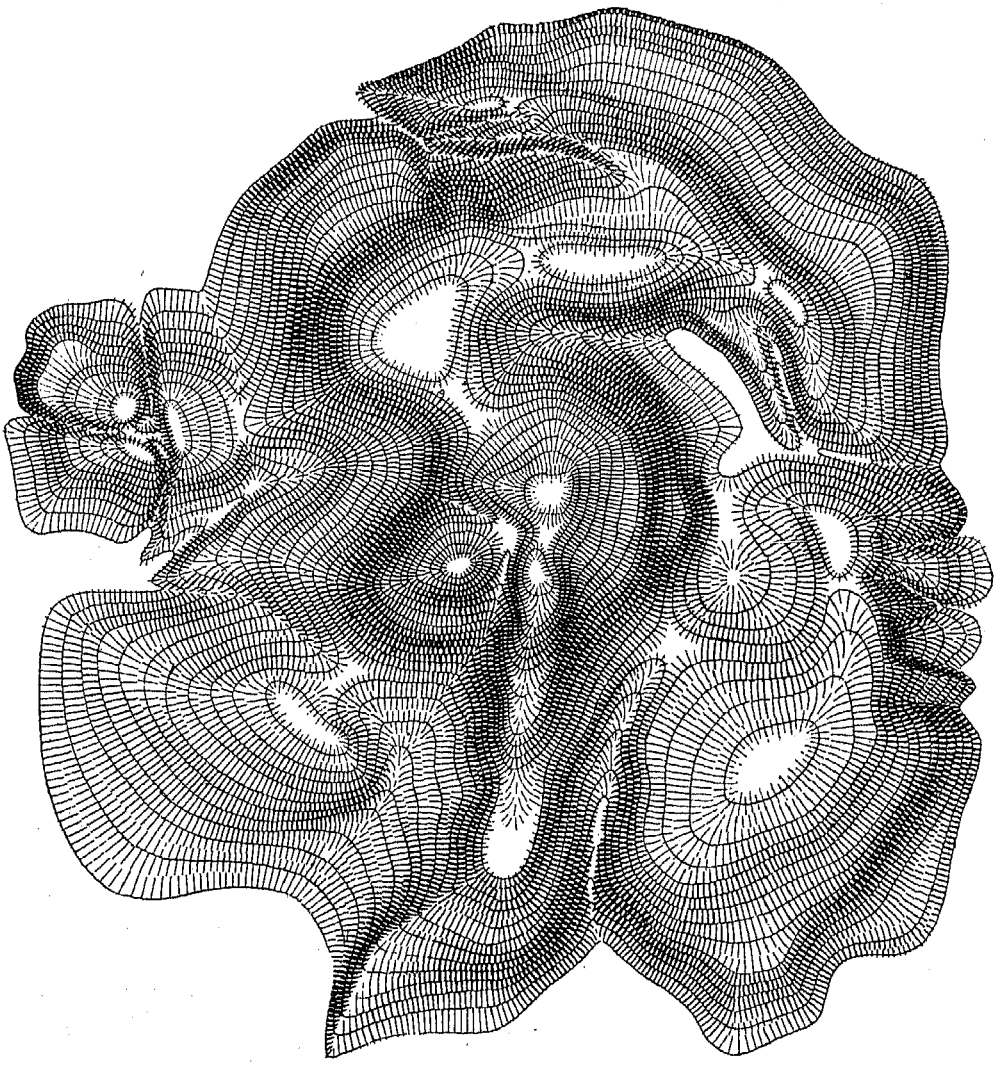
36. Правила, коими надо руководствоваться при чтеніи плановъ и картъ въ штрихахъ. Для того, чтобы прочесть планъ въ штрихахъ, необходимо прежде всего найти на немъ вершины возвышеній, впадины углубленій и сѣдловины, тогда дальнѣйшее чтеніе не представитъ большихъ трудностей, если хорошо усвоены правила вычерчиванія штриховъ въ различнаго рода неровностяхъ (§ 35). Кромѣ того, надо помнить слѣдующія краткія правила.

Мѣсто, незаштрихованное, изъ котораго штрихи расходятся во всѣ стороны, представляетъ собою вершину возвышенія (черт. 63). Мѣсто, къ которому они сходятся со всѣхъ сторонъ, представляетъ собою дно углубленія. Штрихи, расходящіеся съ одного направленія въ двѣ противоположныя стороны, изображаютъ отрогъ. Направленіе, отъ котораго они расходятся,—перевалъ, или гребень. Штрихи, сходящіеся къ одному направленію съ двухъ противоположныхъ сторонъ, выражаютъ лощину, а направленіе, въ которомъ штрихи сходятся, — тальвегъ. Отроги и лощины, при остромъ очертаніи, изображаются штрихами прямыми, пересѣкающимися, а при округленномъ очертаніи — штрихами кривыми, непересѣкающимися.

Линія, въ которой оканчиваются штрихи, расходящіеся отъ вер-

шины или перевала, изображаетъ подошву, а линія, отъ которой начинаются штрихи, сходящіеся ко дну или тальвегу, изображаетъ окраину.

Мѣсто, незаштрихованное, къ которому съ трехъ, четырехъ или

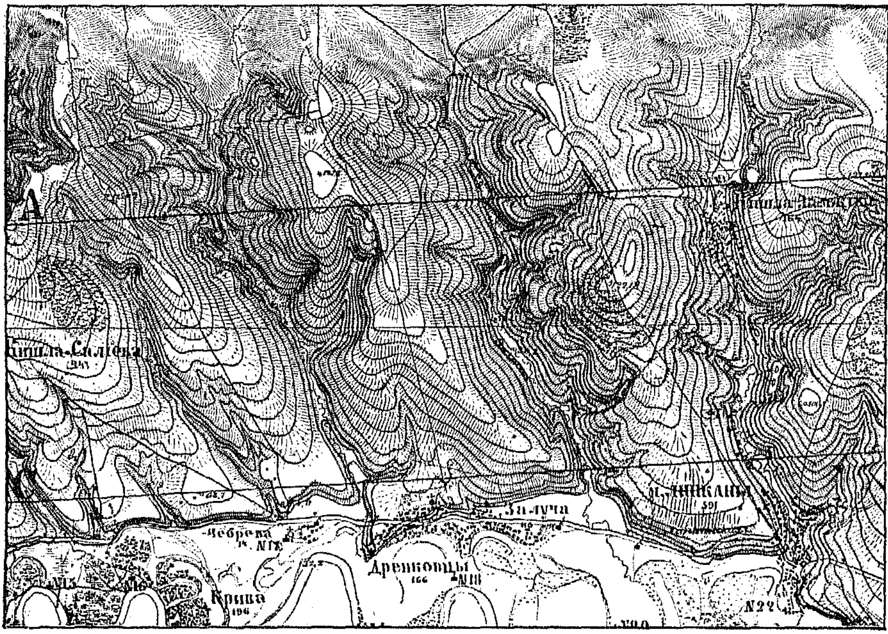


Черт. 68.

пяти сторонъ сходятся штрихи, расположенные вѣерообразно, представляетъ сѣдловину (черт. 44).

Такъ какъ штрихи проводятъ по направленію наибольшаго ската, или паденія, или перпендикулярно къ горизонталямъ, то, при гори-

зонталяхъ прямыхъ и параллельныхъ, штрихи также должны быть прямые и параллельные; при горизонталяхъ прямыхъ, но расходящихся, штрихи должны быть кривые, непараллельные, обращенные выпуклостью своею въ ту сторону, гдѣ разстояніе между горизонталями большее; при горизонталяхъ кривыхъ и параллельныхъ, штрихи должны быть прямые, но расходящіеся; при горизонталяхъ кривыхъ и расходящихся, штрихи должны быть кривые, расходящіеся и обращенные выпуклостью своею въ сторону большаго разстоянія между



Черт. 64.

горизонталями. Густота тѣни штриховъ увеличивается по мѣрѣ уменьшенія разстоянія между горизонталями.

Линія, по которой штрихи измѣняютъ густоту своей тѣни, представляетъ перегибъ ската, а при рѣзкомъ переходѣ отъ весьма свѣтлой къ очень темной тѣни, — изображаетъ обрывъ. Полоса свѣта, совсѣмъ незаштрихованная, или слабая тѣнь между двумя сильными тѣнями изображаютъ уступъ, а незаштрихованное мѣсто, съ примыкающими къ нему съ двухъ или трехъ сторонъ очень темными тѣнями, изображаетъ террассу.

Штрихи прямые, пересѣкающіеся, большею частью, выражаютъ углубленія; штрихи кривые, непересѣкающіеся, чаще изображаютъ возвышенія.

Когда на ровной поверхности находится нѣсколько отдѣльныхъ возвышеній и углубленій, ямъ и бугровъ, тогда дно углубленій заштриховываютъ или покрываютъ свѣтлою тушью. Изучающій хорошо сдѣлаетъ, если, всмотрѣвшись въ чертежи 63-й и 64-й, отвѣтитъ себѣ на вопросъ, какія формы представляетъ собою та или другая часть этихъ плановъ, составленныхъ въ горизонталяхъ и штрихахъ.

37. Опредѣленіе угловъ наклоненія линій, назначенныхъ на планѣ или картѣ въ штрихахъ. Когда извѣстно, по какой шкалѣ составленъ планъ или карта въ штрихахъ, то, внимательно всмотрѣвшись въ видъ штриховъ въ данномъ мѣстѣ, можно опредѣлить, къ какому разряду шкалы ихъ слѣдуетъ отнести, а уголъ, соотвѣтствующій этому разряду шкалы, выразитъ уголъ наклоненія разсматриваемой покатости, по направленію самихъ штриховъ.

Чтобы опредѣлить уголъ наклоненія линіи, пересѣкающей штрихи, надо сдѣлать вычисленія. Если плоская покатость наклонена къ горизонту подъ угломъ i, данная же линія пересѣкаетъ штрихи подъ угломъ α и наклонена къ горизонту подъ угломъ i_1, то можно вычертить на планѣ въ штрихахъ прямоугольный треугольникъ, у котораго гипотенузою b будетъ часть данной линіи, а однимъ катетомъ длина a по направленію штриховъ. Линіи b и a будутъ ни чѣмъ другимъ какъ заложеніями линій, наклоненныхъ къ горизонту подъ углами i_1 и i. Такъ какъ углы крутости, при одной и той же высотѣ, обратно пропорціональны заложеніямъ, то можемъ написать:

$$\frac{i_1}{i} = \frac{a}{b},$$

кромѣ того, изъ вычерченнаго на планѣ въ штрихахъ треугольника имѣемъ:

$$a = b \cos \alpha,$$

слѣдовательно,

$$i_1 = i \cos \alpha,$$

т. е. *уголъ наклоненія какого угодно произвольнаго направленія на плоской покатости равняется наибольшему углу наклоненія покатости, умноженному на косинусъ угла, подъ которымъ данное направленіе пересѣкаетъ линію наибольшаго ската.*

Если покатость не плоская, то направленіе линіи, наклоненіе которой къ горизонту желаютъ опредѣлить по плану въ штрихахъ, пересѣкаетъ штрихи подъ различными углами, а не подъ однимъ угломъ α, и въ этомъ случаѣ надо брать небольшую часть даннаго направленія, на протяженіи котораго можно считать измѣненіе угла незначительнымъ

Чтобы не дѣлать вычисленія по формулѣ $i_1 = i \cos \alpha$, считаютъ достаточнымъ оцѣнивать по глазомѣру отношеніе линій a и b и получать такимъ образомъ понятіе о томъ, во сколько разъ уголъ наклоненія даннаго направленія менѣе угла наклоненія самой покатости. Конечно, такимъ путемъ найдется уголъ наклоненія только приблизительно.

38. Опредѣленіе разности высотъ точекъ, или командованія, по плану въ штрихахъ. Такъ какъ разность высотъ двухъ точекъ опредѣляется формулою:

$$h = d tg \alpha,$$

гдѣ d есть величина заложенія между точками, а α уголъ наклоненія линіи на мѣстности, соединяющей данныя точки (§ 29), то, чтобы опредѣлить по плану въ штрихахъ разность высотъ двухъ точекъ, надо измѣрить, по масштабу, горизонтальное между ними разстояніе, опредѣлить уголъ наклоненія къ горизонту даннаго направленія и тангенсъ этого угла умножить на разстояніе между точками.

Такъ какъ величина угла наклоненія по плану въ штрихахъ узнается лишь приблизительно, то нѣтъ надобности брать точную величину тангенса, а достаточно пользоваться приблизительною его величиною, для чего можетъ служить ниже написанная табличка, легко запоминаемая, такъ какъ знаменатели второго ряда (тангенсовъ), начиная съ $^1/_2$, суть частныя отъ дѣленія 60 на числа 1-го ряда (углы):

углы . .	45°	30°	20°	15°	12°	10°	6°	5°	4°	3°	2°	1°
тангенсы	1	$^1/_2$	$^1/_3$	$^1/_4$	$^1/_5$	$^1/_6$	$^1/_{10}$	$^1/_{12}$	$^1/_{15}$	$^1/_{20}$	$^1/_{30}$	$^1/_{60}$

Опредѣленіе разности высотъ легко можно сдѣлать по масштабу заложеній или таблицѣ заложеній, если извѣстно заложеніе и уголъ наклоненія (§ 24 и 25) между данными точками.

39. Какъ построить профиль по данному направленію, назначенному на планѣ въ штрихахъ. Чтобы, на основаніи плана въ штрихахъ, по данному направленію построить профиль, надо из-

мѣрить разстоянія между точками, высоты которыхъ желаютъ отмѣтить на профилѣ, опредѣлить углы наклоненія покатости, какъ о томъ сказано въ предыдущихъ двухъ параграфахъ, и по этимъ даннымъ опредѣлить высоты точекъ или разность ихъ высотъ.

Такимъ образомъ, если на планѣ въ штрихахъ назначено направленіе прямое, ломанное или кривое, по которому хотятъ составить профиль, то на этомъ направленіи отмѣчаютъ точки всѣхъ значительныхъ перегибовъ покатостей, а также всѣ точки, высоты которыхъ должны быть помѣщены на профилѣ. Затѣмъ опредѣляютъ разность высотъ смежныхъ точекъ, самой низшей точкѣ приписываютъ условную отмѣтку и, на основаніи этого, вычисляютъ условныя отмѣтки всѣхъ другихъ точекъ. Имѣя эти данныя, легко уже построить профиль по правилу, изложенному въ § 29.

Такимъ образомъ, для составленія профиля по плану въ штрихахъ, необходимо умѣть опредѣлять разность высотъ двухъ смежныхъ точекъ, а для этого надо стараться различать на планѣ, по данному направленію, всѣ формы неровностей, на основаніи правилъ, изложенныхъ въ § 36, не смѣшивая спуска съ подъемами, и означать дѣйствительные перегибы мѣстности, принимая во вниманіе не только измѣненія угла наклоненія покатости, но также и измѣненія угла, образуемаго даннымъ направленіемъ со штрихами, т. е. съ направленіемъ покатостей.

Что касается числа точекъ, вводимыхъ въ профиль, то это зависитъ, обыкновенно, какъ отъ мѣстности, такъ и отъ цѣли, для которой такой профиль надо составить; чѣмъ точнѣе желаютъ получить профиль, тѣмъ большее число точекъ надо въ него ввести, въ особенности если поверхность земли по данному направленію очень пересѣчена, т. е. имѣетъ много углубленій и возвышеній. Если же нужно получить только общее понятіе о высотахъ мѣстности, то можно ограничиться лишь точками главныхъ перегибовъ. Но и подробно составленный профиль, на основаніи плана въ штрихахъ, даетъ не точный профиль, а лишь приблизительный, вполнѣ зависящій также отъ той точности и аккуратности, съ какими исполнены: съемка горизонталями и ситуаціонное черченіе на планѣ, а также и отъ масштаба плана.

Для рѣшенія задачъ, изложенныхъ въ послѣднихъ трехъ параграфахъ, если рѣшеніе это не требуется исполнить очень спѣшно,

лучше всего возстановить по плану въ штрихахъ горизонтали, а затѣмъ рѣшить ту или другую задачу такъ, какъ она рѣшается по плану горизонталей. Конечно, это рѣшеніе не будетъ также вполнѣ точно. Для того же, чтобы возстановить горизонтали на планѣ въ штрихахъ, надо сначала опредѣлить, по какой шкалѣ вычерчены штрихи, по шкалѣ ли Лемана, или Военно-Топографическаго отдѣла. Затѣмъ, всмотрѣвшись въ видъ штриховъ, надо опредѣлить, къ какому разряду они принадлежатъ, и на основаніи этого опредѣлить разность высотъ (§ 38) точекъ по нѣсколькимъ направленіямъ. Задавшись высотою между горизонталями, слѣдуетъ назначить ихъ между данными отмѣтками. Чертежъ 64-й представляетъ собою часть военно-топографической карты въ штрихахъ трехъ-верстнаго масштаба нашего военно-топографическаго отдѣла главнаго штаба: на основаніи штриховъ и отмѣтокъ точекъ на ней проведены горизонтали.

40. Достоинства и недостатки способа штриховъ сравнительно со способомъ горизонталей. Способъ штриховъ сообщаетъ картѣ наглядность, такъ какъ даетъ полную картину формъ неровностей сразу, безъ всякаго соображенія со стороны разсматривающаго карту. Штрихами лучше всего опредѣляется направленіе скатовъ, потому что штрихи вычерчиваются по направленію наибольшаго паденія ската, въ планѣ же горизонталей направленіе ската прямо не видно, а всякій разъ требуется нѣкоторое соображеніе.

Штрихами опредѣляется менѣе точно крутизна скатовъ, такъ какъ надлежащее отношеніе между толщиною штриха и свѣтлымъ промежуткомъ соблюсти при черченіи трудно и не менѣе трудно оцѣнить его на глазъ на вычерченной уже ситуаціи.

Менѣе точно и не сразу по плану въ штрихахъ опредѣляется относительное возвышеніе одной точки надъ другою, или командованіе, потому что, при счетѣ числа разрядовъ штриховъ между двумя точками соотвѣтственно шкалѣ штриховъ, является накопленіе ошибокъ. Поэтому, на картѣ въ штрихахъ надписываютъ отмѣтки различныхъ точекъ, опредѣленныя инструментально, и, конечно, лучше всего, если на картѣ имѣются горизонтали и штрихи, какъ это сдѣлано на картахъ австрійской имперіи, и подобно тому, какъ это изображено на чертежѣ 64-мъ.

Глава V.

СФЕРИЧЕСКАЯ ТРИГОНОМЕТРІЯ.

41. Введеніе. Подобно тому, какъ прямолинейная тригонометрія занимается рѣшеніемъ треугольниковъ, составленныхъ изъ прямыхъ линій, сферическая тригонометрія даетъ способы рѣшенія треугольниковъ, стороны которыхъ не прямыя линіи, а дуги большихъ круговъ того или другого шара.

Хотя форма земной поверхности отступаетъ отъ формы шара, тѣмъ не менѣе, для перваго приближенія, ее принимаютъ за шаръ, а потому треугольники, составленные длинными линіями на земной поверхности, строго говоря, нельзя считать за плоскіе, и нельзя, слѣдовательно, рѣшать ихъ по правиламъ прямолинейной тригонометріи. Такимъ образомъ, при изученіи геодезіи непзбѣжно знаніе сферической тригонометріи, точно также и при изученіи астрономіи.

Древніе греки и арабы знали свойства нѣкоторыхъ тригонометрическихъ линій. Гиппархъ, жившій за 140 лѣтъ до Р. Х., написалъ 12 книгъ о хордахъ. Книги эти не дошли до насъ. За 60 лѣтъ до Р. Х. была написана Ѳеодосіемъ „Сферика“, въ которой излагались способы рѣшенія сферическихъ треугольниковъ, изложенные также Птоломеемъ (жившимъ около 140 лѣтъ послѣ Р. Х.).

Развитію прямолинейной и сферической тригонометріи, главнымъ образомъ, содѣйствовалъ Регіомонтанъ, жившій въ половинѣ XV вѣка по Р. Х.; онъ составилъ таблицы для всѣхъ тригонометрическихъ линій отъ минуты до минуты, и хотя тогда еще не были извѣстны логарнѳмы, введенные Непером, но почти всѣ задачи прямолинейной и сферической тригонометріи могли быть рѣшаемы при помощи таблицъ Регіомонтана. Неперъ также содѣйствовалъ развитію сферической тригонометріи.

Значительныя упрощенія въ выводѣ формулъ сферической тригонометріи сдѣланы Эйлеромъ. Его Сферическая тригонометрія, написанная на латинскомъ языкѣ, была помѣщена въ 1779 году въ актахъ Петербургской Академіи наукъ. Впослѣдствіи надъ обработкою сферической тригонометріи трудились Лагранжъ, Д'Аламберъ, Лежандръ и другіе.

42. Опредѣленіе сферическаго угла и сферическаго треугольника. Если шаръ пересѣчь плоскостью, то въ сѣченіи образуется, какъ извѣстно, кругъ. Если этотъ кругъ проходитъ черезъ центръ шара, то онъ называется *большимъ кругомъ*. Уголъ, заключенный между дугами, принадлежащими двумъ большимъ кругамъ, называется *сферическимъ угломъ*. Часть поверхности шара, ограниченная дугами трехъ большихъ круговъ, называется *сферическимъ треугольникомъ*. Дуги большихъ круговъ, принадлежащія сферическому треугольнику, называются его *сторонами*, а точки пересѣченія двухъ дугъ—*вершинами сферическаго треугольника*.

Въ сферической тригонометріи излагаются свойства сферическихъ угловъ и треугольниковъ, а также выводятся формулы, выражающія связь между сторонами и углами сферическаго треугольника, а потому сферическая тригонометрія даетъ возможность рѣшать сферическіе треугольники, т. е. по даннымъ частямъ треугольника находить искомыя его части.

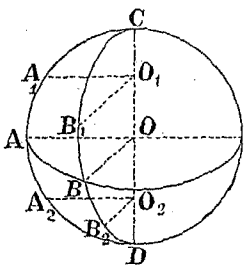
Діаметръ шара, перпендикулярный къ большому кругу, носитъ названіе *оси шара*. Концы оси называются *полюсами*. Если черезъ полюсы провести большіе круги, то дуги этихъ круговъ, считаемыя отъ полюсовъ до окружности круга, перпендикулярнаго къ оси, очевидно, равны 90°.

Сферическій уголъ, какъ сказано выше, образуется двумя дугами большихъ круговъ, слѣдовательно, онъ вмѣстѣ съ тѣмъ есть двугранный уголъ, образованный плоскостями двухъ большихъ круговъ, а потому измѣряется линейнымъ угломъ этого двуграннаго. На черт. 65-мъ углы ABC и $AДB$ углы сферическіе, а линейный уголъ, измѣряющій сферическій — AOB или $A_1O_1B_1$, или $A_2O_2B_2$. Такъ какъ всѣ эти линейные углы равны между собою, то за мѣру сферическаго угла можно принять уголъ AOB. Дуга, измѣряющая линейный уголъ AOB описана тѣмъ же радіусомъ, что и шаръ; она отстоитъ отъ вершины сферическаго угла на 90°, и потому можно сказать, что *сферическій уголъ измѣряется дугою большого круга шара, заключенною между сторонами угла и отстоящею отъ его вершины на 90°*.

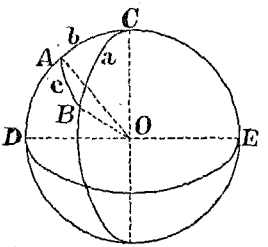
Такимъ образомъ, сферическіе углы могутъ быть выражаемы градусами.

43. Свойства сферическихъ треугольниковъ. Если одинъ изъ угловъ сферическаго треугольника равенъ 90°, то такой треугольникъ называется *прямоугольнымъ* сферическимъ треугольникомъ. Треугольникъ, у котораго одна сторона равна 90°, называется *четвертнымъ*, или *прямостороннимъ*, сферическимъ треугольникомъ. Сферическій треугольникъ, у котораго нѣтъ ни одного прямого угла и нѣтъ ни одной стороны равной 90°, называется *косвенноугольнымъ*. Если черезъ стороны сферическаго треугольника мысленно провести три плоскости большихъ круговъ, то эти три плоскости образуютъ у центра шара трехгранный уголъ.

На черт. 66-мъ ABC—сферическій треугольникъ, а $OABC$—трехгранный уголъ, соотвѣтствующій сферическому треугольнику. Плоскіе



Черт. 65.



Черт. 66.

углы полученнаго трехграннаго угла, образованные радіусами шара, проведенными къ вершинамъ сферическаго треугольника, очевидно, измѣряются сторонами сферическаго треугольника, а двухгранные углы того же трехграннаго угла измѣряются углами сферическаго треугольника. На этомъ основаніи, *свойства сторонъ и угловъ сферическаго треугольника тѣ же, что свойства плоскихъ и двугранныхъ угловъ трехграннаго угла.*

Такъ какъ въ трехгранномъ углѣ сумма двухъ плоскихъ угловъ всегда больше третьяго, и такъ какъ плоскіе углы измѣряются сторонами сферическаго треугольника, то можно сказать также, что *въ сферическомъ треугольникѣ сумма двухъ сторонъ всегда больше третьей.*

Если назовемъ углы сферическаго треугольника буквами A, B и C, а противолежащія имъ стороны буквами a, b и c (черт. 66),

то можемъ, слѣдовательно, написать:

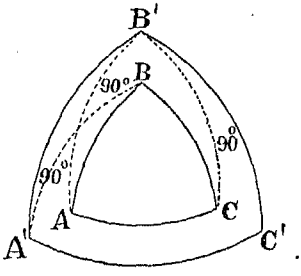
$$a + b > c \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Во всякомъ трехгранномъ углѣ сумма трехъ плоскихъ угловъ всегда болѣе нуля и менѣе четырехъ прямыхъ, поэтому можемъ также сказать, что *во всякомъ сферическомъ треугольникѣ сумма трехъ его сторонъ всегда болѣе нуля и менѣе 4d*, т. е. можемъ написать:

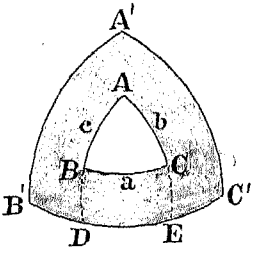
$$a + b + c \begin{matrix} > 0 \\ < 4d \end{matrix} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Если вершины сферическаго треугольника принять за полюсы, то соотвѣтствующіе этимъ полюсамъ большіе круги, или круги перпендикулярные къ осямъ, взаимно пересѣкаются и образуютъ новый сферическій треугольникъ, называемый *полярнымъ* данному треугольнику.

Положимъ, имѣемъ сферическій треугольникъ ABC (черт. 67); построимъ ему полярный $A'B'C'$. Тогда дуга $B'C'$ отстоитъ отъ



Черт. 67.



Черт. 68.

своего полюса A на 90°, т. е. $AB' = 90°$, точно также дуга $A'B'$ отстоитъ отъ своего полюса C на 90°, т. е. $CB' = 90°$. Итакъ, концы дуги AC, а слѣдовательно, и вся дуга AC даннаго сферическаго треугольника, отстоятъ отъ вершины B' полярнаго треугольнаго на 90°. Такимъ же образомъ докажемъ, что вершины C' и A' полярнаго треугольника отстоятъ на 90° отъ сторонъ AB и BC даннаго, а изъ этого должны заключить, что вершины построеннаго полярнаго треугольника служатъ полюсами сторонъ даннаго треугольника; вслѣдствіе всего этого можемъ сказать: *если вершины угловъ одного сферическаго треугольника служатъ полюсами сторонъ дру-*

гого сферическаго треугольника, то вершины этого послѣдняго служатъ полюсами сторонъ перваго сферическаго треугольника.

Если будемъ имѣть два сферическихъ треугольника полярныхъ относительно другъ друга (черт. 68) и продолжимъ двѣ стороны одного треугольника до пересѣченія съ одной изъ сторонъ другого, напримѣръ, стороны AB и AC до пересѣченія съ $B'C'$ въ точкахъ D и E, то $B'E = 90°$, такъ какъ B' — полюсъ стороны AC; точно также $C'D = 90°$, откуда

$$B'E + C'D = 180°,$$

или изъ чертежа 68-го

$$B'E + EC' + ED = 180°,$$

или

$$B'C' + ED = 180°.$$

Но дуга ED измѣряетъ сферическій уголъ A, поэтому, замѣняя сторону угломъ найдемъ:

$$B'C' + A = 180°.$$

т. е. *сторона одного полярнаго треугольника, сложенная съ соотвѣтственнымъ угломъ даннаго треугольника, равна 180°, или стороны полярнаго треугольника дополняютъ углы даннаго треугольника до 180°.*

Назовемъ стороны даннаго сферическаго треугольника ABC буквами a, b и c, а углы буквами A, B и C, стороны полярнаго a', b' и c', а углы его буквами A', B' и C', тогда, на основаніи доказанной сейчасъ теоремы, имѣемъ три слѣдующія равенства:

$$a = 180° - A',\ b = 180° - B' \text{ и } c = 180° - C';$$

если внесемъ эти равенства въ формулу (2), то найдемъ:

$$A' + B' + C' \begin{matrix} < 6d \\ > 2d \end{matrix};$$

т. е. *сумма угловъ сферическаго треугольника всегда менѣе шести прямыхъ и болѣе двухъ прямыхъ.*

Изъ предыдущей формулы можно написать такую:

$$A' + B' + C' - 180° \begin{matrix} < 4d \\ > 0 \end{matrix}.$$

Разность между суммою угловъ сферическаго треугольника и 180° есть величина положительная; она называется *сферическимъ избыткомъ*. Слѣдовательно, *сферическій избытокъ болѣе нуля и менѣе 4-хъ прямыхъ.*

Такъ какъ сумма двухъ сторонъ сферическаго треугольника болѣе третьей стороны, то можно написать:

$$a' + b' > c',$$

но стороны полярнаго треугольника дополняютъ углы даннаго до 180°, а потому, вмѣсто этого неравенства, можно получить слѣдующее:

$$180° - A + 180° - B > 180° - C,$$

или
$$180° - A - B + C > 0,$$

или
$$A + B - C < 2d,$$

т. е. *разность между суммою двухъ угловъ сферическаго треугольника и третьимъ угломъ всегда меньше 180°.*

Такъ какъ разность между суммой двухъ угловъ сферическаго треугольника и третьимъ угломъ всегда меньше 180°, т. е.

$$A + B - C < 2d,$$

то, положивъ въ этомъ неравенствѣ $C = 90°$, найдемъ:

$$A + B < 3d,$$

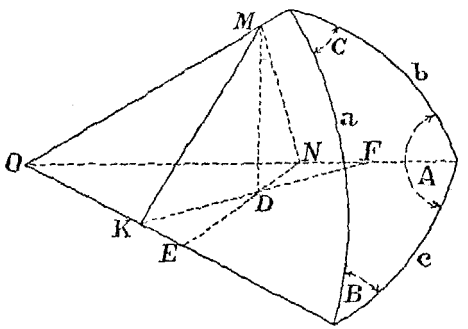
т. е. *во всякомъ прямоугольномъ сферическомъ треугольникѣ сумма косвенныхъ угловъ менѣе 3 прямыхъ угловъ.*

Такъ какъ во всякомъ сферическомъ треугольникѣ сумма угловъ болѣе 180°, то, положивъ одинъ изъ угловъ равнымъ 90°, найдемъ, что сумма двухъ другихъ больше 90°, т. е. *во всякомъ прямоугольномъ сферическомъ треугольникѣ сумма косвенныхъ угловъ болѣе прямого.*

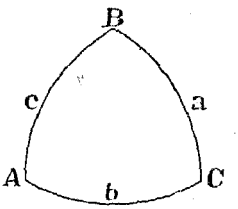
Если въ неравенствѣ $A + B - C < 180°$ положимъ $A = 90°$, то найдемъ $B - C < 90°$, т. е. *во всякомъ прямоугольномъ сферическомъ треугольникѣ разность двухъ косвенныхъ угловъ всегда менѣе прямого.*

44. Выводъ основной формулы, выражающей зависимость между тремя сторонами и однимъ угломъ сферическаго треугольника. Возьмемъ (черт. 69) трехгранный уголъ O, плоскіе углы котораго a, b и c; отложимъ на одномъ его ребрѣ длину OM, рав-

ную единицѣ, а изъ точки M опустимъ перпендикуляры MK и MN на другіе два ребра и перпендикуляръ MD на плоскость BOA; подошву этого перпендикуляра D соединимъ съ точками K и N, тогда DK будетъ перпендикулярна къ OK, а ND — перпендикулярна къ ON, а потому въ треугольникѣ ONE уголъ при точкѣ E равенъ $90°-c$, а въ треугольникѣ OKF уголъ при F равенъ $90°-c$; вмѣстѣ съ тѣмъ получимъ сомкнутый четыреугольникъ $ONDK$, къ которому



Черт. 69.



Черт. 70.

можемъ приложить теорему аналитической геометріи: проекція одной изъ сторонъ сомкнутаго многоугольника равна суммѣ проекцій остальныхъ сторонъ на какое либо направленіе, и потому напишемъ:

$$\text{пр. } OK = \text{пр. } NO + \text{пр. } ND + \text{пр. } KD.$$

Если же будемъ проектировать на OK, то, вслѣдствіе перпендикулярности KD къ OK, проекція KD будетъ равна нулю, и мы получимъ:

$$OK = \text{пр. } NO + \text{пр. } ND$$

или

$$OK = NO \cos c + ND \cos (90° - c),$$

или

$$OK = NO \cos c + ND \sin c.$$

Кромѣ того, изъ чертежа имѣемъ:

$$OK = \cos a,\ NO = \cos b,\ ND = NM \cos A,\ NM = \sin b,$$

поэтому

$$ND = \sin b \cos A.$$

Слѣдовательно, вмѣсто предыдущей формулы, имѣемъ:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A.$$

Такъ какъ, по объясненному раньше, плоскіе углы трехграннаго угла измѣряются сторонами сферическаго треугольника, а двугранные углы трехграннаго угла — углами сферическаго треугольника, то можно сказать, на основаніи формулы (1), что *косинусъ одной стороны сферическаго треугольника равенъ произведенію косинусовъ двухъ другихъ сторонъ плюсъ произведеніе синусовъ тѣхъ же сторонъ на косинусъ угла, лежащаго противъ первой стороны* (черт. 70).

Кромѣ выведенной формулы, можно написать еще двѣ подобныхъ формулы для косинусовъ двухъ другихъ сторонъ, такъ что будемъ имѣть слѣдующія три основныя формулы:

$$\begin{aligned} \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A, \\ \cos b &= \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1) \\ \cos c &= \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C. \end{aligned}$$

45. Выводъ формулы, выражающей связь между двумя сторонами и двумя углами. Изъ чертежа 69-го можемъ написать:

$$DM = NM \sin A = \sin b \sin A;$$

$$DM = MK \sin B = \sin a \sin B,$$

откуда получаемъ:

$$\sin b \sin A = \sin a \sin B$$

или

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{\sin A}{\sin B} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Такихъ формулъ можно написать для одного сферическаго треугольника три, и словами онѣ выражаются такъ: *въ каждомъ сферическомъ треугольникѣ синусы сторонъ относятся между собою, какъ синусы угловъ.*

Формулу (2) можно написать еще такъ:

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b};$$

подобнымъ же образомъ можно получить слѣдующую формулу:

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin C}{\sin c},$$

а соединяя эти формулы вмѣстѣ, найдемъ:

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c} \quad \ldots\ldots\ldots (2')$$

Всѣ формулы сферической тригонометріи могутъ быть выведены изъ основной формулы. Такъ, напримѣръ, формула (2) можетъ быть выведена слѣдующимъ образомъ изъ формулы (1): на основаніи формулы первой, можемъ написать слѣдующія двѣ:

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$

$$\cos a = \cos c \cos b + \sin c \sin b \cos A.$$

Составимъ сумму и разность этихъ двухъ формулъ, перенесемъ первые члены правыхъ частей въ лѣвыя и результаты перемножимъ между собою. Тогда получится такая формула:

$$(\cos^2 a - \cos^2 b)\ (1 - \cos^2 c) =$$

$$= \sin^2 c\ [\sin^2 b \cos^2 A - \sin^2 a \cos^2 B],$$

или

$$\cos^2 a - \cos^2 b = \sin^2 b \cos^2 A - \sin^2 a \cos^2 B.$$

Замѣняя здѣсь квадраты косинусовъ единицей безъ квадрата синуса, найдемъ:

$$\sin^2 a \sin^2 B = \sin^2 b \sin^2 A,$$

или

$$\sin a \sin B = \sin b \sin A.$$

46. Выводъ формулы, выражающей зависимость между тремя сторонами и двумя углами сферическаго треугольника. Изъ черт. 69-го можемъ написать:

$$\text{пр. } KD = \text{пр. } KO + \text{пр. } ON + \text{пр. } ND;$$

если проектировать на KD, то найдемъ:

$$KD = \text{пр. } ON + \text{пр. } ND,$$

или

$$KD = ON\ cos\,(90° — c) + ND\ cos\,(180° — c),$$

или

$$KD = ON\ sin\,c — ND\ cos\,c;$$

но изъ того же чертежа имѣемъ:

$$KD = KM\ cos\,B = sin\,a\ cos\,B;$$

$$ON = cos\,b;\ \ ND = NM\ cos\,A = sin\,b\ cos\,A;$$

слѣдовательно,

$$sin\,a\ cos\,B = cos\,b\ sin\,c — sin\,b\ cos\,c\ cos\,A. \ . \ . \ . \ (3)$$

Такъ какъ къ каждой сторонѣ прилежитъ по два угла, то такихъ формулъ для одного сферическаго треугольника можно написать шесть, и словами онѣ выражаются такъ: *во всякомъ сферическомъ треугольникѣ* (черт. 69) *произведеніе изъ синуса одной стороны на косинусъ прилежащаго угла равно произведенію изъ косинуса стороны, противолежащей взятому углу, на синусъ третьей стороны безъ синуса противолежащей стороны, помноженнаго на косинусъ третьей стороны и на косинусъ угла, заключеннаго между этими сторонами.*

Эту же формулу можно вывести не изъ чертежа, а изъ формулы (1), если исключимъ изъ перваго уравненія (1) $cos\,a$; для этого выраженіе $cos\,a$ изъ второй формулы внесемъ въ первую и тогда найдемъ:

$$cos\,b = cos^2 c\ cos\,b + sin\,c\ cos\,c\ sin\,b\ cos\,A + sin\,a\ sin\,c\ cos\,B,$$

но

$$cos^2 c = 1 — sin^2 c,$$

поэтому

$$cos\,b = cos\,b — sin^2 c\ cos\,b + sin\,c\ cos\,c\ sin\,b\ cos\,A +$$
$$+ sin\,a\ sin\,c\ cos\,B;$$

отнявъ отъ обѣихъ частей по $cos\,b$ и раздѣливъ результатъ на $sin\,c$, получимъ:

$$sin\,a\ cos\,B = sin\,c\ cos\,b — cos\,c\ sin\,b\ cos\,A,$$

т. е. имѣемъ формулу (3), выведенную изъ первой формулы.

47. Выводъ формулы, выражающей связь между двумя сторонами и двумя углами, изъ которыхъ одинъ прилежащій, а другой противолежащій или между четырьмя рядомъ стоящими частями. Возьмемъ двѣ формулы, выведенныя въ §§ 44 и 45:

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A$$

и

$$\sin a \sin B = \sin b \sin A.$$

Раздѣливъ первую формулу на вторую, получимъ:

$$\operatorname{cotang} B = \frac{\cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A}{\sin b \sin A},$$

или

$$\sin A \operatorname{cotang} B = \operatorname{cotang} b \sin c - \cos c \cos A \quad . \quad . \quad (4)$$

Сравнивая эту формулу съ чертежемъ 70-мъ, видимъ, что въ нее входятъ четыре сряду стоящія въ треугольникѣ величины, а именно: b, A, c и B; изъ этихъ четырехъ сряду стоящихъ величинъ сторона и противолежащій ей уголъ суть крайнія части, а другая сторона и прилежащій къ ней уголъ суть среднія части; принявъ это во вниманіе, формулу (4) можно выразить словами такъ: *произведеніе котангенса крайняго угла на синусъ средняго равняется произведенію котангенса крайней стороны на синусъ средней безъ произведенія косинуса средней стороны на косинусъ средняго угла.*

48. Выводъ формулы, выражающей связь между тремя углами и двумя сторонами. Возьмемъ формулу, выведенную въ предыдущемъ параграфѣ:

$$\sin A \operatorname{cotang} B = \operatorname{cotang} b \sin c - \cos c \cos A,$$

и замѣнимъ въ ней котангенсы ихъ выраженіями въ синусахъ и косинусахъ, тогда получимъ:

$$\sin A \frac{\cos B}{\sin B} = \frac{\cos b}{\sin b} \sin c - \cos c \cos A,$$

или

$$\sin A \cos B = \cos b \frac{\sin c}{\sin b} \sin B - \cos c \cos A \sin B,$$

но

$$\frac{\sin c}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin B},$$

слѣдовательно:

$$\sin A \cos B = \cos b \sin C - \cos c \cos A \sin B,$$

или

$$\cos b \sin C = \sin A \cos B + \cos c \cos A \sin B. \quad . \quad . \quad (5)$$

Такихъ формулъ для одного сферическаго треугольника можетъ быть написано шесть, а словами онѣ выражаются такъ: *произведеніе синуса какого нибудь угла на косинусъ прилежащей стороны равняется произведенію косинуса угла, противолежащаго взятой сторонѣ, на синусъ третьяго угла плюсъ произведеніе косинуса этого третьяго угла на косинусъ второго угла и косинусъ стороны, прилежащей къ этимъ обоимъ угламъ.*

49. Другой выводъ предыдущей формулы. Формулу (5) можно вывести иначе. Напишемъ для полярнаго сферическаго треугольника формулу (3); она будетъ такова:

$$\sin a' \cos B' = \cos b' \sin c' - \sin b' \cos c' \cos A'.$$

Воспользуемся свойствомъ сферическихъ треугольниковъ (§ 43), по которому стороны сферическаго треугольника дополняютъ до 180° углы полярнаго ему треугольника, а углы даннаго сферическаго треугольника дополняютъ стороны полярнаго тоже до 180°. На этомъ основаніи, вмѣсто написанной формулы, получимъ:

$$\sin(180°-A)\cos(180°-b) = \cos(180°-B)\sin(180°-c) -$$
$$- \sin(180°-B)\cos(180°-C)\cos(180°-a),$$

или

$$-\sin A \cos b = -\cos B \sin C - \sin B \cos C \cos a,$$

или

$$\cos b \sin A = \cos B \sin C + \sin B \cos C \cos a;$$

точно также найдемъ:

$$\cos b \sin C = \cos B \sin A + \sin B \cos C \cos c.$$

Изъ этого видимъ, что во всѣхъ формулахъ, относящихся къ сферическимъ треугольникамъ, можно стороны замѣнять противолежащими имъ углами, а углы противолежащими сторонами и знакъ, стоящій передъ синусами, оставлять прежній, а предъ косинусами измѣнять на противоположный; точно также знакъ передъ тангенсомъ оставлять тотъ же самый, а передъ котангенсомъ измѣнять на противоположный.

50. Выводъ формулы, выражающей связь между двумя углами и двумя сторонами, изъ которыхъ одна прилежащая, а другая противолежащая. Возьмемъ формулы, выведенныя въ параграфахъ 48 и 45:

$$\cos b \sin C = \sin A \cos B + \cos c \cos A \sin B;$$

$$\sin b \sin C = \sin c \sin B.$$

Раздѣливъ одну на другую, найдемъ:

$$\operatorname{cotang} b = \frac{\operatorname{cotang} B \sin A + \cos c \cos A}{\sin c},$$

или

$$\sin c \operatorname{cotang} b = \operatorname{cotang} B \sin A + \cos c \cos A. \quad . \quad . \quad (6)$$

Такихъ формулъ для одного сферическаго треугольника можетъ быть написано шесть. Формула эта, подобно формулѣ (4), словами выражается такъ: *произведеніе котангенса крайней стороны на синусъ средней равняется произведенію котангенса крайняго угла на синусъ средняго плюсъ произведеніе косинусовъ среднихъ частей.*

Формулу эту можно вывести проще на основаніи § 49 изъ формулы 4-й. На основаніи этого правила можно написать:

$$-\sin a \operatorname{cotang} b = -\operatorname{cotang} B \sin C - \cos a \cos c,$$

или

$$\sin a \operatorname{cotang} b = \operatorname{cotang} B \sin C + \cos a \cos C.$$

51. Выводъ формулы, выражающей связь между тремя углами и одной стороной сферическаго косоугольнаго треугольника. На основаніи формулы (5) можемъ написать двѣ такихъ:

$$\cos b \sin A = \cos B \sin C + \sin B \cos C \cos a$$

и

$$\cos a \sin B = \cos A \sin C + \sin A \cos C \cos b.$$

Такъ какъ въ эти двѣ формулы входятъ три угла и двѣ стороны, то намъ надо исключить изъ нихъ одну какую либо сторону a или b; исключимъ изъ написанныхъ уравненій, напримѣръ, $\cos b$. Для этого изъ первой формулы, подставивъ во вторую выраженіе для $\cos b \sin A$, получимъ:

$$\cos a \sin B = \cos A \sin C$$

$$+ \cos C \{\cos B \sin C + \sin B \cos C \cos a\};$$

замѣнивъ $\cos^2 C$ его выраженіемъ $1 - \sin^2 C$, найдемъ:

$$\cos a \sin B = \cos A \sin C + \cos B \sin C \cos C$$

$$+ \sin B \cos a - \sin B \sin^2 C \cos a;$$

отнявъ отъ обѣихъ частей равныя и раздѣливъ результатъ на $\sin C$, найдемъ:

$$\cos A = \sin B \sin C \cos a - \cos B \cos C. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Такихъ формулъ для одного сферическаго треугольника можно написать три, и онѣ могутъ быть выражены словами такъ: *косинусъ какого либо угла сферическаго треугольника равенъ произведенію синусовъ двухъ другихъ угловъ на косинусъ стороны, противолежащей первому углу, безъ произведенія косинусовъ двухъ другихъ угловъ.* Эту формулу еще проще можно вывести изъ формулы первой, пользуясь свойствомъ полярнаго треугольника.

52. Общія замѣчанія о рѣшеніи сферическаго треугольника. Такимъ образомъ, мы вывели семь формулъ, могущихъ служить для рѣшенія сферическаго треугольника. Такъ, если будутъ извѣстны двѣ стороны и уголъ между ними и надо опредѣлить третью сторону, то можно употребить формулу (1); если извѣстны два угла и одна сторона, противолежащая одному изъ нихъ, а требуется найти сторону, противолежащую другому углу, то можно употребить (2) формулу; ею же можно воспользоваться и для опредѣленія одного угла, если извѣстенъ другой уголъ и двѣ стороны, противолежащія данному и

искомому углу; если извѣстны двѣ стороны, уголъ, прилежащій къ одной изъ нихъ, и уголъ, заключенный между ними, то для опредѣленія третьей стороны можно употребить формулу (3), она же можетъ быть употреблена и въ томъ случаѣ, если извѣстны три стороны и уголъ, заключенный между двумя изъ нихъ, а требуется опредѣлить какой либо другой уголъ, и т. д.

53. Общія правила, коимъ надо слѣдовать при вычисленіи сторонъ и угловъ сферическихъ треугольниковъ. Въ логариѳмическихъ таблицахъ дроби, *слѣдующія за послѣднею* цифрою мантиссъ, отбрасываются, если онѣ менѣе 0,5, и принимаются за единицу, если онѣ *болѣе* 0,5. Поэтому, каждый табличный логариѳмъ можетъ заключать въ себѣ ошибку, простирающуюся до половины послѣдней цифры его мантиссы; при сложеніи и вычитаніи логариѳмовъ ошибки въ каждомъ изъ нихъ въ результатѣ могутъ складываться и дѣлать результатъ невѣрнымъ на единицу и даже болѣе, если число слагаемыхъ значительно. Такимъ образомъ, ошибки въ логариѳмахъ на одну единицу и даже на нѣсколько единицъ въ послѣдней цифрѣ мантиссы неизбѣжны. Вмѣстѣ съ тѣмъ, если возьмемъ логариѳмы *sin*, *cos*, *tang*, напримѣръ, для 3′, 4′, 5′, то они будутъ таковы:

$log\ sin\ 3' = 6{,}9408473;$	$log\ cos\ 3' = 9{,}9999998;$	$log\ tang\ 3' = 6{,}9408475;$
$log\ sin\ 4' = 7{,}0657860;$	$log\ cos\ 4' = 9{,}9999997;$	$log\ tang\ 4' = 7{,}0657863;$
$log\ sin\ 5' = 7{,}1626960;$	$log\ cos\ 5' = 9{,}9999995;$	$log\ tang\ 5' = 7{,}1626965.$

Разсмотрѣніе этихъ логариѳмовъ приводитъ къ заключенію, что, при увеличеніи или уменьшеніи угла на одну минуту, мантисса логариѳма косинуса измѣняется на одну или двѣ единицы, логариѳмы же синуса и тангенса измѣняются на значительныя величины; при измѣненіи же на одну секунду логариѳмы косинусовъ малыхъ угловъ совершенно не измѣняются въ то время, какъ мантиссы логариѳмовъ синуса и тангенса измѣняются приблизительно на 16000 или 18000 единицъ. Слѣдовательно, если въ логариѳмѣ синуса или тангенса произойдетъ ошибка въ одну единицу, то ошибка въ углѣ выразится лишь въ малыхъ доляхъ одной секунды; при опредѣленіи же угла по косинусу ошибка возрастаетъ до цѣлой минуты. Такимъ образомъ, становится понятнымъ, что для вычисленія какого нибудь угла или сто-

роны сферическаго треугольника съ точностью до 1″, и притомъ по косинусу, нельзя въ логариѳмѣ ограничиваться семью знаками, а надо брать логариѳмы съ 8 и даже съ 9 знаками; если же вычислять ихъ по синусу или тангенсу, то можно довольствоваться пятью и даже четырехзначными логариѳмами, что облегчитъ и ускоритъ самое вычисленіе. *Поэтому, при вычисленіи сторонъ или угловъ сферическаго треугольника, близкихъ къ нулю, а также близкихъ къ 180°, слѣдуетъ всегда употреблять такія формулы, въ которыхъ эти углы или стороны опредѣляются по синусамъ или тангенсамъ, вычислять же по косинусу не слѣдуетъ.*

Возьмемъ логариѳмы косинусовъ, синусовъ и тангенсовъ угловъ, близкихъ къ 90°. Они будутъ таковы:

$$\log\cos 89°59'59'' = 4{,}6855749; \quad \log\sin 89°58'26'' = 9{,}9999999;$$
$$\log\cos 89°59'58'' = 4{,}9866049; \quad \log\sin 89°57' \;\; = 9{,}9999998;$$
$$\log\cos 89°59'57'' = 5{,}1626951; \quad \log\sin 89°56'10'' = 9{,}9999997;$$

$$\log\operatorname{tang} 89°59'50'' = 4{,}3144251;$$
$$\log\operatorname{tang} 89°59'40'' = 4{,}0133951;$$
$$\log\operatorname{tang} 89°59'30'' = 3{,}8373039.$$

Разсмотрѣніе этихъ логариѳмовъ приводитъ къ заключенію, что логариѳмы синусовъ, при измѣненіи угла на цѣлую минуту, измѣняются лишь въ восьмой десятичной цифрѣ, тогда какъ логариѳмы косинусовъ, при измѣненіи лишь на одну секунду, измѣняютъ уже первую десятичную цифру. Поэтому, *при вычисленіи угловъ и сторонъ сферическаго треугольника, близкихъ къ 90°, никогда не слѣдуетъ употреблять формулъ, дающихъ возможность опредѣлять эти величины по синусу, въ этомъ случаѣ слѣдуетъ брать формулы, опредѣляющія искомыя величины по косинусу или по тангенсу.*

Возьмемъ, наконецъ, логариѳмы косинусовъ, синусовъ и тангенсовъ для угловъ, близкихъ къ 45° и среднихъ между 45° и 0° и между 45° и 90°. Они таковы:

log cos 70° 0′ 0″ = 9,5340517;	*log sin* 70° 0′ 0″ = 9,9729858;
log cos 70° 0′ 0″ = 9,5339038;	*log sin* 70° 0′10″ = 9,9729935;
log cos 44°59′50″ = 9,8495061;	*log sin* 44°59′50″ = 9,8494639;
log cos 44°59′40″ = 9,8495271;	*log sin* 44°59′40″ = 9,8494429;
log cos 44°59′30″ = 9,8495482;	*log sin* 44°59′30″ = 9,8494218;
log cos 20°20′10″ = 9,9720501;	*log sin* 20°20′10″ = 9,5409882;
log cos 20°20′20″ = 9,9720423;	*log sin* 20°20′20″ = 9,5410450;

log tang 70° 0′ 0″ = 0,4389341;
log tang 70° 0′10″ = 0,4389996;
log tang 44°59′50″ = 9,9999579;
log tang 44°59′40″ = 9,9999158;
log tang 44°59′30″ = 9,9998737;
log tang 20°20′10″ = 9,5689381;
log tang 20°20′20″ = 9,5690027.

Разсматривая эти логариѳмы, видимъ, что, при измѣненіи угла или дуги на 10″, происходитъ наибольшее измѣненіе въ логариѳмахъ тангенсовъ при 45°; отсюда заключаемъ, что, *при вычисленіи угловъ или сторонъ, близкихъ къ 45°, слѣдуетъ брать формулы, опредѣляющія искомыя величины по тангенсу. Искомые углы или дуги, средніе между 45° и 0°, слѣдуетъ опредѣлять или по тангенсу, или по синусу, искомые углы или дуги, средніе между 45° и 90°, слѣдуетъ опредѣлять по косинусу.*

Кромѣ того, такъ какъ одинъ и тотъ же синусъ соотвѣтствуетъ двумъ угламъ, дополняющимъ другъ друга до 180°, то есть одному острому, а другому тупому, то, чтобы не дѣлать разбора, какой же изъ этихъ угловъ надо взять, полезно вообще избѣгать вычисленій угловъ и сторонъ сферическаго треугольника по синусу.

При рѣшеніи сферическихъ треугольниковъ слѣдуетъ обращать вниманіе еще на слѣдующія условія.

Каждая искомая сторона и каждый уголъ должны заключаться между 0° и 180°, а потому полуразность двухъ искомыхъ угловъ или

двухъ искомыхъ сторонъ должна быть всегда меньше 90°. Косинусъ стороны или угла долженъ быть вещественнымъ, а не мнимымъ, и заключаться между $+1$ и -1, синусъ всегда долженъ быть вещественнымъ, а не мнимымъ, и заключаться между $+1$ и -1, тангенсъ и котангенсъ всегда должны быть вещественными, а не мнимыми, но могутъ имѣть произвольную конечную величину.

Если уголъ или сторона сферическаго треугольника вычисляются по косинусу или тангенсу отрицательнымъ, то для искомаго угла или стороны слѣдуетъ брать дополнительный до 180°.

54. Выводъ формулъ, удобныхъ для логариѳмированія. Въ большинствѣ случаевъ употребляютъ формулы, удобныя для логариѳмированія. Къ числу послѣднихъ, изъ всѣхъ выведенныхъ, принадлежитъ формула (2). Всѣ другія формулы могутъ быть преобразованы въ удобныя для логариѳмированія введеніемъ вводной перемѣнной. Такъ, напримѣръ, формулу 1-ю:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$$

можно преобразовать въ удобную для логариѳмированія слѣдующимъ образомъ: вынесемъ изъ правой части этого равенства $\cos b$ за скобки, найдемъ:

$$\cos a = \cos b \left(\cos c + \sin c \frac{\sin b}{\cos b} \cos A\right),$$

или

$$\cos a = \cos b \left(\cos c + \sin c \operatorname{tang} b \cos A\right).$$

Положимъ:

$$\operatorname{tang} b \cos A = \operatorname{tang} \varphi,$$

гдѣ φ—нѣкоторый уголъ, удовлетворяющій написанному уравненію; слѣдовательно, получимъ:

$$\cos a = \cos b \left(\cos c + \sin c \operatorname{tang} \varphi\right),$$

или

$$\cos a = \frac{\cos b}{\cos \varphi} \left(\cos c \cos \varphi + \sin c \sin \varphi\right),$$

или

$$\cos a = \frac{\cos b}{\cos \varphi} \cos (c - \varphi).$$

Такимъ образомъ, если извѣстны b, c и A, а требуется найти a, то сначала вычислимъ φ по формулѣ:

$$tang\, \varphi = tang\, b \cos A,$$

а затѣмъ вычислимъ a по формулѣ:

$$\cos a = \frac{\cos b}{\cos \varphi} \cos (c - \varphi).$$

Подобнымъ преобразованіемъ каждую изъ выведенныхъ выше формулъ можно разбить на двѣ удобныя для логариѳмированія. Но кромѣ этого рода преобразованія, введеніемъ новой величины, можно дать еще нѣсколько формулъ, удобныхъ для логариѳмированія и очень употребительныхъ.

55. Выводъ формулъ для синуса, косинуса и тангенса половиннаго угла въ сторонахъ сферическаго треугольника. Возьмемъ формулу (1):

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A.$$

Опредѣливъ отсюда $\cos A$, найдемъ:

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c};$$

вычитая обѣ части этого уравненія изъ единицы, получимъ:

$$1 - \cos A = \frac{\sin b \sin c - \cos a + \cos b \cos c}{\sin b \sin c},$$

или

$$2 \sin^2 \frac{A}{2} = \frac{\cos (b - c) - \cos a}{\sin b \sin c};$$

замѣняя здѣсь разность косинусовъ, найдемъ:

$$2 \sin^2 \frac{A}{2} = \frac{2 \sin \frac{a - b + c}{2} \sin \frac{a + b - c}{2}}{\sin b \sin c},$$

откуда

$$\sin\frac{A}{2}=\sqrt{\frac{\sin\frac{a-b+c}{2}\,\sin\frac{a+b-c}{2}}{\sin b\,\sin c}}\quad\ldots\quad(8)$$

Положимъ, что периметръ сферическаго треугольника равенъ $2s$, тогда:

$$a+b+c=2s;$$

отсюда найдемъ:

$$a+b-c=2(s-c);\quad a-b+c=2(s-b);$$

$$-a+b+c=2(s-a)$$

и для краткости означимъ:

$$s-c=s_3;\quad s-b=s_2;\quad s-a=s_1,$$

тогда будемъ имѣть:

$$a+b+c=2s;\quad -a+b+c=2s_1;\quad a-b+c=2s_2;$$

$$a+b-c=2s_3,$$

а потому получимъ:

$$\sin\frac{A}{2}=\sqrt{\frac{\sin s_2\,\sin s_3}{\sin b\,\sin c}}\quad\ldots\ldots\quad(9)$$

Формулы (8) и (9) словами можно выразить такъ: *синусъ половиннаго угла сферическаго треугольника равняется корню квадратному изъ дроби, у которой числитель есть произведеніе синусовъ отъ полупериметровъ треугольника безъ сторонъ, прилежащихъ къ этому углу, а знаменатель—произведеніе синусовъ сторонъ, заключающихъ искомый уголъ.*

Такимъ же образомъ можно вывести еще двѣ слѣдующихъ формулы:

$$\sin\frac{B}{2}=\sqrt{\frac{\sin s_1\,\sin s_3}{\sin a\,\sin c}}\quad\text{и}\quad\sin\frac{C}{2}=\sqrt{\frac{\sin s_1\,\sin s_2}{\sin a\,\sin b}}.$$

Если въ равенствѣ, выражающемъ собою $\cos A$, прибавимъ къ обѣимъ частямъ по единицѣ, то найдемъ:

$$1+\cos A=\frac{\sin b\,\sin c+\cos a-\cos b\,\cos c}{\sin b\,\sin c},$$

или

$$2\cos^2\frac{A}{2} = \frac{\cos a - \cos(b+c)}{\sin b \sin c},$$

или

$$\cos\frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin\frac{b+c-a}{2}\sin\frac{b+c+a}{2}}{\sin b \sin c}},$$

и, наконецъ:

$$\cos\frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin s \sin s_1}{\sin b \sin c}} \quad \ldots\ldots (10)$$

Формулу эту можно словами выразить такъ: *косинусъ половиннаго угла сферическаго треугольника равенъ корню квадратному изъ дроби, числитель которой есть произведеніе двухъ синусовъ отъ полупериметра и отъ полупериметра безъ стороны, противолежащей данному углу, а знаменатель—произведеніе синусовъ сторонъ, заключающихъ этотъ уголъ.*

Раздѣливъ формулу (9) на (10), найдемъ выраженіе для тангенса половиннаго угла, именно:

$$\operatorname{tang}\frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin s_2 \sin s_3}{\sin s_1 \sin s}} \quad \ldots\ldots (11)$$

Формулу эту можно словами выразить такъ: *тангенсъ половиннаго угла равняется корню квадратному изъ дроби, у которой числитель есть произведеніе двухъ синусовъ отъ полупериметровъ безъ сторонъ, составляющихъ этотъ уголъ, а знаменатель—произведеніе двухъ синусовъ отъ полупериметра и полупериметра безъ стороны, лежащей противъ даннаго угла.*

Предлагается сдѣлать слѣдующія задачи:

1) данныя:

$$a = 72^\circ\,14'\,26''; \quad b = 110^\circ\,18'\,20''; \quad c = 48^\circ\,50'\,42'';$$

искомыя:

$$A = 40^\circ\,56'\,32''; \quad B = 139^\circ\,48'\,36''; \quad C = 31^\circ\,12'\,13'';$$

2) данныя:

$$a = 100^\circ; \qquad b = 80^\circ; \qquad c = 60^\circ;$$

искомыя:

$$\frac{A}{2} = 53^\circ 51' 29''; \quad \frac{B}{2} = 36^\circ 6' 31''; \quad \frac{C}{2} = 28^\circ 25' 54''.$$

56. Выводъ формулъ Даламбера, извѣстныхъ подъ именемъ Гаусовыхъ формулъ и дающихъ косинусы полусуммы и полуразности двухъ угловъ. Изъ прямолинейной тригонометріи имѣемъ:

$$\cos\frac{A \pm B}{2} = \cos\frac{A}{2}\cos\frac{B}{2} \mp \sin\frac{A}{2}\sin\frac{B}{2}.$$

Внесемъ въ эту формулу выраженія для косинусовъ и синусовъ половинныхъ угловъ, данныя формулами (9) и (10); найдемъ:

$$\cos\frac{A \pm B}{2} = \sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s}{\sin b \sin c}}\sqrt{\frac{\sin s_2 \sin s}{\sin a \sin c}} \mp$$

$$\mp \sqrt{\frac{\sin s_2 \sin s_3}{\sin b \sin c}}\sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s_3}{\sin a \sin c}},$$

или

$$\cos\frac{A \pm B}{2} = \sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s_2 \sin^2 s}{\sin a \sin b \sin^2 c}} \mp \sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s_2 \sin^2 s_3}{\sin a \sin b \sin^2 c}},$$

или

$$\cos\frac{A \pm B}{2} = \frac{\sin s}{\sin c}\sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s_2}{\sin a \sin b}} \mp \frac{\sin s_3}{\sin c}\sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s_2}{\sin a \sin b}},$$

или

$$\cos\frac{A \pm B}{2} = \sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s_2}{\sin a \sin b}}\left[\frac{\sin s}{\sin c} \mp \frac{\sin s_3}{\sin c}\right];$$

принимая же во вниманіе формулу (9), получимъ:

$$\cos\frac{A \pm B}{2} = \sin\frac{C}{2}\left[\frac{\sin s \mp \sin s_3}{\sin c}\right].$$

Такимъ образомъ, имѣемъ двѣ формулы:

$$\frac{\cos\frac{A+B}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{\sin s - \sin s_3}{\sin c}, \quad \frac{\cos\frac{A-B}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{\sin s + \sin s_3}{\sin c}.$$

Замѣняя въ правыхъ частяхъ этихъ формулъ разность и сумму синусовъ ихъ выраженіями, найдемъ:

$$\frac{\cos\frac{A+B}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{2\sin\frac{s-s_3}{2}\cos\frac{s+s_3}{2}}{\sin c}$$

и

$$\frac{\cos\frac{A-B}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{2\sin\frac{s+s_3}{2}\cos\frac{s-s_3}{2}}{\sin c},$$

но

$$s - s_3 = \frac{a+b+c}{2} - \frac{(a+b-c)}{2} = c$$

и

$$s + s_3 = \frac{a+b+c}{2} + \frac{(a+b-c)}{2} = a+b;$$

слѣдовательно:

$$\frac{\sin\frac{A+B}{2}}{\cos\frac{C}{2}} = \frac{2\sin\frac{c}{2}\cos\frac{a+b}{2}}{2\sin\frac{c}{2}\cos\frac{c}{2}} \text{ и } \frac{\cos\frac{A-B}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{2\sin\frac{a+b}{2}\cos\frac{c}{2}}{2\sin\frac{c}{2}\cos\frac{c}{2}}.$$

Дѣлая сокращенія, окончательно получимъ:

$$\frac{\cos\frac{A+B}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{\cos\frac{a+b}{2}}{\cos\frac{c}{2}} \text{ и } \frac{\cos\frac{A-B}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{\sin\frac{a+b}{2}}{\sin\frac{c}{2}}.$$

Подобнымъ образомъ можно найти синусъ полусуммы и полуразности двухъ угловъ. Дѣйствительно:

$$\sin\frac{A\pm B}{2} = \sin\frac{A}{2}\cos\frac{B}{2} \pm \cos\frac{A}{2}\sin\frac{B}{2};$$

принимая же во вниманіе формулы (9) и (10), найдемъ:

$$\sin\frac{A\pm B}{2} = \sqrt{\frac{\sin s_2 \sin s_3}{\sin b \sin c}}\sqrt{\frac{\sin s_2 \sin s}{\sin a \sin c}} \pm$$

$$\pm \sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s}{\sin b \sin c}}\sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s_3}{\sin a \sin c}},$$

или

$$\sin\frac{A\pm B}{2}=\frac{\sin s_2}{\sin c}\sqrt{\frac{\sin s\sin s_3}{\sin a\sin b}}\pm\frac{\sin s_1}{\sin c}\sqrt{\frac{\sin s\sin s_3}{\sin a\sin b}},$$

или

$$\sin\frac{A\pm B}{2}=\sqrt{\frac{\sin s\sin s_3}{\sin a\sin b}}\left[\frac{\sin s_2\pm\sin s_1}{\sin c}\right],$$

или, принимая во вниманіе формулу (10), можно написать:

$$\sin\frac{A\pm B}{2}=\cos\frac{C}{2}\left[\frac{\sin s_2\pm\sin s_1}{\sin c}\right].$$

Такимъ образомъ, мы имѣемъ двѣ слѣдующихъ формулы:

$$\frac{\sin\frac{A+B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}=\frac{\sin s_2+\sin s_1}{\sin c}=\frac{2\sin\frac{s_2+s_1}{2}\cos\frac{s_2-s_1}{2}}{2\sin\frac{c}{2}\cos\frac{c}{2}},$$

$$\frac{\sin\frac{A-B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}=\frac{\sin s_2-\sin s_1}{\sin c}=\frac{2\sin\frac{s_2-s_1}{2}\cos\frac{s_2+s_1}{2}}{2\sin\frac{c}{2}\cos\frac{c}{2}},$$

но

$$s_2+s_1=\frac{b+c-a}{2}+\frac{a-b+c}{2}=c$$

и

$$s_2-s_1=\frac{a-b+c}{2}-\frac{b+c-a}{2}=a-b.$$

Слѣдовательно, можемъ написать:

$$\frac{\sin\frac{A+B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}=\frac{\sin\frac{c}{2}\cos\frac{a-b}{2}}{\sin\frac{c}{2}\cos\frac{c}{2}},\qquad\frac{\sin\frac{A-B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}=\frac{\sin\frac{a-b}{2}\cos\frac{c}{2}}{\sin\frac{c}{2}\cos\frac{c}{2}},$$

или

$$\frac{\sin\frac{A+B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}=\frac{\cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{c}{2}},\quad \frac{\sin\frac{A-B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}=\frac{\sin\frac{a-b}{2}}{\sin\frac{c}{2}}.$$

Такимъ образомъ, получили четыре формулы Гауса, которыя перепишемъ въ такомъ порядкѣ:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sin\frac{A+B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}=\frac{\cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{c}{2}},\quad \frac{\cos\frac{A+B}{2}}{\sin\frac{C}{2}}=\frac{\cos\frac{a+b}{2}}{\cos\frac{c}{2}}\\&\frac{\sin\frac{A-B}{2}}{\cos\frac{C}{2}}=\frac{\sin\frac{a-b}{2}}{\sin\frac{c}{2}},\quad \frac{\cos\frac{A-B}{2}}{\sin\frac{C}{2}}=\frac{\sin\frac{a+b}{2}}{\sin\frac{c}{2}}\end{aligned}\right\}\quad .\ .\ (12)$$

Можно брать полусуммы и полуразности не только A и B, но также A и C, C и B; слѣдовательно, такихъ формулъ для одного сферическаго треугольника можно вывести двѣнадцать. Каждая изъ нихъ заключаетъ въ себѣ всѣ шесть частей треугольника; если извѣстны четыре изъ нихъ, то остальныя двѣ могутъ быть найдены. Формулы эти были выведены Даламберомъ въ 1807 году, а впослѣдствіи и Гаусомъ.

57. Выводъ формулъ, называемыхъ Неперовыми аналогіями. Формулы Даламбера или Гауса можно представить еще въ слѣдующемъ видѣ:

$$\sin\frac{A+B}{2}\cos\frac{c}{2}=\cos\frac{a-b}{2}\cos\frac{C}{2},$$

$$\cos\frac{A+B}{2}\cos\frac{c}{2}=\cos\frac{a+b}{2}\sin\frac{C}{2};$$

$$\sin\frac{A-B}{2}\sin\frac{c}{2}=\sin\frac{a-b}{2}\cos\frac{C}{2},$$

$$\cos\frac{A-B}{2}\sin\frac{c}{2}=\sin\frac{a+b}{2}\sin\frac{C}{2}.$$

Раздѣливъ первую изъ этихъ формулъ на вторую, третью на четвертую, четвертую на вторую, третью на первую, послѣ сокращенія, найдемъ:

$$\left.\begin{aligned}
tang\,\frac{A+B}{2} &= cotang\,\frac{C}{2}\left[\frac{cos\,\frac{a-b}{2}}{cos\,\frac{a+b}{2}}\right]\\
tang\,\frac{A-B}{2} &= cotang\,\frac{C}{2}\left[\frac{sin\,\frac{a-b}{2}}{sin\,\frac{a+b}{2}}\right]\\
tang\,\frac{a+b}{2} &= tang\,\frac{c}{2}\left[\frac{cos\,\frac{A-B}{2}}{cos\,\frac{A+B}{2}}\right]\\
tang\,\frac{a-b}{2} &= tang\,\frac{c}{2}\left[\frac{sin\,\frac{A+B}{2}}{sin\,\frac{A+B}{2}}\right]
\end{aligned}\right\}\ldots\ldots(13)$$

Формулы (13) носятъ названіе Неперовыхъ аналогій. Онѣ выведены ранѣе формулъ Даламбера, такъ какъ Неперъ жилъ въ началѣ XVII вѣка; выводъ ихъ, сдѣланный Непером, болѣе утомителенъ, чѣмъ приведенный здѣсь. Въ каждой изъ формулъ Непера заключается *пять* частей сферическаго треугольника.

При помощи первыхъ двухъ формулъ (13), по даннымъ двумъ сторонамъ и углу, заключенному между ними, можно найти сумму и разность остальныхъ двухъ угловъ, а слѣдовательно, и самые углы, а при помощи двухъ другихъ формулъ, по данной сторонѣ и двумъ прилежащимъ къ ней угламъ, можно найти полусумму и полуразность двухъ сторонъ, а слѣдовательно, и каждую изъ нихъ. Въ эти формулы входятъ не всѣ шесть частей треугольника, а только пять.

Неперовы аналогіи словами выражаются такъ:

1) *тангенсъ полусуммы двухъ угловъ равенъ котангенсу половины третьяго угла, умноженному на отношеніе косинусовъ отъ полуразности и полусуммы сторонъ, противолежащихъ первымъ двумъ угламъ*;

2) *тангенсъ полуразности двухъ угловъ равенъ котангенсу половины третьяго угла, умноженному на отношеніе синусовъ отъ полуразности и полусуммы сторонъ, противолежащихъ первымъ двумъ угламъ;*

3) *тангенсъ полусуммы двухъ сторонъ равенъ тангенсу половины третьей стороны, умноженному на отношеніе косинусовъ отъ*

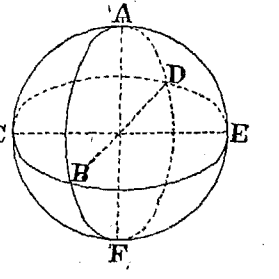
полуразности и полусуммы угловъ, противолежащихъ первымъ двумъ сторонамъ;

4) *тангенсъ полуразности двухъ сторонъ равенъ тангенсу половины третьей стороны, умноженному на отношеніе синусовъ отъ полуразности и полусуммы угловъ, противолежащихъ первымъ двумъ сторонамъ.*

58. Выводъ формулы для величины площади сферическаго треугольника. Чтобы найти, чему равна площадь сферическаго треугольника, необходимо предварительно доказать нѣкоторыя леммы.

Лемма I. *Два большихъ круга на шарѣ образуютъ два равныхъ вырѣзка, или двуугольника.*

Дѣйствительно, пусть $ACFE$ и $ABFD$ (черт. 71) 2 большихъ круга; тогда образуются два двуугольника $ACFB$ и $ADFE$, у которыхъ углы при A и F равны между собою, а бока этихъ двуугольниковъ суть полуокружности, слѣдовательно, при наложеніи одного двуугольника на другой, они окажутся равными между собой. Точно также получается здѣсь два другихъ равныхъ двуугольника, именно $ABFEA$ и $ACFDA$.



Черт. 71.

Лемма II. *Два большихъ круга образуютъ на полушарѣ два треугольника, сумма площадей которыхъ равняется площади двуугольника, составленнаго этими же кругами.*

Дѣйствительно, если $BCDE$, $ACFE$ и $ABFD$ большіе круги (черт. 71), то треугольники FCB и AED равны между собою, потому что стороны ихъ порознь равны, какъ измѣряющія равные вертикально противоположные углы; слѣдовательно, при наложеніи треугольники эти совмѣстятся, а поэтому

$$FCB = AED,$$

кромѣ того,

$$ABC = ABC,$$

слѣдовательно:

$$FCB + ABC = AED + ABC,$$

но

$$FCB + ABC = ACFB,$$

слѣдовательно

$$ABC + AED = ACFB;$$

что́ и требовалось доказать.

Лемма III. *Поверхность двуугольника относится къ поверхности шара, какъ уголъ двуугольника относится къ 4-хъ прямымъ.*

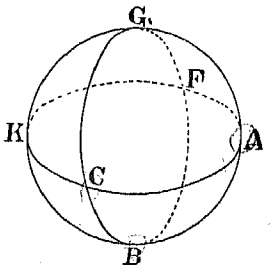
Это положеніе совершенно ясно, такъ какъ чѣмъ больше уголъ, тѣмъ больше и площадь двуугольника. Если назовемъ радіусъ шара R, то поверхность его равна $4\pi R^2$, а потому можемъ написать:

$$ACFB : 4\pi R^2 = A : 360°,$$

откуда имѣемъ:

$$ACFB = \pi R^2 \frac{A}{90°}.$$

т. е. *величина поверхности двуугольника равна площади большого круга, умноженной на отношеніе угла двуугольника къ прямому углу.*



Черт. 72.

Доказавъ эти леммы, можно опредѣлить выраженіе для поверхности сферическаго треугольника.

Пусть ABC (черт. 72) сферическій треугольникъ. Продолжимъ его бока AC и BC до пересѣченія въ точкѣ K и G съ большимъ кругомъ, образующимъ бокъ AB. Тогда получаются четыре треугольника: ABC, AGC, KGC и KCB на полушарѣ $CAGBK$. На основаніи одной изъ предыдущихъ леммъ, сумма треугольниковъ $ABC + KGC$ равна двуугольнику, уголъ котораго равенъ углу C даннаго сферическаго треугольника. Сумма $ABC + KCB$, равная $ABC + AGF$, представляетъ собою тоже двуугольникъ съ угломъ, равнымъ углу A даннаго сферическаго треугольника; сумма $ABC + AGC$, равная $ABC + BKF$, равна въ то же время двуугольнику съ угломъ равнымъ B. Принимая же во вниманіе формулу для вычисленія

поверхности двуугольника, можемъ написать:

$$ABC + KCB = \pi R^2 \frac{A}{90},$$

$$ABC + AGC = \pi R^2 \frac{B}{90},$$

$$ABC + KGC = \pi R^2 \frac{C}{90}.$$

Складывая эти три равенства, найдемъ:

$$2\,ABC + ABC + KCB + AGC + KGC = \pi R^2 \left(\frac{A+B+C}{90^\circ}\right),$$

Но сумма поверхностей четырехъ треугольниковъ $ABC + KCB + AGC + KGC$ представляетъ собою поверхность полушара, равную $2\pi R^2$, а потому:

$$2\,ABC + 2\pi R^2 = \pi R^2 \left(\frac{A+B+C}{90^\circ}\right),$$

откуда

$$ABC = \frac{\pi R^2}{180^\circ}(A+B+C-180^\circ).$$

Величина, стоящая въ скобкахъ, называется *сферическимъ избыткомъ* (§ 43).

Если площадь сферическаго треугольника назовемъ буквою P, а сферическій избытокъ—буквою ε, то можемъ написать:

$$P = \frac{\pi R^2}{180^\circ}\varepsilon \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

т. е. *площадь сферическаго треугольника равна постоянному коэффиціенту* $\frac{\pi}{180^\circ}$, *умноженному на сферическій избытокъ и квадратъ радіуса шара, которому принадлежитъ сферическій треугольникъ.*

59. Выраженіе сферическаго избытка въ функціи площади сферическаго треугольника. Изъ выведенной сейчасъ формулы $P = \frac{\pi}{180^\circ} R^2\varepsilon$ легко получить выраженіе для сферическаго избытка; оно будетъ таково:

$$\varepsilon = \frac{180^\circ}{\pi} \times \frac{P}{R^2},$$

т. е. *сферическій избытокъ равенъ постоянному коэффиціенту* $\frac{180^\circ}{\pi}$, *умноженному на площадь сферическаго треугольника, дѣленную на квадратъ радіуса шара, которому принадлежитъ сферическій треугольникъ.*

Чтобы выразить сферическій избытокъ въ секундахъ, надо 180° обратить въ секунды, т. е. взять такую формулу:

$$\varepsilon = \frac{180^\circ \times 3600''}{\pi} \times \frac{P}{R^2} = \frac{648000''}{\pi} \times \frac{P}{R^2}.$$

Если при радіусѣ, равномъ 1, назовемъ длину дуги въ одну секунду буквою s, то можемъ написать:

$$s : \pi = 1 : 648000,$$

откуда

$$\frac{1}{s} = \frac{648000}{\pi},$$

но длину одной секунды, по ея малости, можно принять равной синусу одной секунды, слѣдовательно, можно написать:

$$\frac{1}{\sin 1''} = \frac{648000}{\pi},$$

поэтому выраженіе для сферическаго избытка можетъ быть написано еще и такъ:

$$\varepsilon = \frac{P}{R^2 \sin 1''} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

т. е. *сферическій избытокъ равенъ площади сферическаго треугольника, дѣленной на произведеніе изъ синуса одной секунды и квадрата радіуса шара, которому принадлежитъ сферическій треугольникъ.*

60. Другія формулы для выраженія сферическаго избытка. Если извѣстны всѣ три угла, то извѣстенъ и сферическій избытокъ, потому что для полученія его надо изъ суммы угловъ вычесть 180°.

Выведемъ теперь формулу для сферическаго избытка, когда извѣстны три стороны треугольника и одинъ уголъ. Означимъ буквою ε величину сферическаго избытка, а буквами A, B и C углы сферическаго тре-

угольника, тогда можемъ написать:

$$\varepsilon = A + B + C - 180°, \text{ или } \frac{\varepsilon}{2} = \frac{A+B}{2} - \left(90° - \frac{C}{2}\right).$$

Взявъ синусы обѣихъ частей, найдемъ:

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \sin\frac{A+B}{2}\cos\left(90° - \frac{C}{2}\right) - \cos\frac{A+B}{2}\sin\left(90° - \frac{C}{2}\right),$$

или

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \sin\frac{A+B}{2}\sin\frac{C}{2} - \cos\frac{A+B}{2}\cos\frac{C}{2}.$$

Подставивъ сюда, вмѣсто синуса и косинуса полусуммы дугъ, ихъ выраженія изъ формулъ Даламбера, найдемъ:

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \cos\frac{C}{2}\frac{\cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{c}{2}}\sin\frac{C}{2} - \sin\frac{C}{2}\frac{\cos\frac{a+b}{2}}{\cos\frac{c}{2}}\cos\frac{C}{2},$$

или

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \sin\frac{C}{2}\cos\frac{C}{2}\left[\frac{\cos\frac{a-b}{2} - \cos\frac{a+b}{2}}{\cos\frac{c}{2}}\right],$$

или

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = 2\sin\frac{C}{2}\cos\frac{C}{2}\frac{\sin\frac{a}{2}\sin\frac{b}{2}}{\cos\frac{c}{2}} \quad \ldots\ldots \quad (15')$$

или

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \sin C\frac{\sin\frac{a}{2}\sin\frac{b}{2}}{\cos\frac{c}{2}} \quad \ldots\ldots \quad (16)$$

Формула (16) служитъ очень часто для вычисленія сферическаго избытка, когда извѣстенъ одинъ уголъ и три стороны.

Подставимъ въ формулу (15'), вмѣсто $\sin\frac{c}{2}$ и $\cos\frac{c}{2}$, ихъ выраженія на основаніи формулъ (9) и (10), тогда найдемъ:

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = 2\sqrt{\frac{\sin s_1 \sin s_2}{\sin a \sin b}}\sqrt{\frac{\sin s \sin s_3}{\sin a \sin b}}\frac{\sin\frac{a}{2}\sin\frac{b}{2}}{\cos\frac{c}{2}},$$

или

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \frac{2\sqrt{\sin s \sin s_1 \sin s_2 \sin s_3}}{\sin a \sin b} \cdot \frac{\sin\frac{a}{2}\sin\frac{b}{2}}{\cos\frac{c}{2}},$$

или

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \frac{2\sqrt{\sin s \sin s_1 \sin s_2 \sin s_3}}{2\sin\frac{a}{2}\cos\frac{a}{2}\,2\sin\frac{b}{2}\cos\frac{b}{2}} \cdot \frac{\sin\frac{a}{2}\sin\frac{b}{2}}{\cos\frac{c}{2}},$$

или, сокращая, находимъ:

$$\sin\frac{\varepsilon}{2} = \frac{\sqrt{\sin s \sin s_1 \sin s_2 \sin s_3}}{2\cos\frac{a}{2}\cos\frac{b}{2}\cos\frac{c}{2}} \quad \ldots \quad (17).$$

Надо помнить, что въ этой формулѣ s — полусумма всѣхъ сторонъ, s_1 — полусумма безъ стороны a; s_2 — полусумма безъ стороны b; а s_3 — полусумма безъ стороны c.

Выведемъ еще одну формулу для сферическаго избытка. Для него мы можемъ написать, какъ извѣстно, такую формулу:

$$\varepsilon = A + B + C - 180°,$$

отсюда

$$\frac{A+B}{2} = \frac{\varepsilon}{2} - \frac{C}{2} + 90° = 90° - \left(\frac{C}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right),$$

слѣдовательно,

$$\sin\frac{A+B}{2} = \cos\left(\frac{C-\varepsilon}{2}\right) \quad \text{и} \quad \cos\frac{A+B}{2} = \sin\left(\frac{C-\varepsilon}{2}\right),$$

Возьмемъ двѣ первыхъ формумы Даламбера:

$$\frac{\sin\frac{A+B}{2}}{\cos\frac{C}{2}} = \frac{\cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{c}{2}} \quad \text{и} \quad \frac{\cos\frac{A+B}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{\cos\frac{a+b}{2}}{\cos\frac{c}{2}}.$$

Внесемъ въ послѣднія формулы предыдущія выраженія для

$$\sin\frac{A+B}{2} \quad \text{и} \quad \cos\frac{A+B}{2},$$

тогда найдемъ:

$$\frac{\cos\frac{C-\varepsilon}{2}}{\cos\frac{C}{2}} = \frac{\cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{c}{2}} \quad \text{и} \quad \frac{\sin\frac{C-\varepsilon}{2}}{\sin\frac{C}{2}} = \frac{\cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{c}{2}},$$

взявъ отношеніе разностей и суммъ членовъ первыхъ и вторыхъ отношеній, получимъ:

$$\frac{\cos\frac{C}{2} - \cos\frac{C-\varepsilon}{2}}{\cos\frac{C}{2} + \cos\frac{C-\varepsilon}{2}} = \frac{\cos\frac{c}{2} - \cos\frac{a-b}{2}}{\cos\frac{c}{2} + \cos\frac{a-b}{2}}$$

и

$$\frac{\sin\frac{C}{2} - \sin\frac{C-\varepsilon}{2}}{\sin\frac{C}{2} + \sin\frac{C-\varepsilon}{2}} = \frac{\cos\frac{c}{2} - \cos\frac{a+b}{2}}{\cos\frac{c}{2} + \cos\frac{a+b}{2}},$$

или, замѣнивъ разности и суммы синусовъ и косинусовъ произведеніями и сокративъ на 2 получимъ:

$$\frac{-\sin\frac{C-C+\varepsilon}{4}\sin\frac{2C-\varepsilon}{4}}{\cos\frac{2C-\varepsilon}{4}\cos\frac{C-C+\varepsilon}{4}} = \frac{-\sin\frac{c-a+b}{4}\sin\frac{c+a-b}{4}}{\cos\frac{c+a-b}{4}\cos\frac{c-a+b}{4}}$$

и

$$\frac{\sin\frac{\varepsilon}{4}\cos\frac{2C-\varepsilon}{4}}{\sin\frac{2C-\varepsilon}{4}\cos\frac{\varepsilon}{4}} = \frac{\sin\frac{a+b-c}{4}\sin\frac{a+b+c}{4}}{\cos\frac{a+b+c}{4}\cos\frac{a+b-c}{4}},$$

или

$$\operatorname{tang}\frac{\varepsilon}{4}\operatorname{tang}\frac{2C-\varepsilon}{4} = \operatorname{tang}\frac{s_1}{2}\operatorname{tang}\frac{s_2}{2},$$

$$\operatorname{tang}\frac{\varepsilon}{4}\operatorname{cotang}\frac{2C-\varepsilon}{4} = \operatorname{tang}\frac{s_3}{2}\operatorname{tang}\frac{s}{2}.$$

Перемноживъ эти два равенства, найдемъ:

$$\operatorname{tang}^2\frac{\varepsilon}{4} = \operatorname{tang}\frac{s}{2}\operatorname{tang}\frac{s_1}{2}\operatorname{tang}\frac{s_2}{2}\operatorname{tang}\frac{s_3}{2},$$

или

$$\operatorname{tang}\frac{\varepsilon}{4} = \sqrt{\operatorname{tang}\frac{s}{2}\operatorname{tang}\frac{s_1}{2}\operatorname{tang}\frac{s_2}{2}\operatorname{tang}\frac{s_3}{2}} \quad . \quad . \quad . \quad (18)$$

Формула эта выведена—Пруше.

61. Выводъ формулъ, служащихъ для рѣшенія прямоугольныхъ сферическихъ треугольниковъ. Для косвенноугольнаго сферическаго треугольника были выведены формулы:

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A;$$

$$\sin a \sin B = \sin b \sin A;$$

$$\sin a \sin C = \sin c \sin A;$$

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A;$$

$$\sin a \cos C = \cos c \sin b - \sin c \cos b \cos A;$$

$$\sin A \operatorname{cotang} B = \operatorname{cotang} b \sin c - \cos c \cos A;$$

$$\cos B = \sin A \sin C \cos b - \cos A \cos C.$$

Если положимъ одинъ изъ угловъ, напримѣръ A, равнымъ 90°, то сферическій треугольникъ перейдетъ въ прямоугольный, а написанныя формулы преобразуются въ слѣдующія:

$$(*)\ \cos a = \cos b \cos c; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

$$(**)\ \left.\begin{aligned} \sin a \sin B &= \sin b \\ \sin a \sin C &= \sin c \end{aligned}\right\}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (20)$$

$$\left.\begin{aligned} \sin a \cos B &= \cos b \sin c \\ \sin a \cos C &= \cos c \sin b \end{aligned}\right\}; \quad \ldots\ldots\ldots (21)$$

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{cotang} B &= \operatorname{cotang} b \sin c \\ \operatorname{cotang} C &= \operatorname{cotang} c \sin b \end{aligned}\right|; \quad \ldots\ldots\ldots (22)$$

$$(***)\ \cos B = \cos b \sin C. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (23)$$

Перемноживъ двѣ формулы (20) между собою и также перемноживъ двѣ формулы (21), найдемъ:

$$\sin^2 a \cos B \cos C = \cos b \cos c \sin b \sin c;$$

$$\sin^2 a \sin B \sin C = \sin b \sin c;$$

раздѣливъ полученные результаты другъ на друга, найдемъ:

$$cotang\, B\, cotang\, C = cos\, b\, cos\, c;$$

а подставляя изъ формулы (19) вмѣсто $cos\, b\, cos\, c$ равное ему $cos\, a$, получимъ:

$$cos\, a = cotang\, B\, cotang\, C \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24')$$

Раздѣляя формулу (19) на одну изъ формулъ (21), найдемъ:

$$\frac{cos\, a}{sin\, a\, cos\, B} = \frac{cos\, b\, cos\, c}{cos\, b\, sin\, c},$$

или

$$\frac{cotang\, a}{cos\, B} = cotang\, c;$$

откуда

$$cos\, B = \frac{cotang\, a}{cotang\, c},$$

или

$$cos\, B = cotang\, a\, tang\, c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25')$$

Перепишемъ эти формулы въ другомъ порядкѣ, и соединимъ: (19) съ (24′), первую формулу (20) со второю (22) и (23) съ (25′), въ такомъ случаѣ найдемъ:

$$(*)\ cos\, a = cos\, b\, cos\, c = cotang\, B\, cotang\, C; \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

$$(**)\ sin\, b = sin\, a\, sin\, B = tang\, c\, cotang\, C; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

$$(***)\ cos\, B = cos\, b\, sin\, C = tang\, c\, cotang\, a. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

Словами эти формулы выражаются такъ: *косинусъ гипотенузы прямоугольнаго сферическаго треугольника равенъ произведенію косинусовъ двухъ катетовъ или косинусъ гипотенузы равенъ произведенію котангенсовъ острыхъ угловъ* (*24*).

Синусъ одного изъ катетовъ прямоугольнаго сферическаго треугольника равенъ синусу гипотенузы, умноженному на синусъ противулежащаго остраго угла, или произведенію тангенса другого катета на катангенсъ угла прилежащаго (25).

Косинусъ остраго угла равенъ косинусу катета, лежащаго противъ остраго угла умноженному на синусъ другого острого угла или тангенсу прилежащаго катета умноженному на катангенсъ гипотенузы (26).

62. Мнемоническія правила Непера или Медюи для формулъ прямоугольнаго сферическаго треугольника. Чтобы легче запомнить формулы для прямоугольнаго сферическаго треугольника, слѣдуетъ знать два мнемоническихъ правила, данныхъ, какъ одни утверждаютъ, Непером, а другіе — Медюи.

Формулы (24), (25) и (26) можно преобразовать такъ, чтобы вмѣсто катетовъ b и c входили въ нихъ $90° - b$ и $90° - c$ (черт. 73), а тогда получимъ:

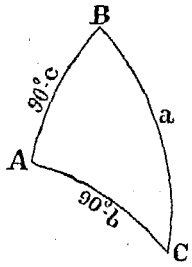
$$\cos a = \sin(90° - b)\,\sin(90° - c) = \operatorname{cotang} B \operatorname{cotang} C; \quad . \quad (27)$$

$$\cos(90° - b) = \sin a \sin B = \operatorname{cotang}(90° - c) \operatorname{cotang} C; \quad . \quad (28)$$

$$\cos B = \sin(90° - b)\,\sin(90° - c) = \operatorname{cotang}(90° - c) \operatorname{cotang} a. \quad . \quad (29)$$

Въ каждую изъ этихъ формулъ входятъ три части сферическаго треугольника, и, если не считать прямого угла, то въ однѣ изъ нихъ входятъ три рядомъ стоящія части, а въ другія двѣ рядомъ стоящія части и одна отдѣльная, считая, что вмѣсто катетовъ взяты ихъ дополненія. Поэтому, словами эти формулы можно выразить такъ: *если въ прямоугольномъ сферическомъ треугольникѣ катеты замѣнить ихъ дополненіями до 90°* (черт. 73), *то косинусъ средней части изъ трехъ рядомъ стоящихъ равенъ произведенію котангенсовъ крайнихъ частей, а косинусъ отдѣльной части равенъ произведенію синусовъ двухъ рядомъ стоящихъ частей.*

На основаніи этихъ правилъ, можно, слѣдовательно, написать, кромѣ написанныхъ выше формулъ, еще слѣдующія:



Черт. 73.

по первому правилу:

$$\cos C = \operatorname{cotang} a \operatorname{cotang}(90° - b) \quad . \quad . \quad (30)$$

$$\cos(90° - c) = \operatorname{cotang}(90° - b) \operatorname{cotang} B \quad . \quad (31)$$

по второму правилу:

$$\cos C = \sin(90° - c) \sin B \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (32)$$

$$\cos(90° - c) = \sin a \sin C \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (33)$$

Изъ этихъ 10-ти отношеній, выраженныхъ формулами (27), (28), (29), (30), (31), (32) и (33), различныхъ только 6, потому что каж-

дые два (30) и (29), (31) и (28), (32) и (29) выражаютъ собою одинаковыя теоремы. Эти шесть формулъ такія же, какъ формулы (24), (25) и (26).

63. Выводъ болѣе удобныхъ формулъ для рѣшенія прямоугольнаго сферическаго треугольника. Возьмемъ Непперовы аналогіи, выведенныя въ параграфѣ 57-мъ

$$tang\,\frac{A+B}{2} = cotang\,\frac{C}{2}\,\frac{cos\,\frac{a-b}{2}}{cos\,\frac{a+b}{2}};$$

$$tang\,\frac{A-B}{2} = cotang\,\frac{C}{2}\,\frac{sin\,\frac{a-b}{2}}{sin\,\frac{a+b}{2}};$$

$$tang\,\frac{a+b}{2} = tang\,\frac{c}{2}\,\frac{cos\,\frac{A-B}{2}}{cos\,\frac{A+B}{2}};$$

$$tang\,\frac{a-b}{2} = tang\,\frac{c}{2}\,\frac{sin\,\frac{A-B}{2}}{sin\,\frac{A+B}{2}}$$

и положимъ въ нихъ $C = 90°$, тогда

$$cotang\,\frac{C}{2} = 1;$$

изъ первыхъ двухъ равенствъ получаемъ:

$$tang\,\frac{A+B}{2} = \frac{cos\,\frac{a-b}{2}}{cos\,\frac{a+b}{2}} \quad \text{и} \quad tang\,\frac{A-B}{2} = \frac{sin\,\frac{a-b}{2}}{sin\,\frac{a+b}{2}}.$$

Такимъ образомъ, для розысканія полусуммы и полуразности двухъ угловъ надо найти 2 логариѳма. Но эти формулы можно преобразовать, положивъ:

$$A = 90° - x,$$

тогда

$$\frac{A+B}{2} = \frac{90° - x + B}{2} = 45° + \frac{B-x}{2};$$

$$\frac{A-B}{2} = \frac{90° - x - B}{2} = 45° - \frac{B+x}{2},$$

а потому

$$tang\left(45° + \frac{B-x}{2}\right) = \frac{cos\,\frac{a-b}{2}}{cos\,\frac{a+b}{2}};$$

$$tang\left(45° - \frac{B+x}{2}\right) = \frac{sin\,\frac{a-b}{2}}{sin\,\frac{a+b}{2}}.$$

Замѣняя лѣвыя части ихъ выраженіями, найдемъ:

$$\frac{1+tang\,\frac{B-x}{2}}{1-tang\,\frac{B-x}{2}} = \frac{cos\,\frac{a-b}{2}}{cos\,\frac{a+b}{2}} \quad \text{и} \quad \frac{1-tang\,\frac{B+x}{2}}{1+tang\,\frac{B+x}{2}} = \frac{sin\,\frac{a-b}{2}}{sin\,\frac{a+b}{2}}.$$

Приводя къ одному знаменателю и опредѣляя изъ этихъ равенствъ

$$tang\,\frac{B-x}{2} \quad \text{и} \quad tang\,\frac{B+x}{2},$$

найдемъ:

$$tang\,\frac{B-x}{2} = \frac{cos\,\frac{a-b}{2} - cos\,\frac{a+b}{2}}{cos\,\frac{a-b}{2} + cos\,\frac{a+b}{2}} = \frac{2\,sin\,\frac{b}{2}\,sin\,\frac{a}{2}}{2\,cos\,\frac{b}{2}\,cos\,\frac{a}{2}};$$

$$tang\,\frac{B+x}{2} = \frac{sin\,\frac{a+b}{2} - sin\,\frac{a-b}{2}}{sin\,\frac{a+b}{2} + sin\,\frac{a-b}{2}} = \frac{2\,sin\,\frac{b}{2}\,cos\,\frac{a}{2}}{2\,sin\,\frac{a}{2}\,cos\,\frac{b}{2}},$$

или

$$tang\,\frac{B-x}{2} = tang\,\frac{a}{2}\,tang\,\frac{b}{2}$$

и

$$tang\,\frac{B+x}{2} = cotang\,\frac{a}{2}\,tang\,\frac{b}{2}.$$

По этимъ формуламъ, зная два катета прямоугольнаго треугольника, можно найти B и x, а слѣдовательно, и A.

64. Разборъ сомнительныхъ рѣшеній. Когда сторона или уголъ сферическаго треугольника опредѣляются по синусу, то синусъ мо-

жетъ получиться равнымъ единицѣ, и въ этомъ случаѣ уголъ или сторона равны 90°, т. е. получится одно рѣшеніе; когда для синуса найдется величина большая единицы, то рѣшеніе дѣлается невозможнымъ, потому что синусъ заключается въ предѣлахъ отъ +1 до —1.

Во всѣхъ другихъ случаяхъ для стороны или угла, опредѣляемыхъ по синусу, могутъ получиться два рѣшенія, такъ какъ каждый синусъ соотвѣтствуетъ двумъ дугамъ или угламъ, дополняющимъ другъ друга до 180°. Иногда оба рѣшенія удовлетворяютъ вопросу, иногда же рѣшеніе можетъ быть только одно. Такіе случаи называются *сомнительными*. Займемся разборомъ этихъ случаевъ.

Положимъ, требуется найти одну сторону a сферическаго треугольника по даннымъ двумъ другимъ сторонамъ b и c и углу B; изслѣдуемъ, въ какихъ случаяхъ для a возможны два рѣшенія, одно рѣшеніе, и когда рѣшеніе невозможно. Для такого изслѣдованія лучше всего опредѣлить какую нибудь тригонометрическую величину стороны a изъ квадратнаго уравненія, которое, какъ извѣстно, можетъ имѣть или одно, или два рѣшенія или рѣшенія мнимыя, т. е. невозможныя. Возьмемъ первую формулу сферической тригонометріи и постараемся преобразовать ее въ квадратное уравненіе относительно напр. $tang\,\frac{a}{2}$. Замѣнимъ въ формулѣ:

$$\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos B$$

$\cos a$ и $\sin a$ ихъ выраженіями въ тангенсѣ половины стороны a. Въ такомъ случаѣ можемъ написать:

$$\cos a = 2\cos^2\frac{a}{2} - 1 = \frac{2}{1 + tang^2\frac{a}{2}} - 1 = \frac{1 - tang^2\frac{a}{2}}{1 + tang^2\frac{a}{2}};$$

$$\sin a = 2\sin\frac{a}{2}\cos\frac{a}{2} = 2\frac{\sin\frac{a}{2}}{\cos\frac{a}{2}}\cos^2\frac{a}{2} = \frac{2\,tang\,\frac{a}{2}}{1 + tang^2\frac{a}{2}};$$

подставивъ это въ формулу для $\cos b$, получимъ:

$$\cos b = \frac{1 - tang^2\frac{a}{2}}{1 + tang^2\frac{a}{2}}\cos c + \frac{2\,tang\,\frac{a}{2}}{1 + tang^2\frac{a}{2}}\sin c \cos B.$$

Умноживъ на знаменателя обѣ части равенства и перенеся члены, содержащіе $tang\frac{a}{2}$, въ лѣвую часть, найдемъ:

$$(cos\,c + cos\,b)\,tang^2\frac{a}{2} - 2\,sin\,c\,cos\,B\,tang\frac{a}{2} = cos\,c - cos\,b.$$

Рѣшая это квадратное уравненіе относительно $tang\frac{a}{2}$, получимъ:

$$tang\frac{a}{2} = \frac{sin\,c\,cos\,B \pm \sqrt{cos^2 c - cos^2 b + sin^2 c\,cos^2 B}}{cos\,c + cos\,b},$$

но,

$$cos^2 c - cos^2 b + sin^2 c\,cos^2 B = 1 - sin^2 c - cos^2 b + sin^2 c\,cos^2 B =$$

$$= 1 - cos^2 b - sin^2 c\,(1 - cos^2 B) = sin^2 b - sin^2 c\,sin^2 B$$

слѣдовательно,

$$tang\frac{a}{2} = \frac{sin\,c\,cos\,B \pm \sqrt{sin^2 b - sin^2 c\,sin^2 B}}{cos\,c + cos\,b} \quad . \quad . \quad (\alpha)$$

Для возможности рѣшенія по этой формулѣ $tang\frac{a}{2}$ долженъ быть положительнымъ, потому что, если $tang\frac{a}{2}$ отрицателенъ, то $\frac{a}{2} > 90°$ и $a > 180°$, что невозможно.

Когда $c < 90°$ и $b < 90°$, то $cos\,c$ и $cos\,b$ положительные, поэтому, когда $c + b < 180°$, то знаменатель правой части величина положительная. Обратимся къ числителю.

Если

$$sin^2 b > sin^2 c\,sin^2 B,$$

что равносильно:

$$sin\ b > sin\ c\ sin\ B,$$

то для a получаются два вещественныхъ рѣшенія, и оба они возможны до тѣхъ поръ, пока оба они положительныя.

Поэтому, для возможности двухъ рѣшеній необходимо еще, чтобы произведеніе $sin\,c\ cos\,B$ было больше $\sqrt{sin^2 b - sin^2 c\,sin^2 B}$, т. е.

$$sin\,c\,cos\,B > \sqrt{sin^2 b - sin^2 c\,sin^2 B},$$

или

$$sin^2 c\,cos^2 B > sin^2 b - sin^2 c\,sin^2 B,$$

или

$$\sin^2 c\ (\cos^2 B + \sin^2 B) > \sin^2 b,$$

или

$$\sin c > \sin b.$$

Итакъ, соединяя это условіе съ найденнымъ выше, получимъ, что два рѣшенія возможны при условіи:

$$\sin c > \sin b > \sin c \sin B.$$

Если

$$\sin^2 b = \sin^2 c \sin^2 B,$$

что равносильно:

$$\sin b = \sin c \sin B,$$

то радикалъ формулы (α) обращается въ нуль, и для a получается одно рѣшеніе.

Если

$$\sin^2 b < \sin^2 c \sin^2 B,$$

что равносильно:

$$\sin b < \sin c \sin B,$$

то для $tang\ \frac{a}{2}$ получается мнимое рѣшеніе, т. е. задача невозможна.

Когда $b > 90°$ и $c < 90°$, то знаменатель формулы (α) можетъ быть отрицательнымъ. Умножая въ этомъ случаѣ числителя и знаменателя правой части формулы (α) на -1, найдемъ:

$$tang\ \frac{a}{2} = \frac{-\sin c \cos B \mp \sqrt{\sin^2 b - \sin^2 c \sin^2 B}}{\cos c + \cos b}.$$

Слѣдовательно, чтобы $tang\ \frac{a}{2}$ былъ положительнымъ, необходимо, чтобы

$$\sqrt{\sin^2 b - \sin^2 c \sin^2 B} \text{ было } > \sin c \cos B,$$

или

$$\sin^2 b - \sin^2 c \sin^2 B > \sin^2 c \cos^2 B, \text{ или } \sin b > \sin c,$$

и въ этомъ случаѣ получается одно рѣшеніе.

Такимъ образомъ, резюмируя все, что было нами выведено, можемъ сказать: *для стороны a сферическаго треугольника получаются два рѣшенія, когда*

$$1)\ \sin c > \sin b > \sin c \sin B$$

и одно рѣшеніе, когда

$$2)\ \sin b = \sin c \sin B,$$

или

$$\sin b > \sin c;$$

и рѣшеніе невозможное, когда

$$3)\ \sin b < \sin c \sin B.$$

Положимъ, требуется найти уголъ сферическаго треугольника по даннымъ двумъ другимъ угламъ и сторонѣ, прилежащей къ одному изъ нихъ. Пусть искомый уголъ будетъ A, а данные B и C и сторона b. Чтобы опредѣлить, въ какихъ случаяхъ возможны два рѣшенія, въ какихъ одно и въ какихъ рѣшеніе невозможно, возьмемъ формулу:

$$\cos B = -\cos A \cos C + \sin A \sin C \cos b$$

и, замѣнивъ въ ней $\cos A$ и $\sin A$ ихъ выраженіями въ $cotang \frac{A}{2}$:

$$\cos A = \frac{1 - tang^2 \frac{A}{2}}{1 + tang^2 \frac{A}{2}} = \frac{cotang^2 \frac{A}{2} - 1}{cotang^2 \frac{A}{2} + 1};$$

$$\sin A = \frac{2\ tang \frac{A}{2}}{1 + tang^2 \frac{A}{2}} = \frac{2\ cotang \frac{A}{2}}{cotang^2 \frac{A}{2} + 1};$$

найдемъ:

$$\cos B = \cos C \frac{1 - cotang^2 \frac{A}{2}}{1 + cotang^2 \frac{A}{2}} + \frac{2\ cotang \frac{A}{2}}{cotang^2 \frac{A}{2} + 1} \sin C \cos b,$$

или

$$(\cos C + \cos B) cotang^2 \frac{A}{2} - 2 \sin C \cos b\, cotang \frac{A}{2} = \cos C - \cos B.$$

Рѣшая это квадратное уравненіе относительно $cotang\frac{A}{2}$, найдемъ:

$$cotang\frac{A}{2} = \frac{\sin C\cos b \pm \sqrt{\cos^2 C - \cos^2 B + \sin^2 C\cos^2 b}}{\cos C + \cos B},$$

или

$$cotang\frac{A}{2} = \frac{\sin C\cos b \pm \sqrt{\sin^2 B - \sin^2 C\sin^2 b}}{\cos C + \cos B} \quad . \quad . \quad (\beta)$$

Сравнивая эту формулу съ формулой (α), видимъ, что правая часть формулы (β) отличается отъ правой части формулы (α) лишь перестановкою буквъ: вмѣсто большихъ здѣсь стоятъ маленькія буквы, а вмѣсто маленькихъ — большія, поэтому изслѣдованіе формулы (β) приведетъ къ тѣмъ же заключеніямъ, къ какимъ привело изслѣдованіе формулы (α), т. е. мы можемъ сказать слѣдующее:

Для величины угла A сферическаго треугольника получаются два рѣшенія, когда

1) $\sin C > \sin B > \sin C\sin b$,

одно рѣшеніе, когда

2) $\sin B = \sin C\sin b$, или *когда* $\sin B > \sin C$;

и рѣшеніе невозможное, когда

3) $\sin B < \sin C\sin b$.

Сдѣланные въ этомъ параграфѣ выводы можно обобщить. Въ первомъ случаѣ данныя величины были:

$$B,\ c \text{ и } b,$$

во второмъ

$$b,\ C \text{ и } B;$$

въ обоихъ случаяхъ первыя двѣ части стоятъ рядомъ (черт. 70), вторыя отдѣльно. Кромѣ того, въ первомъ случаѣ даны двѣ стороны, во второмъ два угла; сторону съ стороной и уголъ съ угломъ будемъ называть частями одноименными, и тогда можемъ сказать:

1) *Когда синусъ отдѣльно стоящей части, изъ данныхъ, менѣе синуса другой одноименной части и болѣе произведенія синусовъ*

двухъ рядомъ стоящихъ частей, тогда для искомой величины получаются два рѣшенія, одинаково возможныхъ.

2) *Когда синусъ отдѣльно стоящей части, изъ данныхъ, равенъ произведенію рядомъ стоящихъ частей или болѣе синуса одноименной части, тогда для искомой величины получается одно возможное рѣшеніе.*

3) *Когда синусъ отдѣльно стоящей части менѣе произведенія синусовъ рядомъ стоящихъ частей, изъ данныхъ, тогда для искомой величины нельзя найти рѣшенія, т. е., другими словами, заданіе сдѣлано невѣрно, и треугольникъ невозможенъ.*

65. Рѣшеніе сферическихъ треугольниковъ малаго изгиба. Если радіусъ шара великъ сравнительно съ длиною сторонъ сферическаго треугольника, то такой треугольникъ называется *сферическимъ треугольникомъ малаго изгиба*. Напримѣръ, если радіусъ шара равенъ 6000 верстъ, а длина каждой изъ сторонъ не болѣе 400 верстъ, то образуемый ими треугольникъ называется треугольникомъ малаго изгиба; градусная величина его сторонъ будетъ около 4°. А потому, если землю принять за шаръ, то треугольники, стороны которыхъ меньше 400 верстъ, надо считать за сферическіе треугольники малаго изгиба.

Рѣшая такіе треугольники по общимъ формуламъ сферической тригонометріи, найдемъ величину сторонъ градусную, а не линейную. Но такое рѣшеніе было бы недостаточно точно, потому что, при употребленіи даже семизначныхъ логариѳмовъ, углы опредѣлились бы лишь съ точностью до 0,05 секунды. А между тѣмъ одна секунда на земной поверхности соотвѣтствуетъ почти 15 саженямъ, считая по меридіану, поэтому ошибка въ сторонѣ могла бы возрасти до 0,75 сажени. Въ то же время рѣшать подобные треугольники по правиламъ прямолинейной тригонометріи нельзя, такъ какъ сумма угловъ этихъ треугольниковъ не равна 180°. Геометры конца прошлаго и начала нынѣшняго вѣка стремились, поэтому, дать такіе пріемы для рѣшенія треугольниковъ малаго изгиба, которые приводили бы къ самымъ точнымъ результатамъ. Къ числу этихъ пріемовъ принадлежитъ способъ Лежандра, всегда употребляемый при рѣшеніи треугольниковъ малаго изгиба. Способъ этотъ заключается въ слѣдующемъ. Если данъ сферическій треугольникъ ABC малаго изгиба со сторонами a, b и c, то находятъ, во-первыхъ, величину угловъ такого плоскаго треугольника, стороны котораго равны сторонамъ a, b и c, а затѣмъ рѣ-

шаютъ этотъ прямолинейный треугольникъ на основаніи правилъ прямолинейной тригонометріи. *Такимъ образомъ, все дѣло заключается въ томъ, чтобы опредѣлить зависимость между углами треугольника прямолинейнаго и сферическаго, замѣняемаго прямолинейнымъ.*

Если стороны прямолинейнаго треугольника равняются a, b и c, а углы A', B' и C', то, какъ знаемъ изъ прямолинейной тригонометріи:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc\ \cos A',$$

откуда

$$\cos A' = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}.$$

Такимъ образомъ, косинусъ угла плоскаго треугольника выраженъ въ его сторонахъ. Найдемъ теперь выраженіе косинуса угла A сферическаго треугольника въ тѣхъ же сторонахъ. Возьмемъ формулу (1) для сферическаго треугольника, т. е.

$$\cos a = \cos b\ \cos c + \sin c\ \sin b\ \cos A;$$

откуда

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin c\ \sin b}.$$

Чтобы можно было сравнить между собою $\cos A'$ и $\cos A$, надо выразить $\cos A$ непосредственно въ сторонахъ a, b, c. Замѣнимъ $\cos a$, $\cos b$, $\cos c$, $\sin b$ и $\sin c$ ихъ разложеніями. Изъ разложенія въ ряды функцій извѣстно, что

$$\sin a = a - \frac{a^3}{2.3} + \ldots\ldots;\ \cos a = 1 - \frac{a^2}{2} + \frac{a^4}{2.3.4} - \ldots\ldots,$$

если радіусъ равенъ единицѣ; при радіусѣ равномъ R, эти разложенія будутъ таковы:

$$\sin a = \frac{a}{R} - \frac{a^3}{2.3R^3} + \ldots\ldots;\ \cos a = 1 - \frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{2.3.4R^4} - \ldots$$

Воспользуемся этими разложеніями для формулы:

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b\ \sin c}.$$

Пренебрегая всѣми членами выше 4-го измѣренія, что, конечно, возможно, если R такъ же велико, какъ великъ радіусъ земли, найдемъ:

$$\cos A = \frac{1 - \frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{24R^4} - \left(1 - \frac{b^2}{2R^2} + \frac{b^4}{24R^4}\right)\left(1 - \frac{c^2}{2R^2} + \frac{c^4}{24R^4}\right)}{\left(\frac{b}{R} - \frac{b^3}{6R^3}\right)\left(\frac{c}{R} - \frac{c^3}{6R^3}\right)}.$$

Сдѣлаемъ теперь въ числителѣ перемноженія, въ такомъ случаѣ, пренебрегая всѣми членами выше 4-го измѣренія, получимъ:

$$\cos A = \frac{1 - \frac{a^2}{2R^2} + \frac{a^4}{24R^4} - 1 + \frac{b^2}{2R^2} - \frac{b^4}{24R^4} + \frac{c^2}{2R^2} - \frac{b^2c^2}{4R^4} + \frac{c^4}{24R^4}}{\frac{bc}{R^2}\left(1 - \frac{b^2}{6R^2}\right)\left(1 - \frac{c^2}{6R^2}\right)},$$

или

$$\cos A = \frac{\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2} - \frac{b^4 + c^4 - a^4}{24R^2} - \frac{b^2c^2}{4R^2}}{bc\left(1 - \frac{b^2 + c^2}{6R^2}\right)};$$

принявъ во вниманіе, что

$$\frac{1}{1 - \frac{b^2 + c^2}{6R^2}} = 1 + \frac{b^2 + c^2}{6R^2}.$$

Эта формула получается непосредственнымъ дѣленіемъ, и отбрасываніемъ членовъ 4-го и высшихъ измѣреній. Сдѣлавъ соотвѣтствующія подстановки, найдемъ:

$$\cos A = \frac{\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2} - \frac{b^4 + c^4 - a^4 + 6b^2c^2}{24R^2}\right)\left(1 + \frac{b^2 + c^2}{6R^2}\right)}{bc};$$

Раскроемъ теперь скобки, сдѣлаемъ приведеніе и отбросимъ всѣ члены выше 4-го измѣренія, въ результатѣ получимъ:

$$\cos A = \frac{\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2} - \frac{b^4 + c^4 - a^4 + 6b^2c^2}{24R^2}}{bc} + \frac{\frac{b^4 + b^2c^2 - a^2b^2 + b^2c^2 + c^4 - a^2c^2}{12R^2}}{bc},$$

или $$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} +$$

$$+ \frac{b^4 + c^4 + a^4 + 2b^2c^2 - 2a^2b^2 - 2a^2c^2 - 4b^2c^2}{24bcR^2},$$

или $$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} + \frac{(b^2 + c^2 - a^2)^2 - 4b^2c^2}{24bcR^2}.$$

Выше мы имѣли формулу:

$$\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} = \cos A',$$

изъ которой получаемъ:

$$\left(\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}\right)^2 = \cos^2 A' = 1 - \sin^2 A',$$

откуда $$(b^2 + c^2 - a^2)^2 - 4b^2c^2 = -4b^2c^2 \sin^2 A';$$

принимая это во вниманіе, можемъ написать:

$$\cos A = \cos A' - \frac{4b^2c^2 \sin^2 A'}{24bcR^2},$$

или $$\cos A = \cos A' - \frac{bc \sin^2 A'}{6R^2}$$

Но площадь прямолинейнаго треугольника, которую означимъ буквою P', какъ извѣстно, опредѣляется формулой:

$$P' = \tfrac{1}{2} bc \sin A',$$

откуда $$bc \sin A' = 2P'.$$

Подставивъ это выраженіе въ предыдущую формулу, найдемъ:

$$\cos A = \cos A' - \frac{P' \sin A'}{3R^2} \quad \ldots\ldots \quad (34)$$

Положимъ теперь, что $A = A' + \alpha$, тогда

$$\cos A = \cos A' \cos \alpha - \sin A' \sin \alpha.$$

Такъ какъ α — величина малая, то вмѣсто $\cos \alpha$ можно взять единицу, а вмѣсто $\sin \alpha$ можно взять $\alpha \sin 1''$, поэтому:

$$\cos A = \cos A' - \alpha \sin A' \sin 1'' \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (35)$$

Сравненіе формулъ (34) и (35) приводитъ къ заключенію, что

$$\alpha \sin 1'' = \frac{P'}{3R^2},$$

откуда

$$\alpha = \frac{P'}{3R^2 \sin 1''}.$$

Сравнивая эту формулу съ формулой для сферическаго избытка:

$$\varepsilon = \frac{P}{R^2 \sin 1''},$$

находимъ, что въ правой части первой формулы числитель выражаетъ собою площадь P' прямолинейнаго треугольника, тогда какъ во второй формулѣ P — площадь сферическаго треугольника, бока котораго равны бокамъ прямолинейнаго. Такъ какъ эти двѣ площади отличаются одна отъ другой на ничтожную величину, то въ формулѣ (34) можно брать безразлично или P', или P, причемъ эта формула (34) приводитъ къ заключенію, что *разница между углами плоскаго и сферическаго треугольника равняется трети сферическаго избытка.*

Такимъ образомъ, если измѣрена одна изъ сторонъ сферическаго треугольника малаго изгиба, напримѣръ a, измѣрены всѣ углы, т. е. A, B и C, то двѣ другія стороны вычисляютъ по формуламъ прямолинейной тригонометріи, причемъ измѣренные углы уменьшаютъ на $\frac{1}{3}$ сферическаго избытка, отчего формулы для искомыхъ сторонъ получаютъ слѣдующій видъ:

$$b = \frac{a \sin\left(B - \frac{\varepsilon}{3}\right)}{\sin\left(A - \frac{\varepsilon}{3}\right)}, \qquad c = \frac{a \sin\left(C - \frac{\varepsilon}{3}\right)}{\sin\left(A - \frac{\varepsilon}{3}\right)},$$

или

$$b = a\ sin\left(B - \frac{\varepsilon}{3}\right) cosec\left(A - \frac{\varepsilon}{3}\right);$$

$$c = a\ sin\left(C - \frac{\varepsilon}{3}\right) cosec\left(A - \frac{\varepsilon}{3}\right).$$

Когда въ треугольникѣ малаго изгиба даны величины a, b и c и уголъ C, а требуется найти углы A и B, то вычисленіе этихъ послѣднихъ совершается также по формуламъ прямолинейной тригонометріи, и *порядокъ вычисленія будетъ такой*. Сначала по формулѣ:

$$sin\ \frac{\varepsilon}{2} = sin\ C \frac{sin\ \frac{a}{2}\ sin\ \frac{b}{2}}{cos\ \frac{c}{2}}$$

вычисляютъ ε, затѣмъ изъ выраженія $A + B + C - 180° = \varepsilon$ получаютъ полусумму двухъ искомыхъ угловъ:

$$\frac{A+B}{2} = 90° - \left(\frac{C}{2} - \frac{\varepsilon}{2}\right);$$

а полуразность тѣхъ же угловъ находятъ по формулѣ прямолинейной тригонометріи:

$$tang\ \frac{A-B}{2} = \frac{a-b}{a+b}\ cotang\ \frac{C-\varepsilon}{2}.$$

Итакъ, вычисливъ полусумму угловъ, затѣмъ ихъ полуразность, по найденнымъ величинамъ опредѣляютъ A и B.

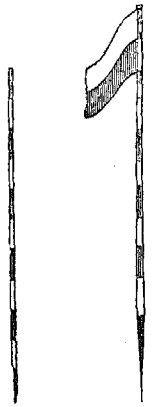
Глава VI.

О ПРОВѢШИВАНІИ ЛИНІЙ.

66. Что значитъ провѣшить линію. Прежде чѣмъ измѣрить какую либо линію на земной поверхности, надо первоначально обозначить ее, т. е. отмѣтить какими либо знаками точки, опредѣляющія ея направленіе на земной поверхности. Обозначеніе на мѣстности точекъ, лежащихъ на прямой линіи, называется *провѣшиваніемъ*, или *вѣшеніемъ линіи*, и состоитъ въ постановкѣ ряда вѣхъ въ одной отвѣсной плоскости, проходящей черезъ назначаемую линію.

Вѣхою называется прямая палка, съ одного конца заостренная, отъ 1 до 2 саж. вышиною и отъ 1-го до $1^1/_4$ вершка въ діаметрѣ. Заостренный конецъ вѣхи оковываютъ, а къ другому привязываютъ флагъ, самую же вѣшку окрашиваютъ или одной бѣлою краской, или поперемѣнно въ бѣлую и черную, или въ бѣлую и красную (черт. 74 и 75).

Разстояніе между точками, въ которыхъ ставятся вѣхи, должно быть таково, чтобы изъ каждаго промежуточнаго мѣста между ними можно было ясно видѣть, въ каждую сторону, по крайней мѣрѣ, двѣ вѣхи.



Черт. 74. Черт. 75.

Вѣшеніе линій должно производиться со всевозможною тщательностью, и хотя пріемы вѣшенія линій весьма просты, но все таки иногда, въ особенности же при вѣшеніи длинныхъ линій, можно сойти въ сторону отъ обозначаемой прямой, или, какъ говорятъ, *свѣшиться*. Конечно, нужно стремиться къ устраненію возможности свѣшиванія, а для этого необходимо заботиться о томъ, чтобы вѣхи были ровныя, прямыя и одинаковой толщины, чтобы ставились онѣ всегда въ вертикальномъ положеніи и настолько плотно втыкались въ землю, чтобы вѣтеръ не могъ отклонить ихъ въ сторону; для этого онѣ должны быть снизу хорошо заострены, а еще лучше, какъ сказано, — окованы, что облегчаетъ вбиваніе вѣхи въ землю. Для болѣе точнаго вѣшенія длинныхъ линій, полезно употреблять хорошій бинокль, а для того чтобы ставить вѣшки отвѣсно—достаточно пользоваться ватерпасомъ самого простого устройства.

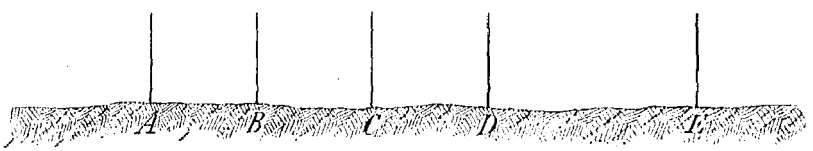
Онъ состоитъ изъ куска доски вершковъ 7 длины, 4-хъ—ширины и 1 вершка толщины; по длиннымъ сторонамъ онъ полукругло выстроганъ, и по всей толщинѣ доски въ немъ выдолблены два отверстія; по серединѣ доски сдѣланъ небольшой желобокъ параллельно длиннымъ краямъ ватерпаса, въ одномъ концѣ желобка доска пробуравлена, и въ скважину проходитъ тонкая бичевка съ узломъ на одномъ концѣ и небольшой тяжестью на другомъ. Когда вѣха вбита въ землю, тогда, чтобы поставить ее отвѣсно, продѣваютъ руку въ одно изъ отверстій ватерпаса, обхватываютъ ею вѣшку и наклоняютъ по-

слѣднюю въ ту или другую сторону до тѣхъ поръ, пока нить отвѣса не займетъ положенія желобка, когда же это будетъ достигнуто, тогда вѣха будетъ въ отвѣсной плоскости.

При вѣшеніи линій, вообще говоря, можетъ быть два рода задачъ: 1) *по двумъ поставленнымъ вѣхамъ продолжить линію* и 2) *между двумя поставленными вѣхами провѣшить линію*.

При рѣшеніи первой задачи можетъ быть нѣсколько случаевъ, изложенныхъ въ слѣдующихъ 4-хъ параграфахъ.

67. Вѣшеніе линіи на ровной мѣстности. Чтобы продолжить линію, опредѣляемую точками A и B, поступаютъ такимъ образомъ: оставивъ въ точкахъ A и B (черт. 76) по вѣхѣ, по возможности, вертикально и отойдя на нѣсколько десятковъ шаговъ по направле-



Черт. 76.

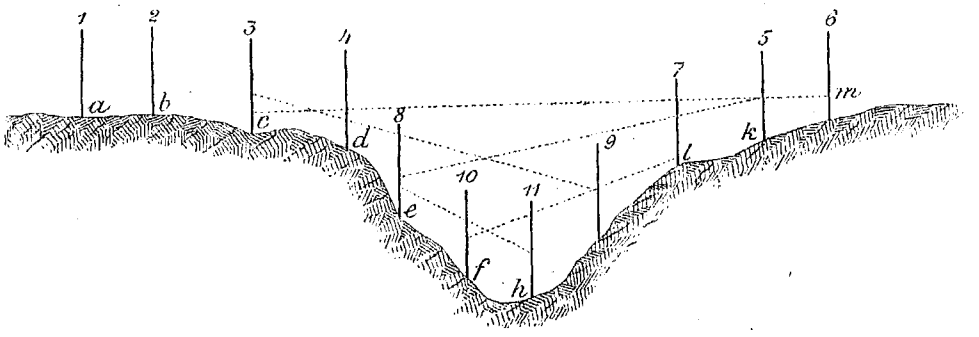
нію линіи AB, избираютъ такую точку C, чтобы, при взглядѣ изъ нея, видно было, что вѣха B закрыла вѣху A. Въ найденной такимъ образомъ точкѣ устанавливаютъ вѣху, по возможности, отвѣсно. Такъ же поступаютъ и далѣе, находя точки D и E.

Само собою разумѣется, что окончательную установку вѣхи производятъ не сразу, а послѣ малыхъ перестановокъ ея вправо и влѣво отъ точки, выбранной въ 1-й разъ.

68. Вѣшеніе линіи чрезъ оврагъ. При вѣшеніи линіи черезъ оврагъ, имѣющій значительную глубину и ширину, употребляютъ слѣдующій пріемъ.

Положимъ, что уже поставлено четыре вѣхи: 1, 2, 3 и 4. Если въ точкѣ e нельзя поставить вѣху по вѣхамъ третьей и четвертой (черт. 77) вслѣдствіе того, что вѣха въ c закрыта скатомъ, то переходятъ на другую сторону оврага и становятся на такой высотѣ, чтобы по поставленнымъ уже вѣхамъ можно было продолжать провѣшиваніе линіи. Установивъ вѣхи въ точкахъ k и m, ставятъ по нимъ вѣху наприм. въ l; потомъ переходятъ по первую сторону оврага и по

вѣхамъ l и k ставятъ вѣху въ e; затѣмъ по вѣхамъ восьмой и четвертой ставятъ девятую, а по девятой и седьмой десятую въ точкѣ f и,

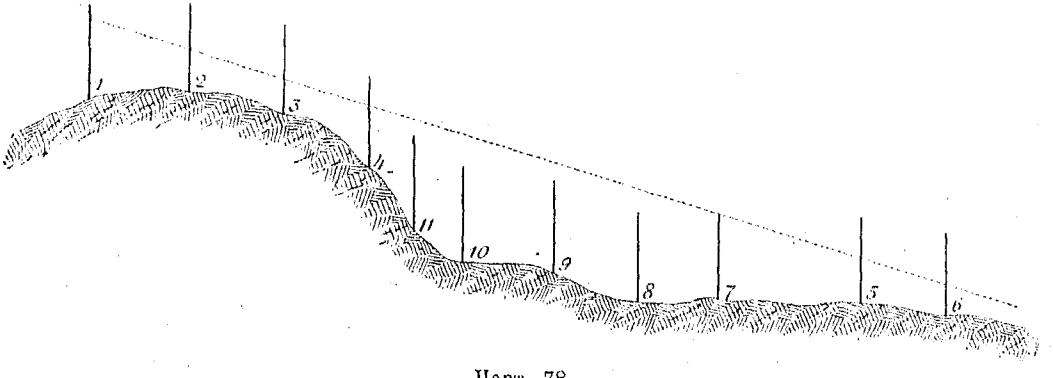


Черт. 77.

наконецъ, въ точкѣ h одиннадцатую вѣху по вѣхамъ, поставленнымъ въ точкахъ f и e.

Отъ мѣстности и отъ глаза съемщика зависитъ, сколько разъ придется употребить подобный пріемъ.

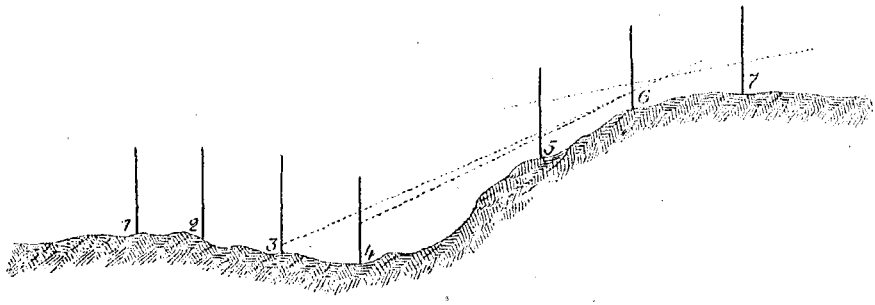
69. Вѣшеніе линіи, переходящей изъ возвышенной мѣстности въ низменную или обратно изъ низменной мѣстности въ возвышенную. При переходѣ провѣшиваемой линіи изъ возвышенности



Черт. 78.

въ низменность (черт. 78), напр. въ точкѣ 11-й, нельзя поставить вѣху по 4-й и 3-й вѣхѣ. Поэтому ставятъ вѣхи въ томъ порядкѣ, въ какомъ на чертежѣ надписаны цифры, такъ какъ изъ точекъ пятой и шестой видны вѣхи четвертая, третья и вторая, тогда какъ изъ одиннадцатой, быть можетъ, нельзя видѣть даже и верхушку третьей вѣхи.

При переходѣ провѣшиваемой линіи изъ низменности въ возвышенность, выбираютъ на горѣ такую точку, чтобы, при взглядѣ съ



Черт. 79.

нея на верхушку четвертой вѣхи (черт. 79), не была бы видна подошва третьей вѣхи, затѣмъ ставятъ вѣхи шестую, седьмую и т. д.

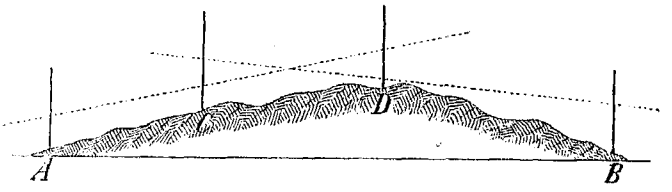
70. Продолженіе вѣшенія линіи, проходящей черезъ лѣсъ. Если надо продолжить линію черезъ лѣсъ или кустарникъ, то дѣлаютъ по направленію провѣшиваемой линіи *просѣку*, т. е. прорубаютъ кустарникъ, сучья, а иногда срубаютъ и цѣлыя деревья. Просѣки дѣлаются шириною не болѣе полусажени. Когда же просѣка вмѣстѣ съ тѣмъ служитъ и межою между двумя владѣніями, или служитъ для разбивки квадратовъ лѣсныхъ дачъ, то ширину ея доводятъ даже до 3-хъ саженъ. Для дорогъ дѣлаютъ еще болѣе широкія просѣки.

71. Вѣшеніе линіи между двумя поставленными вѣхами. Весьма часто приходится также провѣшивать линію между двумя какими нибудь точками, и если при этомъ изъ одной точки A видна другая E, то между данными точками избираютъ промежуточную B такимъ образомъ, чтобы стоящій въ A видѣлъ, что вѣха B заслоняетъ вѣху E; затѣмъ ставятъ, подобнымъ же образомъ, вѣху въ C между точками E и B, и т. д.

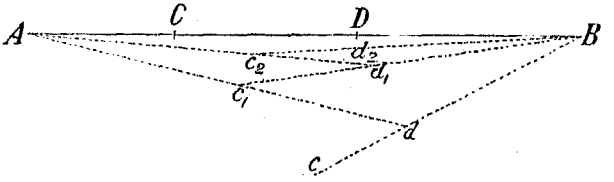
Для вѣшенія линіи между двумя точками употребляютъ также особый инструментъ, называемый *двупризменнымъ экеромъ*, описанный въ главѣ объ отражательныхъ инструментахъ.

Если изъ точки A не видна точка B (черт. 80), напр. вслѣдствіе того, что между ними находится возвышенность, или обѣ данныя точки недоступны, тогда провѣшивающій линію становится съ

вѣхой въ точкѣ c (черт. 81), изъ которой видны A и B, и посылаетъ помощника съ вѣхою по направленію линіи cB въ точку d, изъ коей видна была бы точка A. Послѣ этого съемщикъ перехо-

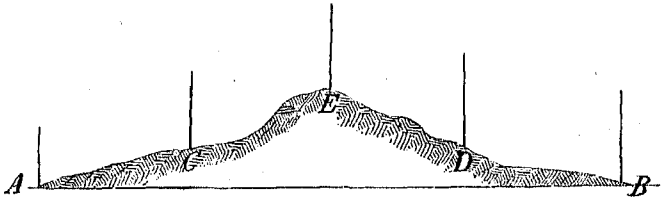


Черт. 80.

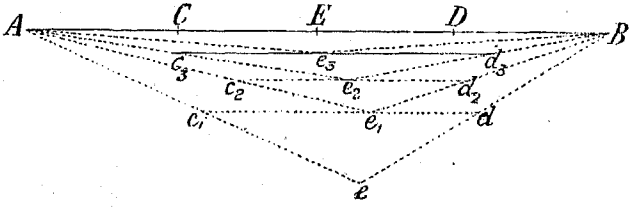


Черт. 81.

на линію dA, выбираетъ для вѣхи точку c_1, изъ которой видна точка B, и переводитъ помощника на линію c_1B, напр. въ d_1; потомъ съемщикъ переноситъ вѣху изъ c_1 въ c_2, а его помощникъ



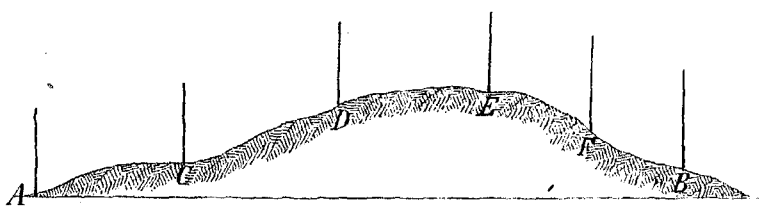
Черт. 82.



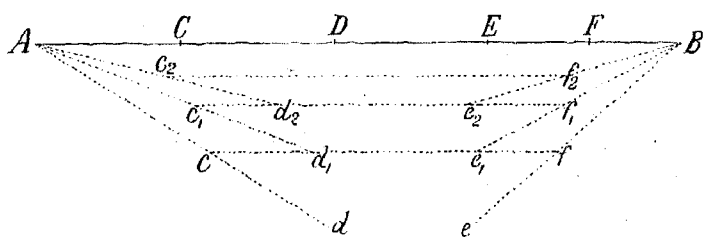
Черт. 83.

изъ d_1 въ d_2 и т. д., до тѣхъ поръ, пока не найдутся такія точки C и D, съ которыхъ съемщикъ, смотря напр. изъ C, увидитъ, что вѣха D закрываетъ вѣху B, а смотря изъ D, увидитъ, что вѣха C закрываетъ вѣху A.

Можетъ случиться, что мѣстность не позволитъ найти точку c, изъ которой была бы видна вѣха, стоящая въ точкѣ B, и точку d, изъ которой можно было бы видѣть вѣху A. Тогда для провѣшиванія линіи поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Отыскиваютъ такую точку e (черт. 82 и 83), изъ которой были бы видны обѣ поставленныя вѣхи. Ставъ въ этой точкѣ, провѣшивающій посылаетъ помощника или рабочаго поставить одну вѣху по направленію линіи eA, напр. въ точку c_1, а другую по направленію линіи eB въ точку d_1 такъ, чтобы вѣха, стоящая въ точкѣ c_1, покрывала бы вѣху, стоя-



Черт. 84.



Черт. 85.

щую въ точкѣ A, а вѣха въ d_1 покрывала бы вѣху B. Затѣмъ, на прямой линіи, между вѣхами c_1 и d_1, ставятъ вѣху въ точкѣ e_1, выбранной такимъ образомъ, чтобы изъ нея были видны вѣхи A и B. Изъ e_1 дѣйствуютъ такъ же, какъ и изъ e, и т. д., до тѣхъ поръ, пока не найдутся такія точки C, D и E, что стоящій въ E увидитъ вѣху D заслоняющею вѣху B, а вѣху C заслоняющею вѣху A. Тогда линія будетъ провѣшена.

Когда между данными точками A и B нельзя найти такую промежуточную точку, изъ которой были бы видны обѣ вѣхи, поставленныя въ точкахъ A и B, то выбираютъ точку d, изъ которой была бы видна точка A, и точку c, изъ которой была бы видна точка B (черт. 84 и 85). Затѣмъ, стоящій въ d посылаетъ помощника

поставить вѣху по направленію линіи dA въ точку c, а перейдя изъ d въ e, посылаетъ его поставить вѣху по направленію eB въ точку f. Потомъ, перейдя самъ въ f, заставляетъ помощника найти, по направленію линіи fc, такую точку d_1, изъ которой была бы видна вѣха A, и на линіи fd точку e_1, изъ которой была бы видна вѣха B. Такимъ же образомъ отыскиваются точки f_2, c_2, d_2, c_1 и т. д. до тѣхъ поръ, пока не найдутся такія точки D, E, C и F, чтобы стоящій въ F видѣлъ, что вѣхи E и D заслоняютъ вѣху C, а вѣхи D и E заслоняютъ вѣху F. Тогда линія будетъ провѣшена.

Глава VII.

ИЗМѢРЕНІЕ ЛИНІЙ И ИНСТРУМЕНТЫ, СЛУЖАЩІЕ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННАГО ИЗМѢРЕНІЯ ЛИНІЙ.

72. Общее понятіе о непосредственномъ измѣреніи линій. Мы видѣли уже, что ближайшая цѣль геодезіи заключается въ изложеніи способовъ: 1) измѣренія или опредѣленія разстояній между точками или линіями и 2) измѣренія или опредѣленія взаимнаго положенія этихъ линій или угловъ между ними. Поэтому, геодезическіе инструменты раздѣляются на два рода: 1) инструменты для измѣренія линій и 2) инструменты для измѣренія угловъ, или, какъ ихъ называютъ, угломѣрные инструменты.

Когда линія провѣшена, то ее измѣряютъ. Длина линіи на мѣстѣ можетъ быть найдена: 1) *непосредственнымъ измѣреніемъ, т. е. сравненіемъ линіи мѣстности съ опредѣленною единицею мѣры, саженью, напр. лентою, длиною въ 10 саж. и т. п.* или 2) *помощью геометрическихъ построеній или вычисленій.*

73. Мѣрная цѣпь. Непосредственное измѣреніе линій большею частью производится посредствомъ *мѣрной цѣпи* (черт. 86), состоя-



Черт. 86.

щей изъ желѣзныхъ звеньевъ, соединенныхъ кольцами (черт. 86 и 87), или четыреугольниками (черт. 88). Разстояніе между двумя послѣдовательными центрами колецъ или четыреугольниковъ дѣлаютъ

равнымъ 0,1 сажени или одному футу. Десять или семь такихъ звеньевъ составляютъ сажень. Если звенья цѣпи соединены коль-

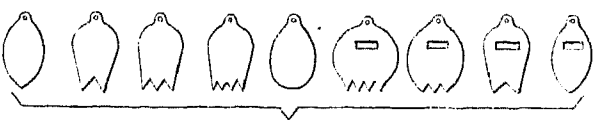


Черт. 87.



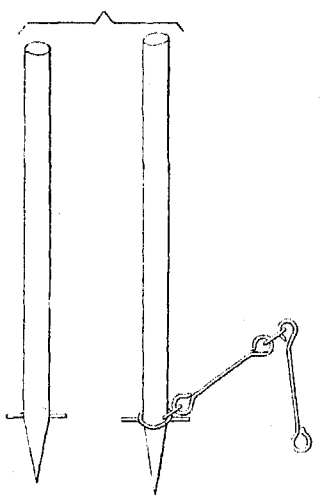
Черт. 88.

цами, то каждую сажень отмѣчаютъ мѣдною бляхою со столькими зубцами, сколько саженъ отъ ближайшаго конца цѣпи, средняя же

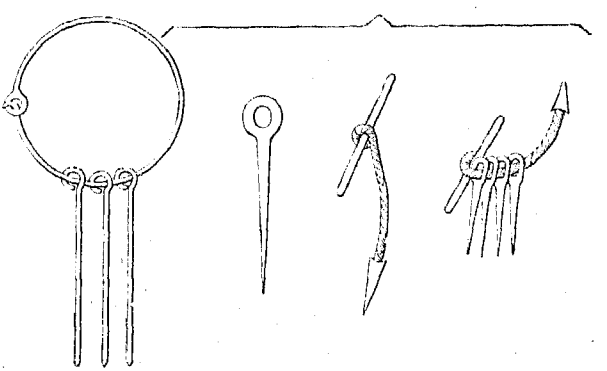


Черт. 89.

бляха имѣетъ круглую форму безъ зубцовъ (черт. 89), или же эти бляхи всѣ имѣютъ одинаковую форму, и тогда на каждой изъ нихъ ставятъ цифры по порядку отъ 1 до 9. Если звенья соединены че-



Черт. 90.



Черт. 91.

тыреугольниками (черт. 88), то цифры, соотвѣтствующія числу саженъ, ставятъ на этихъ четыреугольникахъ. Длина всей цѣпи 10 саж. Крайнія кольца имѣютъ большій діаметръ и служатъ для перетаскиванія цѣпи помощью *цѣпныхъ кольевъ* (черт. 90). Звенья, приле-

гающія къ крайнимъ кольцамъ, менѣе остальныхъ. Кромѣ двухъ цѣпныхъ кольевъ, принадлежность цѣпи составляютъ десять или пять цѣпныхъ колышковъ, или *шпилекъ* (черт. 91), служащихъ для обозначенія цѣлыхъ цѣпей, отложенныхъ на землѣ. Шпильки нанизываютъ или на кольцо, или на веревку съ перекладиной. Послѣдній способъ проще и удобнѣе.

74. Измѣреніе линій на землѣ цѣпью. Измѣреніе линій цѣпью производится слѣдующимъ образомъ: надѣвши крайнія большія кольца на цѣпные колья, два человѣка берутъ каждый по цѣпному колу и вытягиваютъ цѣпь по измѣряемой линіи, предварительно провѣшенной, наблюдая, чтобы звенья не были запутаны. Передній беретъ въ одну руку 6 шпилекъ. Задній рабочій втыкаетъ свой цѣпной колъ въ ту точку, откуда начинается измѣреніе, а второй, или передній, вытянувъ цѣпь по данному направленію, ставитъ свой колъ какъ можно отвѣснѣе и, придерживая его рукою, отступаетъ на $^1/_2$ шага въ сторону, что позволяетъ первому повѣрить — находится ли поставленный колъ по направленію провѣшенной для измѣренія линіи. Убѣдившись, что передній колъ находится на провѣшенной линіи, первый рабочій даетъ соотвѣтственный сигналъ, а передній осторожно встряхиваетъ цѣпь и, вытянувъ ее, ставитъ шпильку на мѣсто цѣпного кола и вытягиваетъ цѣпь впередъ; первый рабочій, дойдя до воткнутой шпильки, останавливаетъ переднаго и, не вынимая шпильки, ставитъ около ея свой цѣпной колъ. Когда передній рабочій выравняетъ цѣпь, воткнетъ около цѣпного кола 2-ую шпильку, и дастъ сигналъ заднему рабочему идти впередъ, тогда только этотъ послѣдній вынимаетъ изъ земли шпильку, стоявшую около его цѣпного кола. Такимъ же образомъ продолжаютъ дѣйствовать и далѣе, а число шпилекъ, собранныхъ заднимъ рабочимъ, покажетъ, сколько легло цѣпей по измѣряемой линіи. Когда задній рабочій соберетъ 5 шпилекъ, т. е. когда будетъ измѣрено 50 саженъ, то онъ передаетъ переднему рабочему шпильки, а этотъ послѣдній, поставивъ вмѣсто цѣпного кола шестую шпильку, продолжаетъ измѣреніе далѣе.

Когда одинъ конецъ цѣпи поднятъ, то вся цѣпь образуетъ собою кривую линію, хорда которой отличается отъ дуги на очень малую величину. Поэтому при измѣреніи цѣпью этою малою разницею пренебрегаютъ.

75. Повѣрка длины цѣпи и измѣреніе линіи невѣрной цѣпью. При измѣреніи цѣпью могутъ получиться невѣрные результаты, во первыхъ, вслѣдствіе небрежнаго измѣренія, т. е. когда цѣпь не встряхивалась, и измѣреніе, слѣдовательно, было произведено съ запутанными звеньями, и во вторыхъ, когда цѣпь невѣрна. Въ первомъ случаѣ тою же цѣпью нужно сдѣлать снова болѣе тщательное измѣреніе; во второмъ слѣдуетъ вывѣрить цѣпь.

Для повѣрки цѣпи употребляется деревянный брусъ (черт. 92), длиною въ одну сажень. Обыкновенно на ровномъ, гладкомъ мѣстѣ вбиваютъ въ землю колышекъ (на чертежѣ онъ означенъ буквою *a*), немного меньшаго діаметра, чѣмъ крайнее кольцо цѣпи. Надѣвъ кольцо



Черт. 92.

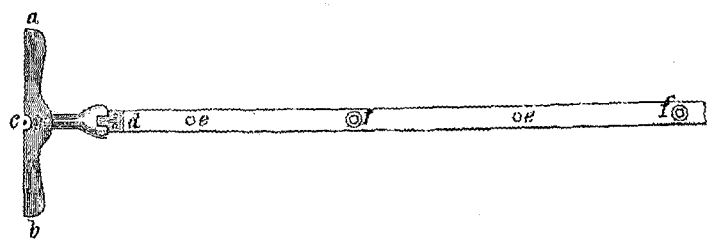
цѣпи на колышекъ *a*, натягиваютъ ее и прикладываютъ приготовленный и заранѣе вывѣренный брусъ, длиною въ одну сажень, къ центру прикрѣпленнаго большого кольца цѣпи, и если первая сажень отмѣчена на цѣпи вѣрно, то другой конецъ бруска долженъ прійтись какъ разъ противъ мѣдной бляхи, означающей 1-ю сажень цѣпи; потомъ, прикладываютъ конецъ бруса къ центру кольца, къ которому привѣшена первая бляха, и если другой конецъ бруса совпадаетъ со второю бляхою, то значитъ и вторая сажень вѣрна, и т. д. Такимъ образомъ находятъ, какая сажень цѣпи невѣрна, а исправляютъ цѣпь тѣмъ, что одно изъ звеньевъ ея замѣняютъ большимъ или меньшимъ звеномъ, смотря по тому, надо ли цѣпь увеличить, или уменьшить.

Повѣривъ такимъ образомъ цѣпь, узнаютъ, на сколько она больше или меньше 10 саж., и эту разницу, помноженную на число положенныхъ цѣпей, вычитаютъ или прибавляютъ къ результату прежняго измѣренія; такъ, напримѣръ: цѣпь оказалась послѣ повѣрки больше 10 саж. на 1 футъ, при измѣреніи же линіи она улеглась въ ней 21 разъ; слѣдовательно, въ измѣренной линіи было отложено 210 саженъ и еще 21 футъ, а потому длина измѣренной линіи равна 213 саженямъ. Точно также, если послѣ повѣрки цѣпь ока-

залась меньше на 17 сотыхъ сажени, а при измѣреніи линіи эта цѣпь улеглась въ ней 10 разъ, то длина линіи не 100 саж., а меньше на 1,7 саж., т. е. 98,3 саж.

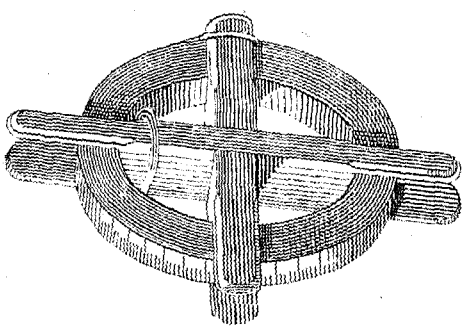
Среднюю точность измѣренія цѣпью принимаютъ равной $^1/_{500}$, т. е. при измѣреніи длины въ одну версту можно намѣрить или 499, или 501.

76. Стальная 10-ти саженная лента. Въ послѣднее время стали входить въ большое употребленіе ленточныя десятисаженныя цѣпи



Черт. 93.

(черт. 93). Устройство ихъ такое. Къ рукояткѣ *acb* придѣланъ шарниръ *d*, а къ нему лента, на которой чрезъ каждыя 0,05 сажени сдѣланы маленькія отверстія *e* и *f*. Рукоятка по направленію *ab* имѣетъ жолобокъ такихъ же размѣровъ, какъ жолобокъ *c*. Къ тому или другому изъ жолобковъ прикладываютъ шпильку, удерживая рукоятку ленты и шпильку одною рукою. Иногда вмѣсто такой рукоятки къ концамъ ленты придѣлываютъ кольца такія же, какъ у цѣпи. И тогда при измѣреніи линіи пользуются



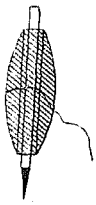
Черт. 94.

также цѣпными колами. Удобство ленты это — легкость и меньшая измѣняемость ея длины. Неудобство — недолговѣчность, она скоро ржавѣетъ и, конечно, ломается въ проржавѣвшихъ мѣстахъ. При переноскѣ ленту навиваютъ на деревянный или желѣзный крестъ (черт. 94). Ленту съ удобствомъ можно употреблять для повѣрки колѣнчатой цѣпи.

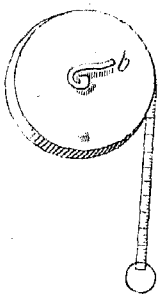
77. Мѣрный шнуръ. Кромѣ цѣпи и ленты, для измѣренія длины можно употреблять *шнуръ*, сдѣланный изъ тонкой просмоленной пеньковой веревки. Шнуръ наматываютъ на катушку (черт. 95), вра-

щающуюся на стержнѣ, втыкаемомъ обыкновенно въ землю. Длина такого шнура бываетъ отъ 10 до 100 саженъ. Сажени на немъ означаются кусками кожи или узлами, сдѣланными изъ болѣе тонкой веревки. Шнуръ употребляется при измѣреніи разстояній, не требующихъ большой точности.

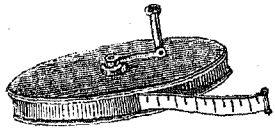
78. Мѣрная тесьма, или рулетка. При архитектурныхъ и инженерныхъ работахъ весьма часто употребляютъ еще *тесьму*, или *рулетку* (черт. 96 и 97). Она дѣлается обыкновенно изъ ленты, сотканной изъ крученыхъ льняныхъ нитокъ; длина ея равна 10 саж., ширина около полдюйма; она вываривается въ маслѣ и потомъ покрывается лакомъ для предохраненія отъ сырости, т. е. для того, чтобы она не вытягивалась и не укорачивалась. Съ одной стороны ленту дѣ-



Черт. 95.



Черт. 96.



Черт. 97.

лятъ на сажени, футы и дюймы, а съ другой—на сажени, аршины и вершки или на сажени, десятыя и сотыя части сажени. Тесьма помѣщается обыкновенно въ кожаномъ кругломъ футлярѣ, одинъ конецъ ея прикрѣпляется къ желѣзной или мѣдной оси, находящейся въ центрѣ кожанаго футляра, а другой снабжается кольцомъ. Помощью рукоятки *b* (черт. 96) лента можетъ свободно наматываться на втулку и входить внутрь кожанаго футляра. Подобная рулетка также съ удобствомъ можетъ служить для повѣрки колѣнчатой цѣпи.

Кромѣ непосредственнаго измѣренія линій опредѣленіе величины ихъ достигается путемъ математическихъ вычисленій или графическихъ построеній на основаніи данныхъ линій или угловъ и линій, измѣренныхъ непосредственно. Объ этомъ мы будемъ говорить послѣ описанія угломѣрныхъ инструментовъ.

Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда нѣтъ надобности въ большой точности, а требуется лишь болѣе скорое исполненіе работы, разстоянія

измѣряютъ съ меньшею точностью, а именно: *шагами*, *глазомѣромъ*, а также *по времени*.

79. Измѣреніе разстояній шагами. Шагъ человѣка средняго роста считается равнымъ одному аршину, при ровной и неторопливой ходьбѣ. Но, тѣмъ не менѣе, каждый съемщикъ долженъ опредѣлить длину пары своихъ шаговъ, проходя нѣсколько разъ по какой либо линіи, заранѣе измѣренной лентою или цѣпью. Надо опредѣлить непремѣнно длину пары шаговъ, а не одного шага, потому что у большинства людей шаги лѣвой и правой ноги различны. Опредѣливъ величину своего шага, слѣдуетъ сдѣлать масштабъ шаговъ, т. е. на масштабѣ съемки написать, кромѣ цифръ, выражающихъ сажени, цифры шаговъ, соотвѣтствующія саженямъ. Измѣряя линію шагами, счетъ ихъ надо вести подъ одну ногу. Если изъ конца линіи, измѣренной шагами, приходится возвратиться опять въ ея начало, то полезно, идя обратно по той же линіи, измѣрять ее вновь шагами и взять среднее ариѳметическое двухъ измѣреній.

Для измѣренія разстояній шагами употребляютъ, кромѣ того, шагомѣры, — инструменты, имѣющіе видъ карманныхъ часовъ, привѣшиваемыхъ къ жилету или верхнему платью. Механизмъ шагомѣровъ устроенъ такимъ образомъ, что при ходьбѣ большая стрѣлка шагомѣра отъ сотрясенія балансира шагомѣра передвигается на одно дѣленіе большого циферблата при каждомъ новомъ шагѣ. На большомъ циферблатѣ, чрезъ каждыя три дѣленія, поставлена болѣе длинная черта, соотвѣтствующая тремъ шагамъ, или саженп, а на каждыхъ пяти большихъ дѣленіяхъ поставлены цифры, идущія отъ нуля до 50. На большомъ циферблатѣ шагомѣра имѣются два малыхъ циферблата со стрѣлками. На одномъ изъ нихъ, напр., наносится десять дѣленій съ цифрами 50, 100 и т. д. до 500. Когда большая стрѣлка большого циферблата сдѣлаетъ полный оборотъ, т. е. когда съемщикъ пройдетъ 50 саженъ, тогда стрѣлка малаго циферблата повернется на одно дѣленіе; когда же стрѣлка большого циферблата сдѣлаетъ 10 оборотовъ, стрѣлка малаго сдѣлаетъ полный оборотъ и, слѣдовательно, укажетъ, что съемщикъ прошелъ одну версту; на второмъ маленькомъ циферблатѣ сдѣлано, напр. 25 дѣленій, и цифры поставлены чрезъ каждыя 5 дѣленій. Когда стрѣлка перваго малаго циферблата сдѣлаетъ полный оборотъ, тогда стрѣлка второго маленькаго циферблата повернется на одно дѣленіе. Такимъ образомъ, стрѣлка этого циферблата указываетъ на пройденныя версты.

Прежде чѣмъ измѣрять разстояніе шагомѣромъ, его слѣдуетъ вывѣрить, т. е. сравнить его показанія съ дѣйствительнымъ числомъ шаговъ, сдѣланныхъ съемщикомъ и сосчитанныхъ имъ непосредственно.

Неудобство шагомѣровъ заключается въ ихъ частой порчѣ и трудности исправленія ихъ самимъ съемщикомъ.

80. Опредѣленіе разстояній глазомѣромъ. Для приблизительнаго опредѣленія разстояній самый лучшій способъ, по своей скорости, это—глазомѣръ. Лица, занимающіяся съемками, вырабатываютъ въ себѣ навыкъ опредѣлять разстоянія глазомѣромъ, и притомъ довольно близко къ дѣйствительности. Но чтобы выработать эту способность по возможности вѣрно опредѣлять разстоянія глазомѣромъ, сначала надо опредѣлять на глазъ какія либо разстоянія, затѣмъ измѣрять ихъ шагами, и путемъ сравненія разстояній, измѣренныхъ глазомѣрно и шагами, пріучать себя къ вѣрнымъ опредѣленіямъ глазомѣрно. Когда пріобрѣтется навыкъ въ такого рода измѣреніяхъ, надо опредѣлять глазомѣромъ разстоянія между предметами, нанесенными на картѣ или планѣ, и затѣмъ сравнивать измѣренія глазомѣрныя съ разстояніями, взятыми по картѣ. Послѣ такого рода упражненій, глазъ скоро привыкаетъ опредѣлять разстоянія довольно близко къ дѣйствительности.

81. Опредѣленіе разстояній по времени. При военно-глазомѣрныхъ съемкахъ разстоянія опредѣляютъ по времени, какое употребляетъ лошадь на пробѣгъ того или другого разстоянія. Для возможности измѣренія такимъ образомъ разстояній, съемщикъ долженъ испытать сначала, въ какое время его лошадь проходитъ разстояніе, напр. 2 версты, шагомъ и рысью. Если бы оказалось, что лошадь проходитъ двѣ версты шагомъ въ 24 минуты, а рысью въ 10 минутъ, то надо составить два масштаба для двухъ аллюровъ лошади, шагомъ и рысью. Для этого откладываются, въ масштабѣ съемки, двѣ версты, т. е. если взять для съемки масштабъ 250 саж. въ дюймѣ, то откладываются двѣ линіи, каждая по 4 дюйма, и одна изъ нихъ дѣлится на 20, а другая на 48 частей; на каждой изъ этихъ двухъ линій противъ сдѣланныхъ дѣленій ставятся два ряда надписей, однѣ—выражающія полуминуты, другія—число саженъ.

Такими масштабами разстоянія опредѣляются по числу полуминутъ, употребленныхъ лошадью для пробѣга того или другого разстоянія.

Способъ опредѣленія разстояній по времени съ большимъ успѣхомъ употребляется военными при быстрыхъ съемкахъ съ тактическими цѣлями и можетъ быть рекомендованъ также для рекогносцировокъ при желѣзнодорожныхъ изысканіяхъ.

Глава VIII.

ГЛАВНЫЯ СОСТАВНЫЯ ЧАСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХЪ ИНСТРУМЕНТОВЪ, СЛУЖАЩИХЪ ДЛЯ ИЗМѢРЕНІЯ УГЛОВЪ.

82. Общее понятіе объ угломѣрномъ геодезическомъ инструментѣ. Устройство всѣхъ угломѣрныхъ инструментовъ имѣетъ въ основаніи своемъ извѣстную теорему геометріи: уголъ, вершина котораго находится въ центрѣ окружности, измѣряется дугою, заключенною между его сторонами.

Всякій, знающій начала геометріи, умѣетъ производить измѣреніе угловъ на бумагѣ транспортиромъ. Подобнымъ же образомъ производятся измѣренія угловъ на земной поверхности, только полукругъ или цѣлый кругъ, раздѣленный на градусы, употребляемый въ этомъ случаѣ и называемый *лимбомъ*, прикрѣпляется къ небольшому столику, съ тремя раздвигающимися ножками, имѣющими длину около 0,65 сажени. Этотъ столикъ, съ ножками, обыкновенно называется *треножникомъ*.

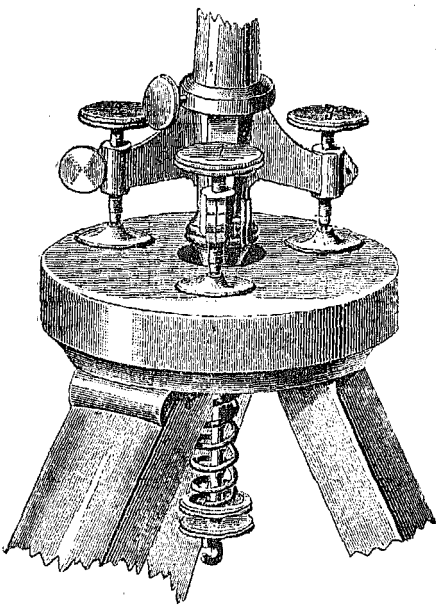
Устройства различныхъ треножниковъ имѣютъ очень малыя другъ отъ друга отличія. На черт. 98-омъ и 99-омъ показаны два различныя устройства треножника.

Съ нижней стороны столика привѣшивается отвѣсъ, для какой цѣли въ центрѣ столика придѣлывается маленькій крючекъ; такъ, на черт. 98-мъ показанъ такой крючекъ у винта, называемаго *становымъ*, которымъ угломѣрный инструментъ скрѣпляется со столикомъ.

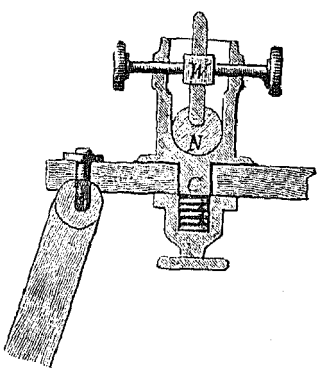
Отъ треножника слѣдуетъ требовать, чтобы онъ былъ устойчивымъ, чтобы послѣ его установки онъ не колебался отъ прикосновенія къ нему, а также и того, чтобы угломѣрный инструментъ не претерпѣвалъ ни малѣйшихъ колебаній. Лучше всего этому требованію удовлетворяютъ треножники, имѣющіе въ верхней своей части столики, и притомъ значительныхъ размѣровъ въ діаметрѣ, до 8 дюймовъ.

Геодезическій инструментъ долженъ быть скрѣпленъ со столикомъ такимъ образомъ, чтобы ось отвѣса проходила черезъ центръ лимба. При измѣреніи угла, инструментъ устанавливаютъ, такимъ образомъ, чтобы отвѣсъ приходился надъ точкою земной поверхности, служащей вершиною измѣряемаго угла.

Угломѣрный инструментъ имѣетъ слѣдующія главныя части: лимбъ, алидаду, ноніусъ, уровень и діоптры или зрительную трубу; болѣе



Черт. 98.



Черт. 99.

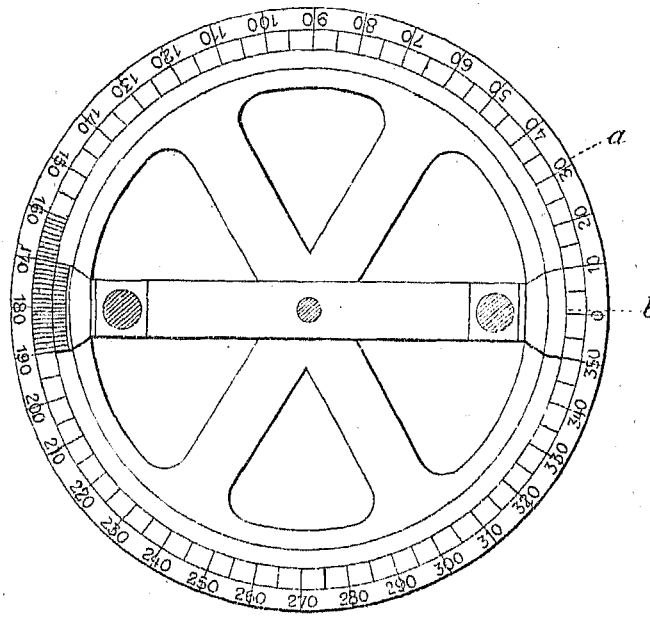
совершенные инструменты имѣютъ также винты: подъемные, повѣрительные, зажимательные и микрометренные.

83. Лимбъ. Лимбомъ называется мѣдный кругъ (черт. 100), въ видѣ цѣльнаго диска, или плоскаго кольца, соединеннаго съ другимъ, меньшимъ кольцомъ, концентрическимъ съ первымъ, посредствомъ нѣсколькихъ пальцевъ, или спицъ, также мѣдныхъ, расположенныхъ по направленію радіусовъ. Къ меньшему кольцу придѣлываются приспособленія, коими кругъ прикрѣпляется къ треножнику. Въ другихъ инструментахъ лимбъ дѣлается изъ цѣльнаго куска мѣди.

На верхней поверхности лимба, вблизи его окружности нарѣзывается кольцо, которое дѣлится обыкновенно на 360 градусовъ, иногда же въ лимбъ вдѣлывается серебряная накладка, раздѣленная,

со всевозможною точностью, на 360 градусовъ, и каждый градусъ— на нѣсколько частей: въ 30, 20 или 10 минутъ. Цифровыя надписи на лимбахъ большею частію ставятся чрезъ десять, рѣже чрезъ пять градусовъ.

84. Алидада. *Алидадою* называется другой кругъ, внѣшнею своею окружностью прилегающій къ дѣленіямъ лимба и двигающійся на оси, расположенной въ центрѣ лимба. На алидадномъ кругѣ назначаются *указатели*, на разстояніи 180°, а иногда и 90°, или *индексы*, въ видѣ черточекъ, отмѣченные цифрою нуль; часто отъ



Черт. 100.

этого нуля алидады въ одну или въ обѣ стороны назначаютъ дѣленія, которыя служатъ для измѣренія дугъ, меньшихъ одного дѣленія лимба. Такое устройство носитъ названіе *нонiуса*.

Алидада — слово арабское и въ переводѣ значитъ — счетчикъ. Вмѣсто цѣлаго алидаднаго круга, въ иныхъ инструментахъ устраиваютъ *алидадную линейку*, дюйма въ $1^1/_2$ ширины, двигающуюся также на оси, проходящей чрезъ центръ лимба. На концахъ этой линейки, обыкновенно уширенныхъ и прилегающихъ къ лимбу, нарѣзываются *нонiусы*, точно такъ же, какъ они нарѣзываются и у индексовъ алидады, сдѣланной изъ цѣльнаго круга.

Къ концамъ алидады привинчиваются діоптры или же къ алидадѣ прикрѣпляется зрительная труба.

85. Ноніусъ. Для измѣренія на лимбѣ частей, меньшихъ одного дѣленія лимба, на обоихъ концахъ алидады или на одномъ, какъ сказано выше, придѣлывается ноніусъ. Это — небольшая пластинка, ограниченная концентрическими дугами. Радіусъ внѣшней дуги ноніуса такой же, какъ и радіусъ окружности лимба. На дугѣ ноніуса откладывается дуга лимба, равная нѣсколькимъ его дѣленіямъ, обыкновенно 11, 29 и 59-ти. Взятая дуга дѣлится на ноніусѣ соотвѣтственно на 12, 30 и 60 частей; слѣдовательно, каждая такая часть менѣе одного дѣленія лимба на $^1/_{12}$, $^1/_{20}$, $^1/_{30}$, $^1/_{40}$ и $^1/_{60}$ одного дѣленія лимба. Такимъ образомъ, если лимбъ раздѣленъ на градусы, а на ноніусѣ взято 11 дѣленій лимба, раздѣленныхъ на 12 частей, то одно дѣленіе ноніуса меньше одного дѣленія лимба на $^1/_{12}$ часть градуса, или на пять минутъ. Если лимбъ раздѣленъ на полуградусы, а на ноніусѣ взято 29 дѣленій лимба, раздѣленныхъ на 30 частей, то одно дѣленіе ноніуса меньше одного дѣленія лимба на $^1/_{30}$ часть полуградуса, т. е. на $^1/_{60}$ часть градуса, или на одну минуту. Если дѣленія лимба равны одному градусу, такихъ дѣленій на ноніусѣ взято 29, и дуга ноніуса въ 29 градусовъ раздѣлена на 30 частей, то разность между однимъ дѣленіемъ лимба и однимъ дѣленіемъ ноніуса равна $^1/_{30}$ одного градуса, или двумъ минутамъ.

Разность между однимъ дѣленіемъ лимба и однимъ дѣленіемъ ноніуса называется *точностью ноніуса*.

86. Общее правило нахожденія точности ноніуса. Вообще, если одно дѣленіе лимба равно a минутамъ, всѣхъ же дѣленій лимба для ноніуса взято $(n-1)$, т. е. взята дуга $a\,(n-1)$ и раздѣлена на n частей, такъ что каждая изъ этихъ частей равна b, то дуга nb, нанесенная на ноніусѣ, должна быть равна дугѣ $a\,(n-1)$, взятой съ лимба, т. е.

$$a\,(n-1) = nb.$$

Откуда найдемъ:

$$na - nb = a,$$

или

$$a - b = \frac{a}{n},$$

т. е. *точность нониуса равна одному дѣленію лимба, дѣленному на число дѣленій нониуса.*

Иногда число дѣленій лимба, отложенныхъ на нониусѣ, дѣлится на немъ не на бо́льшее число дѣленій, а на меньшее; такъ, если берется дуга равная $a\,(n+1)$, т. е. берется $n+1$ дѣленій, и на нониусѣ эта дуга дѣлится на n частей, равныхъ b, тогда:

$$a\,(n+1) = nb.$$

Откуда

$$a = nb - na,$$

или

$$b - a = \frac{a}{n},$$

т. е. и въ этомъ случаѣ разность между однимъ дѣленіемъ нониуса и однимъ дѣленіемъ лимба оказывается также равною одному дѣленію лимба, раздѣленному на число дѣленій нониуса.

Рѣшимъ нѣсколько задачъ. Чему равна точность нониуса, если:

1) Дѣленія лимба равны трети градуса, а на нониусѣ 40 дѣленій?

Отв. 30 секундамъ.

2) Дѣленія лимба равны четверти градуса, а дѣленій на нониусѣ 60?

Отв. 15 секундамъ.

3) Дѣленія лимба равны 10 мин., а дѣленій на нониусѣ 60?

Отв. 10 секундамъ.

4) Дѣленія лимба равны 5 мин., а дѣленій на нониусѣ 60?

Отв. 5 секундамъ.

87. Какъ при помощи нониуса измѣряются части, меньшія одного дѣленія лимба. Пусть лимбъ раздѣленъ на градусы, на нониусѣ же взято 12 дѣленій. Тогда точность нониуса, на основаніи предыдущаго, равна $\frac{60}{12}$, т. е. 5 минутамъ. Если нониусъ расположится относительно лимба такъ, что черта его, означенная цифрою 1, совпадаетъ съ 70-мъ дѣленіемъ, т. е. съ 70-мъ градусомъ лимба, то черта нониуса, отъ которой ведется счетъ, называемая *указателемъ*, или *индексомъ*, и обозначенная нулемъ, не можетъ совпадать съ чертою лимба, означенною цифрою 69, такъ какъ одно

дѣленіе ноніуса менѣе одного дѣленія лимба. Дуга же лимба, отъ черты 69 до нуля ноніуса, будетъ равна разности между дѣленіемъ лимба и дѣленіемъ ноніуса, т. е. точности ноніуса, равной, въ настоящемъ случаѣ, пяти минутамъ. Слѣдовательно, дуга отъ нуля лимба до индекса равна 69 градусамъ и пяти минутамъ (69° 5′).

Такъ какъ 70-я черта лимба можетъ не вполнѣ точно совпадать съ чертою ноніуса, обозначенною цифрою 1, то нельзя утверждать, что прочтенное число показываетъ истинную величину дуги отъ нуля лимба до индекса, но можно только сказать, что прочтенная величина угла опредѣлена *съ точностью до пяти минутъ*. Вотъ почему разность одного дѣленія лимба и ноніуса называется *точностью ноніуса*.

Если тотъ же ноніусъ поставленъ такъ, что черта его, обозначенная цифрою 2, совпадаетъ, положимъ, съ 72-мъ градусомъ лимба, то дуга лимба отъ 70° до индекса равняется *двойной* точности ноніуса, т. е. десяти минутамъ. Такимъ образомъ, дуга лимба отъ его нуля до индекса будетъ равна 70° 10′. Если бы черта ноніуса съ цифрою 3 совпадала съ 73-мъ дѣленіемъ лимба, то мы прочли бы 70° 15′, т. е. къ 70° прибавили бы еще *тройную точность* ноніуса и т. д.

На нѣкоторыхъ дѣленіяхъ ноніуса ставятся цифры. Такъ, на ноніусѣ съ точностью въ 5 минутъ, имѣющемъ 12 дѣленій, ставятся цифры 15, 30, 45 и 60. Каждая такая цифра ставится, слѣдовательно, чрезъ три дѣленія. Каждое дѣленіе ноніуса соотвѣтствуетъ 5 минутамъ, каждыя три дѣленія соотвѣтствуютъ 15 минутамъ. Если съ какимъ нибудь дѣленіемъ лимба окажется совпадающею черта съ цифрою, то цифра эта выражаетъ число минутъ, заключенныхъ въ части дѣленія лимба отъ нуля ноніуса до ближайшаго къ нему меньшаго дѣленія лимба.

Если окажется совпадающею съ дѣленіемъ лимба, напримѣръ, 1-я черта за дѣленіемъ съ надписью 30, то отъ меньшаго дѣленія лимба до нуля ноніуса будетъ 35 минутъ и т. д.

На ноніусѣ, съ точностью въ 2 минуты, имѣющемъ 30 дѣленій, ставятся цифры 0, 20, 40 и 60, чрезъ каждыя 10 дѣленій. Каждое дѣленіе ноніуса соотвѣтствуетъ двумъ минутамъ, каждыя десять дѣленій соотвѣтствуютъ двадцати минутамъ. Если, при такомъ ноніусѣ, черта съ цифрою 20 совпадаетъ съ какимъ нибудь дѣленіемъ лимба, то отъ нуля ноніуса до ближайшаго къ нему меньшаго дѣ-

ленія лимба находится 20 минутъ. Если совпадаетъ первое дѣленіе за дѣленіемъ, означеннымъ цифрою 20, то дуга отъ нуля нониуса до ближайшаго къ нему дѣленія лимба равна 22 минутамъ. Если совпадаетъ съ какимъ нибудь дѣленіемъ лимба третья черта за дѣленіемъ, означеннымъ цифрою 40, то дуга отъ нуля нониуса до ближайшаго къ нему дѣленія лимба равна 46 минутамъ, и т. д.

На нониусѣ, съ точностью въ 1 минуту, имѣющемъ 30 дѣленій, ставятся обыкновенно надписи 0, 10, 20 и 30. Между каждыми двумя смежными цифрами назначено, слѣдовательно, 10 дѣленій, и каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ одной минутѣ, а каждыя десять дѣленій—десяти минутамъ. Если совпадаетъ съ какимъ нибудь дѣленіемъ лимба 3-е дѣленіе нониуса, слѣдующее за цифрою 20, то дуга отъ нуля нониуса до ближайшаго къ нему дѣленія лимба равна 23 минуты.

Въ дальнѣйшемъ изложеніи, дугу отъ нуля нониуса до ближайшаго отъ него меньшаго дѣленія будемъ называть *чтеніемъ по нониусу*.

На нониусѣ, съ точностью въ 20 секундъ, имѣющемъ 60 дѣленій, дѣленія нониуса обозначаются короткими и длинными линіями: двѣ короткихъ, третья длинная, и подписи 0, 10, 20 и 30, а иногда 0, 5, 10, 15, 20, 25 и 30 сдѣланы только на длинныхъ линіяхъ, такъ что каждая короткая линія соотвѣтствуетъ 20 секундамъ, а каждая длинная соотвѣтствуетъ 60 секундамъ, или минутѣ. Поэтому, если съ какимъ нибудь дѣленіемъ лимба совпадаетъ первая короткая линія, стоящая за линіей, означенною цифрой 10, то дуга отъ нуля нониуса до ближайшаго къ нему дѣленія лимба, или чтеніе по нониусу, равна 10 минутамъ и 20 секундамъ. Если совпадаетъ третья большая черта послѣ 20, то чтеніе по нониусу равно 23 минутамъ. Если совпадаетъ 2-я малая черта за первою большою чертою, стоящею послѣ цифры 25, то чтеніе по нониусу равно 26 минутамъ 40 секундамъ, и т. д.

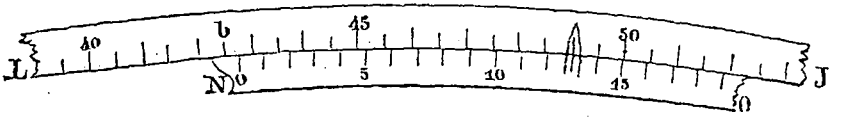
На нониусѣ, съ точностью въ 10 секундъ, имѣющемъ 60 дѣленій, дѣленія обозначаются линіями 3-хъ различныхъ длинъ, причемъ на самыхъ длинныхъ имѣются надписи 0, 5, 10, 15, 20, 25 и 30; самыя короткія линіи соотвѣтствуютъ 10, а среднія 30 секундамъ. Дѣленія съ цифрами соотвѣтствуютъ 5, 10 и т. д. минутамъ. Такимъ образомъ, если съ какимъ нибудь дѣленіемъ нониуса совпадаетъ 1-я малая черта послѣ цифры 15, то чтеніе по нониусу будетъ 15 минутъ и 10 секундъ. Если съ какимъ нибудь дѣленіемъ лимба

совпадаетъ 2-я малая черта, стоящая за средней, слѣдующей непосредственно за цифрой 20, то чтеніе по ноніусу—20 минутъ и 50 секундъ, и т. д.

88. Практическое правило для нахожденія точности ноніуса. Такъ какъ цифры на ноніусахъ всегда ставятся на дѣленіяхъ, соотвѣтствующихъ минутамъ, то точность ноніуса можно получить еще слѣдующимъ образомъ: *взять разность двухъ смежныхъ цифръ и раздѣлить ее на число дѣленій, заключенныхъ между двумя смежными цифрами ноніуса.* Полученное число будетъ точностью ноніуса.

89. Правило чтенія по лимбу и ноніусу. Чтобы сдѣлать отсчетъ по лимбу и ноніусу, надо опредѣлить, во-первыхъ, чему равно одно дѣленіе лимба; во вторыхъ, сосчитать число дѣленій на ноніусѣ; въ третьихъ, опредѣлить точность ноніуса; въ четвертыхъ, посмотрѣть, между какими дѣленіями лимба расположилось нулевое дѣленіе ноніуса, въ пятыхъ, отъ того изъ этихъ дѣленій лимба, которое стоитъ ближе къ ближайшей меньшей цифрѣ лимба, сосчитать число дѣленій лимба. Это число дѣленій надо прибавить къ числу градусовъ, выраженныхъ ближайшею меньшею цифрою, и найти такимъ образомъ, сколькимъ градусамъ и минутамъ или однимъ градусамъ соотвѣтствуетъ это дѣленіе лимба; полученное число градусовъ и минутъ или однихъ градусовъ дастъ *чтеніе по лимбу.* Въ шестыхъ, надо опредѣлить величину дуги отъ нуля ноніуса до ближайшаго дѣленія лимба, стоящаго ближе къ меньшей цифрѣ лимба, или, другими словами, опредѣлить *чтеніе по ноніусу.* И, наконецъ, въ седьмыхъ—сложить чтеніе по лимбу съ чтеніемъ по ноніусу. Полученное число градусовъ, минутъ и секундъ выразитъ дугу отъ нуля лимба до нуля ноніуса.

На чертежѣ 101 показана въ увеличенномъ видѣ часть лимба *LI*



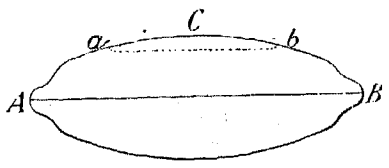
Черт. 101.

и часть ноніуса *NO*. Лимбъ раздѣленъ на полуградусы, точность ноніуса равна одной минутѣ. Нуль ноніуса находится между 40 и 45 дѣленіемъ лимба, именно за дѣленіемъ лимба, означеннымъ буквою *b*,

слѣдовательно, чтеніе по лимбу въ этомъ случаѣ будетъ 42° 30′. Чтобы измѣрить часть дуги лимба отъ дѣленія *b* до 0 ноніуса, надо посмотрѣть, какое дѣленіе ноніуса совпадаетъ съ нѣкоторымъ дѣленіемъ лимба. Такимъ дѣленіемъ ноніуса оказывается дѣленіе 13-ое.

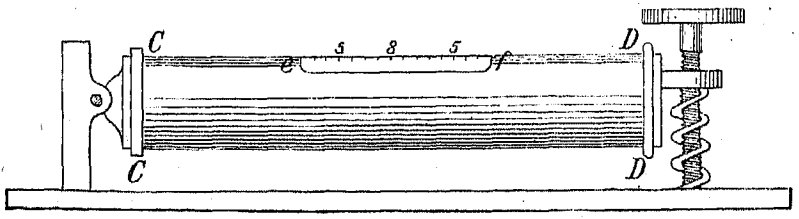
90. Уровень. Почти всякій угломѣрный инструментъ бываетъ снабженъ *уровнемъ*, служащимъ для приведенія линій и плоскостей въ горизонтальное или отвѣсное положеніе, а также для опредѣленія небольшихъ уклоненій линій отъ горизонтальнаго или отвѣснаго положенія.

Уровень состоитъ изъ стеклянной трубки, имѣющей форму поверхности вращенія, происшедшей отъ движенія дуги, весьма большого радіуса, вокругъ ея хорды. Хорда эта служитъ для уровня осью вращенія его трубки и называется *осью уровня*. Такой сосудикъ наполняютъ эфиромъ до верха, затѣмъ его опускаютъ въ кипящую воду и, когда эфиръ, отъ повышенія температуры, расширится, открытый конецъ стекляннаго сосудика запаиваютъ при помощи паяльной трубки. По охлажденіи эфира, въ сосудикѣ останется небольшое безвоздушное пространство, называемое *пузырькомъ уровня*. На черт. 102 хорда AB есть ось вращенія уровня, а Cba— его пузырекъ.



Черт. 102.

Стеклянный сосудикъ обдѣлываютъ мѣдною оправою $CCDD$ (черт. 103), имѣющею сверху продолговатое отверстіе ef, позволяю-



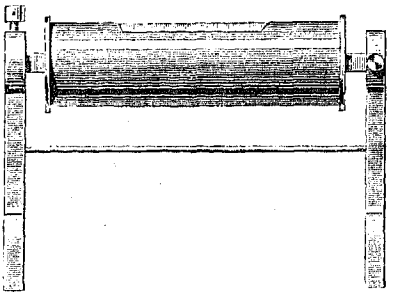
Черт. 103.

щее видѣть какъ дѣленія трубки, такъ и положеніе пузырька. Справа на этомъ же чертежѣ виденъ винтъ, ввинчиваніемъ или вывинчиваніемъ котораго, ось уровня можно наклонять, сближать или отдалять отъ нижней линейки.

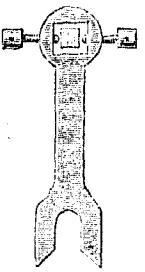
На черт. 105-мъ изображенъ также уровень, концы оправы котораго помѣщены въ пазахъ двухъ ножекъ; лѣвая изъ нихъ показана въ разрѣзѣ на черт. 104-мъ, а разрѣзъ правой помѣщенъ на 106 чертежѣ. Лѣвая ножка снабжена вертикальнымъ винтикомъ,



Черт. 104.

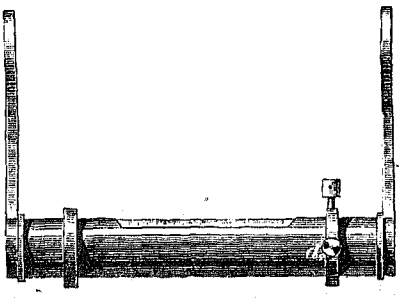


Черт. 105.

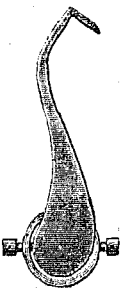


Черт. 106.

при помощи котораго уровень можно приподнимать или опускать въ отвѣсной плоскости, а правая—двумя горизонтальными, вывинчивая одинъ изъ которыхъ и ввинчивая другой, оправу уровня, а слѣдовательно, и его ось можно немного перемѣщать въ плоскости, напримѣръ, горизонтальной. Ножки, на которыхъ покоится оправа уровня, въ нижнихъ своихъ частяхъ вилко-образныя. Такіе уровни,



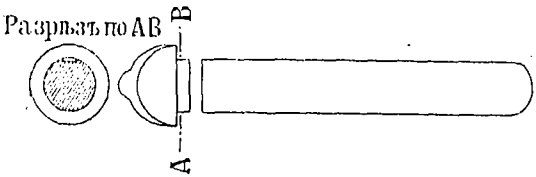
Черт. 107.



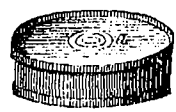
Черт. 108.

обыкновенно, накладываются поверхъ трубъ и горизонтальныхъ ихъ осей вращенія. Уровень, изображенный на черт. 107 и 108-мъ, обыкновенно, подвѣшивается къ горизонтальнымъ осямъ вращенія трубъ. Какъ видно, онъ также снабженъ однимъ вертикальнымъ винтикомъ и двумя горизонтальными, для тѣхъ же цѣлей, какъ въ предыдущемъ уровнѣ.

Въ хорошихъ инструментахъ послѣдняго времени трубка уровня состоитъ изъ двухъ частей: бо́льшая наполняется эфиромъ, а меньшая, служащая крышкой для первой, наполнена воздухомъ и называется воздушной камерой. На черт. 109-мъ такой уровень изображенъ въ видѣ трехъ частей; въ серединѣ показана въ фасадѣ воздушная камера, справа часть трубки уровня, слѣва разрѣзъ воздушной камеры, причемъ все заштрихованное пространство изображаетъ стѣнку камеры. Части камеры, входящія внутрь большой трубки, хорошо отшлифованы, такъ что когда трубка уровня закрыта камерой, то эфиръ изъ трубки выливаться не можетъ. Въ стѣнкѣ, отдѣляющей камеру отъ цилиндрика, входящаго въ трубку уровня, сдѣлано малое отверстіе, какъ видно на разрѣзѣ камеры. Вслѣдствіе такого устройства, можно по произволу увеличивать или уменьшать



Черт. 109.



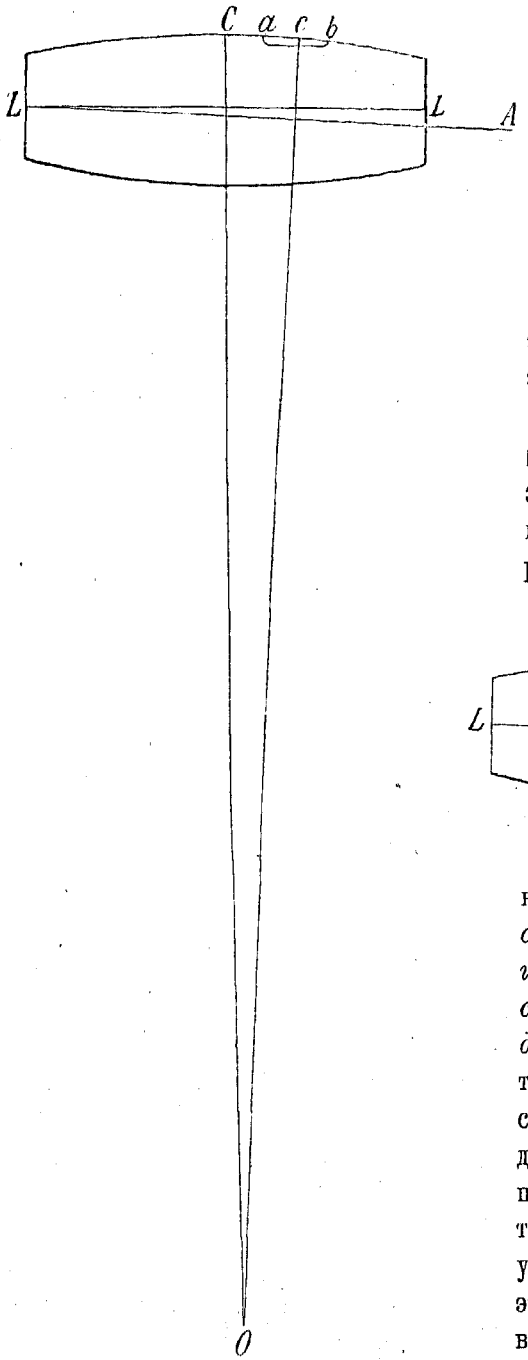
Черт. 110.

воздушный пузырекъ уровня, — что имѣетъ значеніе при большихъ жарахъ и холодахъ, когда, въ первомъ случаѣ, воздушный пузырекъ дѣлается очень малымъ, а во второмъ—очень длиннымъ. Для уменьшенія пузырька уровень надо наклонить воздушной камерой вверхъ, а для увеличенія—воздушной камерой внизъ.

Иногда употребляютъ круглые уровни; такой уровень показанъ на черт. 110. Съ боковъ и снизу имѣется латунная коробка, наполненная эфиромъ и прикрытая стекломъ. Въ серединѣ виденъ пузырекъ уровня.

91. Условіе необходимое для горизонтальности оси уровня. Пузырекъ уровня, будучи легче жидкости, стремится занять самое высшее мѣсто сосуда и, при наклоненіи уровня, передвигается къ приподнятому концу трубки. *Когда средина пузырька уровня совпадаетъ съ срединою стеклянной трубки,—ось уровня параллельна свободной поверхности эфира, заключеннаго въ трубкѣ уровня.* Докажемъ это. По условію имѣемъ (черт. 102):

$$AC = CB \ldots (1) \text{ и } aC = Cb \ldots (2).$$



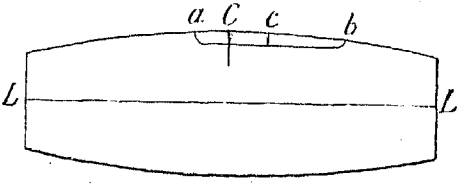
Черт. 111.

Вычтя второе равенство изъ перваго, найдемъ:

$$Aa = Bb,$$

а такъ какъ дуги, заключенныя между хордами, равны, когда хорды параллельны, то, слѣдовательно, *ось уровня горизонтальна, когда средина воздушнаго пузырька совпадаетъ съ срединой трубки.*

92. Измѣреніе угловъ наклоненія оси уровня съ горизонтомъ. Если середина пузырька уровня не совпадаетъ съ серединой трубки, то ось уровня



Черт. 112.

наклонна къ горизонту, и *уголъ, составляемый осью уровня съ горизонтомъ, измѣряется разстояніемъ отъ середины трубки до середины пузырька.* Дѣйствительно, пусть C (черт. 112) — середина трубки уровня, c—середина пузырька; проведемъ перпендикуляры изъ c къ горизонтальной линіи ab, а изъ C къ оси уровня LL. Перпендикуляры эти, какъ извѣстно, пересѣкутся въ центрѣ O круговой линіи, образующей трубку уровня. Уголъ

наклоненія оси уровня LL къ горизонтальной линіи LA и уголъ COc равны между собою, какъ составленные линіями, другъ къ другу перпендикулярными. Слѣдовательно, дуга Cc, измѣряющая уголъ COc, измѣряетъ также и уголъ наклоненія оси уровня къ горизонту.

Середину пузырька можно найти только на глазъ, концы же его опредѣлятся отчетливо, и мѣсто ихъ можетъ быть отмѣчено по дѣленіямъ трубки уровня. Поэтому, разстояніе середины трубки отъ середины пузырька уровня надо умѣть опредѣлять по разстояніямъ середины трубки отъ концовъ пузырька.

Если оба конца пузырька уровня находятся по одну сторону середины трубки, то, какъ видно изъ черт. 112, мы можемъ написать:

$$Cc = Ca + ac;$$

$$Cc = Cb - cb;$$

складывая эти равенства и замѣчая, что ac и cb равны между собою, получимъ:

$$2\,Cc = Ca + Cb, \text{ или}$$

$$Cc = \frac{Ca + Cb}{2},$$

т. е. *если пузырекъ уровня располагается обоими своими концами по одну сторону середины трубки, то разстояніе отъ середины пузырька до середины трубки, или величина, опредѣляющая наклоненіе оси уровня къ горизонту, равна полусуммѣ разстояній отъ концовъ пузырька до середины трубки.*

Если пузырекъ расположится своими концами по обѣ стороны середины трубки (черт. 88), то:

$$Cc = Cb - cb;$$

$$Cc = ca - Ca;$$

складывая эти равенства и замѣчая, что ca и cb равны между собою, найдемъ:

$$2Cc = Cb - Ca,$$

откуда

$$Cc = \frac{Cb - Ca}{2},$$

т. е. *если концы пузырька уровня находятся по обѣ стороны середины трубки, то разстояніе отъ середины пузырька до середины трубки равно полуразности разстояній отъ концовъ пузырька до середины трубки.*

Дѣленія на трубкѣ уровня отмѣчаются линіями трехъ различныхъ длинъ, причемъ каждое пятое дѣленіе означается линіями средней величины, а каждое десятое дѣленіе — длинной линіей и цифрой. Середина трубки, на длину 10 дѣленій, большею частію, не дѣлится, и тогда счетъ идетъ отъ концовъ этой средней части въ обѣ стороны.

Если концы пузырька занимаютъ одинаковыя дѣленія, то его середина совпадаетъ съ серединою трубки уровня, и, слѣдовательно, ось уровня горизонтальна.

Если одинъ конецъ пузырька совпадаетъ съ первымъ дѣленіемъ, а другой съ третьимъ, то ось уровня составитъ съ горизонтомъ наклоненіе, и наклоненіе это опредѣлится полуразностью показаній концовъ пузырька, т. е. выразится однимъ дѣленіемъ. Когда же одинъ край пузырька указываетъ, положимъ, 8-е, а другой 2-е дѣленіе, тогда это значитъ, что середина пузырька отошла отъ середины трубки на полуразность этихъ величинъ, т. е. на три дѣленія.

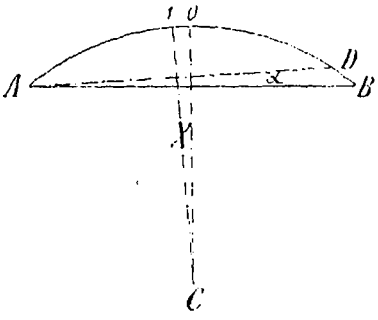
93. Цѣна одного дѣленія уровня. Каждое дѣленіе уровня соотвѣтствуетъ нѣкоторому углу при центрѣ (черт. 113). Угловая величина одного дѣленія называется *цѣною одного дѣленія уровня*; она въ различныхъ уровняхъ бываетъ различною. Въ угломѣрныхъ инструментахъ, точность ноніусовъ которыхъ равна 1 минутѣ, цѣна одного дѣленія уровня берется равною 6 минутамъ. Цѣна одного дѣленія уровня называется еще *чувствительностью уровня*. Чѣмъ меньше эта величина, тѣмъ уровень чувствительнѣе, т. е. пузырекъ движется быстрѣе при малыхъ подъемахъ одного конца уровня. Въ точныхъ инструментахъ берутся уровни бо́льшей чувствительности, нежели въ инструментахъ грубыхъ. Наименьшая величина цѣны одного дѣленія уровня бываетъ равной *отъ одной до двухъ секундъ.*

94. Повѣрительный винтъ уровня. Во всѣхъ геодезическихъ инструментахъ уровень придѣлывается такъ, чтобы ось его была параллельна тѣмъ плоскостямъ или линіямъ въ инструментѣ, которыя нужно приводить въ горизонтальное положеніе. Если ось уровня

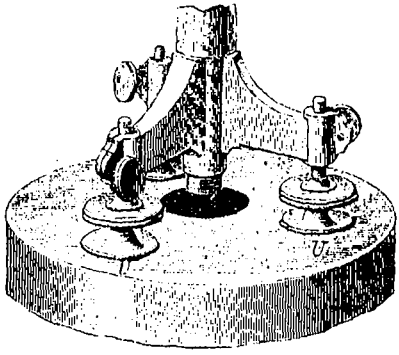
не удовлетворяетъ этому условію, то ее приводятъ въ требуемое положеніе при помощи *поправительнаго* винта, находящагося при оправѣ уровня, какъ это видно на чертежахъ 103, 104 и 106-омъ.

95. Подъемные, или уравнительные винты. Приведеніе пузырька уровня на середину трубки, или приведеніе оси уровня въ горизонтальное положеніе, исполняется помощью *подъемныхъ, или уравнительныхъ винтовъ*.

На черт. 90-мъ видны три вертикальныхъ винта съ горизонтальными шляпками,—это подъемные винты. Они имѣютъ винтовую нарѣзку и ввинчиваются въ гайки, расположенныя на концахъ трехъ отростковъ, идущихъ отъ оси инструмента. Чтобы подъемные винты



Черт. 113.



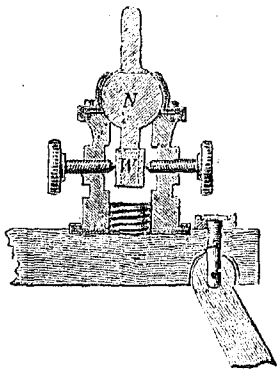
Черт. 114.

входили въ гайки не слишкомъ слабо и не слишкомъ туго, гайки имѣютъ вертикальные разрѣзы (черт. 114). Разрѣзанныя части гаекъ могутъ быть сближены другъ съ другомъ при помощи особыхъ горизонтальныхъ винтовъ (черт. 114) съ вертикальными шляпками.

Въ старинныхъ инструментахъ имѣлось всегда четыре подъемныхъ винта. Въ большинствѣ же теперешнихъ инструментовъ имѣется только три подъемныхъ винта, рѣже—два и два шарнира. Иногда подъемные винты дѣлаются не вертикальными, а горизонтальными.

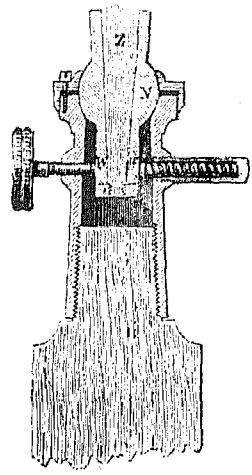
На чертежахъ 115-мъ и 116-мъ въ вертикальномъ и горизонтальномъ разрѣзѣ показана часть инструмента, имѣющаго четыре горизонтальныхъ подъемныхъ винта. Вывинчивая одинъ винтъ и завинчивая ему противоположный, будемъ заставлять утолщеніе W измѣнять нѣсколько свое положеніе, благодаря чему измѣнится положеніе яблока N, а вмѣстѣ съ нимъ и ось вращенія инструмента.

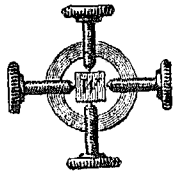
На черт. 117, 118 и 119-мъ показана въ разрѣзѣ часть инструмента, имѣющаго два подъемныхъ винта и пружину со штифтикомъ. Если начать ввинчивать одинъ изъ винтовъ, то онъ надавитъ на отростокъ WU яблока N, пружина согнется, и штифтикъ войдетъ въ прили-



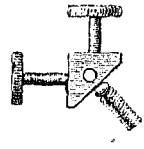
Черт. 115.

Черт. 117.

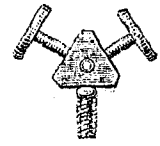




Черт. 116.



Черт. 118.



Черт. 119.

вокъ, видный съ правой стороны, а вмѣстѣ съ тѣмъ измѣнитъ свое положеніе и ось инструмента Z, входящая въ яблоко N.

96. Приведеніе оси уровня въ горизонтальное положеніе подъемными винтами. Если въ угломѣрномъ инструментѣ уровень вѣренъ, т. е. если ось его параллельна плоскости лимба, то послѣдній приводится въ горизонтальное положеніе слѣдующимъ образомъ: поворачиваютъ алидаду на лимбѣ такъ, чтобы уровень пришелся по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ, или, другими словами, такъ, чтобы ось уровня была параллельна плоскости, проходящей чрезъ оси двухъ подъемныхъ винтовъ. Одинъ изъ этихъ винтовъ ввинчиваютъ, а другой вывинчиваютъ, или, какъ говорятъ, дѣйствуютъ обоими подъемными винтами въ разныя стороны, т. е. дѣйствуютъ или

обоими внутрь, или обоими наружу, до тѣхъ поръ, пока пузырекъ уровня не появится на серединѣ, а затѣмъ, медленнымъ движеніемъ одного или обоихъ винтовъ, устанавливаютъ пузырекъ въ точности на середину; далѣе, поворачиваютъ алидаду до тѣхъ поръ, пока уровень не расположится по направленію приблизительно перпендикулярному къ прежнему своему положенію, или, какъ выражаются, ставятъ уровень по третьему винту. Ввинчивая или вывинчивая этотъ 3-й винтъ, сначала быстро, а потомъ медленно, приводятъ пузырекъ уровня на середину, т. е. такъ, что концы его укажутъ одинаковыя дѣленія. Затѣмъ, вновь ставятъ уровень по двумъ винтамъ, дѣйствуя ими, какъ сказано раньше. Поворачивая алидаду, ставятъ уровень по третьему винту, и приводятъ имъ пузырекъ уровня вновь на середину. При каждой послѣдующей подобной манипуляціи, подъемные винты приходится передвигать все на меньшія и меньшія величины, а иногда достаточно только дотронуться до нихъ, чтобы пузырекъ становился на середину.

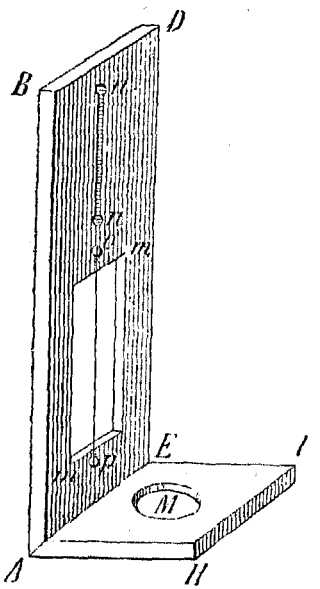
Когда послѣ такихъ приведеній, при всѣхъ поворотахъ алидады, пузырекъ остается на серединѣ, тогда говорятъ, что *уровень установленъ горизонтально*, т. е. *собственно ось его поставлена горизонтально*. Если же ось уровня параллельна лимбу, то, слѣдовательно, въ это время и лимбъ горизонталенъ.

При установкѣ всякаго геодезическаго инструмента, надо обращать вниманіе на то, чтобы концы подъемныхъ винтовъ не отходили отъ столика или подставки, на которой находится инструментъ. А для этого не слѣдуетъ одинъ винтъ слишкомъ вывинчивать, а другой слишкомъ завинчивать, что возможно тогда, когда плоскость, на которой расположенъ инструментъ, установлена приблизительно въ горизонтальномъ положеніи.

97. Діоптры и ихъ употребленіе. Діоптромъ называется неравноплечій уголокъ (черт. 120) *ABDEIH*, изогнутый по линіи *AE* такъ, что плоскость *ABDE* перпендикулярна къ *AEIH*. На короткой части діоптра сдѣлано круглое отверстіе; въ него вводятъ винтъ, помощью котораго діоптръ *ABDEIH* прикрѣпляютъ къ алидадѣ или къ лимбу. Съ одной стороны короткой части діоптра придѣлываются два штифтика, вкладываемые въ соотвѣтствующія отверстія, сдѣланныя на алидадѣ или лимбѣ, дабы діоптръ не могъ вращаться на оси винта. На длинной сторонѣ дѣлается узкій прорѣзъ,

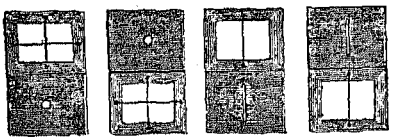
называемый *глазнымъ*, и широкій, называемый *предметнымъ*. По серединѣ послѣдняго натянутъ волосокъ такъ, чтобы онъ служилъ продолженіемъ узкаго прорѣза.

Иногда, вмѣсто сплошного узкаго прорѣза, въ діоптрѣ имѣется рядъ малыхъ круглыхъ отверстій, отстоящихъ другъ отъ друга на близкихъ разстояніяхъ такъ, что глазу, расположенному у такого діоптра, кажется не рядъ малыхъ отверстій, а сплошной прорѣзъ. Но при такомъ діоптрѣ предметы менѣе ясны, и глазъ скорѣе утомляется.



Черт. 120.

Другой діоптръ, привинчиваемый напротивоположной сторонѣ алидады, устраивается точно такъ же, какъ и первый, но только прорѣзы располагаются въ обратномъ порядкѣ, т. е. противъ глазного прорѣза перваго діоптра приходится предметный другого, и обратно, какъ показано на черт. 121.



Черт. 121.

Плоскость, проходящая чрезъ узкій прорѣзъ одного діоптра и чрезъ противоположный ему волосокъ другого діоптра, называется *плоскостью зрѣнія*, или *визирною плоскостью*. Ее называютъ еще и *колимаціонною плоскостью*.

Тамъ, гдѣ визирная, или колимаціонная плоскость діоптровъ, пересѣкаетъ концы алидады, на этой послѣдней ставятся черточки, называемыя *индексами* алидады.

Діоптры служатъ для направленія линіи, проходящей чрезъ индексы алидады, по направленію данной линіи, назначенной или назначаемой на землѣ.

Чтобы визирную плоскость совмѣстить съ отвѣсною плоскостью, проходящею чрезъ вѣхи или прямыя палки, установленныя по на-

правленію данной линіи на мѣстности, должно установить инструментъ на данной линіи такъ, чтобы центръ лимба совпадалъ съ какою нибудь точкою на линіи, и затѣмъ, смотря въ узкій прорѣзъ діоптра алидады, подвигать послѣдняю до тѣхъ поръ, пока противоположный волосокъ другого діоптра не покроетъ вѣхъ, стоящихъ на данной линіи.

Точность визированія діоптрами зависитъ отъ ширины прорѣза глазного діоптра, отъ толщины волоска и отъ разстоянія между діоптрами.

Дѣйствительно, чѣмъ шире отверстіе глазного діоптра, тѣмъ болѣе широкую часть визируемаго предмета можетъ покрывать волосокъ предметнаго діоптра при передвиженіи глаза вправо или влѣво предъ глазнымъ діоптромъ; слѣдовательно, при вѣшеніи линіи діоптрами, можно выбрать на землѣ для вѣхи не надлежащую точку, а отступающую отъ надлежащаго положенія вправо или влѣво тѣмъ на бо́льшую величину, чѣмъ шире прорѣзъ глазного діоптра.

Если волосокъ діоптра тонкій, то на извѣстномъ разстояніи онъ покроетъ середину вѣшки, если же онъ толстый, то, при томъ же разстояніи отъ вѣшки, онъ можетъ покрыть ее вполнѣ; слѣдовательно, при вѣшеніи линіи діоптрами съ волоскомъ толстымъ, можно выбрать для вѣхи ненадлежащее положеніе на землѣ, такъ какъ такой волосокъ будетъ покрывать много точекъ, и каждую изъ нихъ можно взять для положенія вѣхи. Такимъ образомъ, чѣмъ тоньше волосокъ предметнаго діоптра, тѣмъ точнѣе можно визировать.

98. Величина ошибокъ визированія діоптрами. Пусть: ширина прорѣза глазного діоптра (черт. 122) равняется m, точка o середина этого прорѣза и точка a проекція вертикальнаго волоска предметнаго діоптра, отстоящаго отъ точки o на величину равную, положимъ, d. Если середина глаза находится въ точности противъ точки o, то волосокъ b закроетъ предметъ B, если же середина глаза перемѣстится противъ a или c, то волосокъ закроетъ предметъ A или предметъ C. Слѣдовательно, при этомъ произойдетъ ошибочное визированіе, а величина этой ошибки, выраженная въ углѣ, равна углу cbo или abo, смотря по положенію глаза. Назвавъ этотъ уголъ буквою α, можемъ написать:

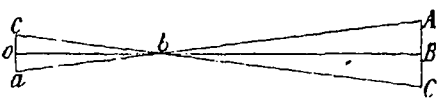
$$\frac{m}{2} = dtg\,\alpha,$$

откуда

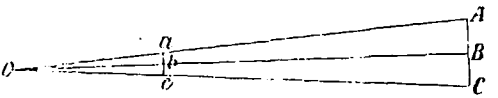
$$tg\alpha = \frac{m}{2d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Синусъ и тангенсъ малаго угла можно считать почти равными числу секундъ угла, умноженному на синусъ одной секунды, или на 0,00000485. Дѣйствительно, если такимъ образомъ вычислить синусъ и тангенсъ угла въ 10 минутъ, то они были бы равны 0,00291. Точно также синусъ и тангенсъ угла въ 20 минутъ окажутся равными 0,00582, для 30 минутъ—0,00873 и для 40 минутъ—0,001164.

Такія же точно величины для синусовъ и тангенсовъ этихъ угловъ показаны и въ таблицахъ. Для синуса и тангенса угла въ 3°, при такомъ расчетѣ, получается, сравнительно съ таблицами, ошибка въ 0,001, при 6°—въ 0,002. Для вычисленія же по указанному спо-



Черт. 122.



Черт. 123.

собу угловъ, меньшихъ 10 минутъ, можно, вмѣсто точной величины синуса одной секунды, брать 0,000005.

Такъ какъ уголъ α малъ, то, на основаніи сказаннаго выше, вмѣсто формулы (1), можемъ написать:

$$\alpha \sin 1'' = \frac{m}{2d}, \text{ или}$$

$$\alpha = \frac{m}{2d \sin 1''} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Формула эта указываетъ, что *ошибка при визированіи діоптрами пропорціональна ширинѣ глазного діоптра и обратно пропорціональна разстоянію между діоптрами.*

Вычислимъ величину этой ошибки, полагая

$d = 8$ дюймамъ, $m = {}^1/_{50}$ дюйма, тогда:

$$\alpha = \frac{{}^1/_{50}}{2.8.0{,}000005} = 250'' = 4' 10''.$$

Если o (черт. 123) середина глазного діоптра, а ca толщина предметнаго волоска, середина котораго въ b, то, при точномъ визированіи на середину волоска, мы можемъ совершенно точно назначать на землѣ ту именно точку, какую надо назначить по напра-

вленію линіи ob, т. е. точку B. Если же будемъ визировать отъ o не къ b, а къ краямъ a или c, то увидимъ точки A или C, и если въ одной изъ этихъ точекъ поставимъ вѣшку, то сдѣлаемъ ошибку въ направленіи линіи на величину угла $\frac{AOC}{2}$. Посмотримъ, какъ великъ этотъ уголъ; назовемъ его, для краткости, буквою β, толщину волоска буквою n, а разстояніе ob между діоптрами, попрежнему, означимъ буквою d, тогда найдемъ:

$$\frac{n}{2} = d\,tg\,\beta, \text{ или } tg\,\beta = \frac{n}{2d};$$

по малости же β, можемъ написать:

$$\beta = \frac{n}{2\,d\,sin\,1''} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Формула эта указываетъ, что *ошибка при визированіи діоптрами пропорціональна толщинѣ волоска предметнаго діоптра и обратно пропорціональна разстоянію между діоптрами.*

Вычислимъ величину этой ошибки, полагая

$$n = {}^1/_{50} \text{ дюйма}, \quad d = 8'', \text{ тогда:}$$

$$\beta = 4'\ 10''.$$

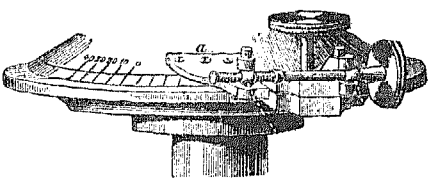
Такъ какъ глазной діоптръ долженъ имѣть, для большей точности визированія, наименьшую ширину прорѣза, то, слѣдовательно, въ зрачекъ глаза поступаетъ чрезъ діоптръ меньше свѣтовыхъ лучей отъ предмета, чѣмъ при визированіи безъ діоптра, поэтому отдаленные или слабо-освѣщенные предметы могутъ казаться въ діоптры неясными или даже совсѣмъ невидными.

Визированіе діоптрами на предметы, отстоящіе отъ инструмента въ разстояніи 150 саженъ, довольно затруднительно и, во всякомъ случаѣ, совершается съ большою ошибкою; поэтому, чтобы лучше видѣть отдаленныя вѣхи, или сигналы, означающіе направленіе линій, къ геодезическимъ инструментамъ придѣлываютъ *зрительныя трубы*, о которыхъ говорится въ главѣ X.

99. Микрометренные винты. Въ геодезическихъ инструментахъ микрометренные винты употребляются въ тѣхъ случаяхъ, когда нужно, оставивъ какую нибудь часть инструмента неподвижною, придать другой медленное или, какъ говорятъ, *микрометренное* движеніе.

Микрометренные винты бываютъ различныхъ устройствъ, но совершенно достаточно ознакомиться съ устройствомъ одного рода, чтобы понимать устройство всѣхъ остальныхъ.

Разсмотримъ очень часто встрѣчающійся микрометренный винтъ, изображенный на чертежѣ 124-мъ. Лимбъ обхватывается двумя металлическими пластинками, или *клещами*, скрѣпленными другъ съ другомъ посредствомъ *зажимательнаго винта*, расположеннаго вертикально; къ верхней дощечкѣ клещей прикрѣпляется неравнобокій уголокъ, верхняя полочка котораго можетъ быть сближаема на небольшое разстояніе посредствомъ особаго винта; къ алидадѣ прикрѣплена пластинка a, оканчивающаяся также уголкомъ. Микрометренный винтъ, съ утолщеніемъ въ видѣ шарика, зажатъ между полкою уголка и верхнею пластинкою клещей настолько, что можетъ вращаться въ шарообразныхъ выемкахъ полки уголка и верхней дощечки клещей.



Черт. 124.

Такимъ образомъ, здѣсь помѣщается гнѣздо винта, гайка же этого винта находится слѣва въ шарикѣ, зажатомъ между полкой уголка и пластинкой, придѣланной къ алидадѣ.

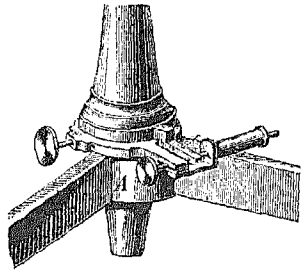
Иногда шарики закрѣпляются и наоборотъ, т. е. между уголкомъ и клещами помѣщается шарообразная гайка, а между полкой уголка и пластинкою—шарикъ микрометреннаго винта. Въ этомъ случаѣ микрометренный винтъ имѣетъ положеніе обратное тому, какое изображено на чертежѣ. Микрометренный винтъ употребляется также для движенія трубы въ вертикальной плоскости.

Если зажимательный винтъ будетъ ослабленъ, то алидаду вмѣстѣ съ приборомъ можно двигать рукою около оси. По закрѣпленіи же зажимательнаго винта, алидадѣ сообщается небольшое движеніе микрометреннымъ винтомъ, который, вращаясь въ нарѣзкахъ шарика, подвигаетъ алидаду въ ту или другую сторону.

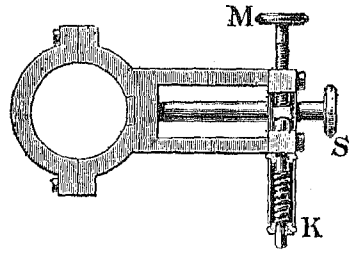
На черт. 125-мъ изображенъ зажимательный микрометренный винтъ для скрѣпленія геодезическаго инструмента съ треугольникомъ A.

На чертежѣ 126-мъ изображенъ зажимательный винтъ S и микрометренный M съ штифтикомъ и пружиною K для уничтоженія мерт-

ваго хода винта *M*. Винтъ *S* прижимаетъ кольцо, видное слѣва отъ винта *S*, къ оси вращенія инструмента. Между штифтикомъ, обвитымъ пружиною, и винтомъ *M* находится отростокъ отъ неподвижной части



Черт. 125.



Черт. 126.

инструмента. Если ввинчивать или вывинчивать винтъ *M*, когда винтъ *S* зажатъ, то кольцо вмѣстѣ съ осью вращенія инструмента получитъ малое перемѣщеніе.

Глава IX.

КРАТКІЯ СВѢДѢНІЯ О СВОЙСТВАХЪ ОПТИЧЕСКИХЪ ПРИБОРОВЪ, УПОТРЕБЛЯЕМЫХЪ ВЪ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХЪ ИНСТРУМЕНТАХЪ.

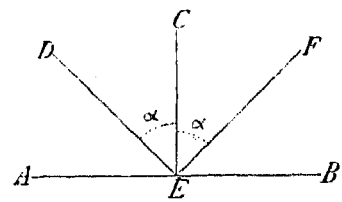
Для пониманія свойствъ зрительныхъ трубъ и другихъ оптическихъ приборовъ, употребляемыхъ въ геодезическихъ инструментахъ, изложимъ здѣсь необходимыя свѣдѣнія изъ оптики для тѣхъ, кто съ нею незнакомъ.

100. Объ отраженіи лучей свѣта отъ зеркальныхъ поверхностей. Естествоиспытатели, путемъ опытовъ, доказали, что когда лучи свѣта падаютъ на непрозрачное тѣло, то нѣкоторая часть этихъ лучей поглощается тѣломъ, остальные же лучи отбрасываются отъ тѣла. Свойство отбрасыванія лучей свѣта называется *отраженіемъ свѣта*.

Шероховатыя, неровныя поверхности отражаютъ лучи свѣта во всѣ стороны, гладкія, каковы: зеркальная поверхность, полированные металлы, твердой породы камни, стекла, поверхность покойно стоящей воды и очищенной ртути, отражаютъ лучи свѣта не по всѣмъ, а только по нѣкоторымъ, опредѣленнымъ, направленіямъ. Металлическія зер-

кала отражаютъ наибольшее количество свѣта, за ними слѣдуютъ стеклянныя зеркала съ подложенной подъ стекло амальгамой, затѣмъ простыя стекла и, наконецъ, вода.

Лучъ свѣта, падающій наклонно на зеркальную поверхность, составляетъ съ перпендикуляромъ къ этой поверхности уголъ, называемый *угломъ паденія*. Лучъ свѣта, отраженный отъ зеркальной поверхности, также составляетъ съ тѣмъ же перпендикуляромъ уголъ, называемый *угломъ отраженія*. На чертежѣ 127 лучъ DE— падающій, а лучъ EF— отраженный. Уголъ DEC—уголъ паденія, а FEC— уголъ отраженія.



Черт. 127.

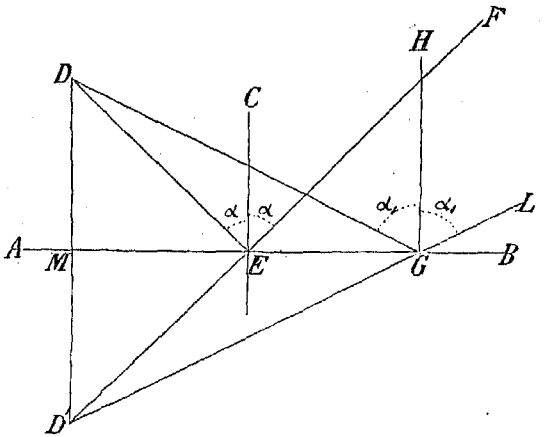
Лучи, падающіе на зеркальныя поверхности и отраженные отъ нихъ, обладаютъ слѣдующими свойствами: 1) *уголъ паденія равенъ углу отраженія*, 2) *лучи падающій, отраженный и перпендикуляръ, возставленный къ зеркальной поверхности въ точкѣ паденія луча, находятся въ одной плоскости* и 3) *количество отраженныхъ лучей меньше количества падающихъ*. Напр. въ стеклянныхъ зеркалахъ количество отраженнаго свѣта на половину меньше количества падающаго.

Законы эти подтверждены многочисленными опытами, произведенными естествоиспытателями и описываемыми, обыкновенно, въ физикѣ.

101. На какомъ разстояніи отъ зеркала получается изображеніе свѣтящейся или освѣщенной точки. Пусть AB (черт. 129) слѣдъ зеркальной поверхности на плоскости бумаги, т. е. пересѣченіе бумаги съ зеркальною плоскостью, точка D—та точка, изъ которой исходятъ лучи свѣта, падающіе на зеркало. Чтобы найти положеніе изображенія точки D, проведемъ изъ нея два произвольныхъ направленія DE и DG, которыя представятъ собою падающіе лучи; тогда лучи отраженные пойдутъ по линіямъ EF и GL, причемъ образованные углы отраженія равны угламъ паденія. Продолженія линій EF и GL пересѣкутся за зеркальною поверхностью въ точкѣ D'. Треугольники DEG и $D'EG$ равны между собою, потому что сторона EG общая, уголъ $DEG = D'EG$, потому что каждый изъ нихъ равенъ прямому углу, сложенному съ угломъ α, и уголъ $DGE = D'GE$,

такъ какъ каждый изъ нихъ равенъ прямому углу безъ угла α_1; откуда слѣдуетъ, что $DE = D'E$. Теперь легко доказать, что треугольники DME и $D'ME$ также равны между собою. Дѣйствительно, кромѣ равныхъ сторонъ DE и $D'E$, въ нихъ имѣются еще равные углы DEM и $D'EM$, такъ какъ каждый изъ этихъ угловъ равенъ прямому углу безъ угла α, линія же ME общая, а потому,— $MD = MD'$ и $DME = D'ME = 90°$.

Отсюда слѣдуетъ, что *изображеніе свѣтящейся или освѣщенной точки находится на такомъ же разстояніи отъ зеркальной поверхности, на какомъ находится отъ той же поверхности данная точка.*



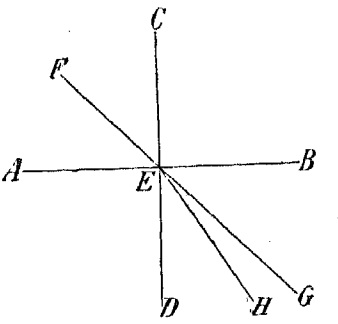
Черт. 129.

На основаніи указаннаго закона, легко построить на чертежѣ изображеніе предмета въ зеркальной поверхности. Для этого изъ концовъ предмета надо опустить перпендикуляры на линію, представляющую разрѣзъ зеркальной плоскости, продолжить эти перпендикуляры за зеркальную линію на разстоянія, равныя разстояніямъ концовъ предмета отъ зеркальной поверхности, и полученныя точки соединить между собою. Если очертаніе предмета не прямолинейное, а криволинейное, то надо построить, по указанному правилу, изображенія всѣхъ точекъ перегибовъ предмета и соединить ихъ соотвѣтственными кривыми.

Въ геодезическихъ инструментахъ зеркала употребляются во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда необходимо, чтобы лучи, идущіе отъ предмета, приходили къ глазу наблюдателя не по прямому направленію, а подъ

нѣкоторымъ угломъ. Такъ, лучъ DE, идущій отъ предмета D, можетъ придти къ глазу наблюдателя, находящагося въ F. При этомъ направленіе луча, идущаго отъ предмета, съ направленіемъ, по которому наблюдатель видитъ предметъ, составляетъ уголъ равный 2α. Но вслѣдствіе того, что количество лучей отраженныхъ меньше количества лучей падающихъ, предметъ, благодаря зеркалу, кажется наблюдателю менѣе освѣщеннымъ.

102. О преломленіи лучей свѣта. Считается вполнѣ доказаннымъ, что лучъ свѣта, проходящій чрезъ прозрачную среду вездѣ одинаковой плотности, имѣетъ прямолинейное направленіе; если же онъ проходитъ изъ среды менѣе плотной въ среду болѣе плотную или наоборотъ, напр., изъ воздуха въ стекло и обратно изъ стекла въ воздухъ, то онъ имѣетъ направленіе прямолинейное лишь въ томъ случаѣ, если онъ перпендикуляренъ къ плоскости стекла, на которую онъ падаетъ. При всякомъ другомъ направленіи, т. е. наклонномъ къ разграничивающей поверхности, лучъ свѣта уклоняется отъ прежняго своего направленія, и это отклоненіе луча отъ первоначальнаго направленія называется *преломленіемъ*. Уголъ, составленный лучемъ, падающимъ на плоскость стекла съ перпендикуляромъ къ той же плоскости, называется *угломъ паденія*; уголъ, составленный лучемъ преломленнымъ съ продолженіемъ того же перпендикуляра, называется *угломъ преломленія*. Такъ, если AB есть слѣдъ на плоскости бумаги, плоскости, на которую падаетъ лучъ свѣта, CD—перпендикуляръ къ этой плоскости, FE—лучъ паденія, EH—лучъ преломленія, то FEC есть уголъ паденія, а DEH—уголъ преломленія (черт. 130).



Черт. 130.

Путемъ наблюденій доказаны слѣдующіе законы преломленія лучей свѣта: 1) *лучъ падающій и преломленный находятся всегда въ одной плоскости, проходящей чрезъ направленія падающаго луча и перпендикуляра, возставленнаго къ поверхности на которую падаетъ лучъ въ точкѣ паденія луча*; 2) *уголъ преломленія всегда меньше угла паденія при переходѣ луча изъ воздуха въ стекло, и обратно: уголъ преломленія всегда болѣе угла паденія при переходѣ луча изъ стекла*

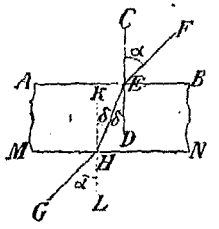
въ воздухъ и 3) *для одной и той же преломляющей среды отношеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія есть величина постоянная.*

Отношеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія называется *показателемъ преломленія.* Показатель преломленія будемъ обозначать буквою m; называя же буквою a уголъ паденія, а буквою b уголъ отраженія, можемъ написать для показателя преломленія такую формулу:

$$\frac{\sin a}{\sin b} = m,$$

въ которой a и b величины перемѣнныя, а m всегда постоянное для одной и той же среды. Путемъ опытовъ найдены показатели преломленія для всѣхъ прозрачныхъ тѣлъ.

103. Какое направленіе получитъ лучъ свѣта по выходѣ изъ стекла, ограниченнаго параллельными плоскостями. Если лучъ FE свѣта падаетъ на стекло (черт. 131), ограниченное параллельными плоскостями AB и MN, то, проходя чрезъ стекло, онъ приблизится къ перпендикуляру ED, а по выходѣ изъ стекла, онъ будетъ отклоненъ отъ перпендикуляра HL на тотъ же уголъ, подъ какимъ онъ былъ наклоненъ къ перпендикуляру CE; а такъ какъ плоскости AB и MN параллельны, то можно сказать, что *направленіе луча, выходящаго изъ стекла, параллельно направленію луча, падающаго на стекло.*



Черт. 131.

104. Полное внутреннее отраженіе въ стеклахъ. Изъ формулы для показателя преломленія

$$\frac{\sin a}{\sin b} = m,$$

гдѣ a и b величины перемѣнныя, а m величина постоянная, видно, что съ увеличеніемъ a увеличивается и b, а при наибольшей величинѣ угла паденія, равной 90°, для наибольшей величины угла преломленія получится формула:

$$\sin b = \frac{1}{m}.$$

Для чистаго зеркальнаго стекла, называемаго кронгласовымъ стекломъ, m равняется 1,534. Слѣдовательно, наибольшая величина угла пре-

ломленія для кронгласа опредѣляется изъ формулы:

$$\sin b = \frac{1}{1{,}534} = 0{,}652.$$

Вычисляя отсюда b, найдемъ:

$$b = 40^\circ\ 41',$$

т. е. при наибольшей величинѣ угла паденія, равной 90°, наибольшая величина угла преломленія для кронгласа равна 40° 41′.

По новѣйшимъ изслѣдованіямъ, найдено, что предѣльная величина угла преломленія для:

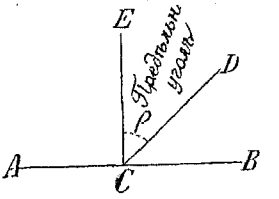
кронгласа равна . . . . . 41° 49′
флинтгласа*) „ . . . . . 36° 56′

Углы эти называются углами *предѣльными*. Мы будемъ обозначать ихъ буквою p.

Такимъ образомъ, можно сказать, что *если уголъ паденія равенъ 90°, то уголъ преломленія равенъ предѣльному углу, возможному для даннаго стекла.*

И обратно, *если уголъ паденія равенъ предѣльному углу преломленія стекла, то лучъ преломится подъ угломъ 90°, т. е. пойдетъ по направленію плоскости, на которую падаетъ лучъ.*

Такъ что, если лучъ DE (черт. 132) падаетъ подъ угломъ p на плоскость AB, то онъ преломится по направленію CA, т. е., другими словами, преломленія не произойдетъ.



Черт. 132.

Путемъ опытовъ доказано, что лучъ, упавшій на одну изъ поверхностей, ограничивающихъ стекло, преломится въ томъ только случаѣ, если уголъ его паденія меньше нѣкотораго предѣльнаго угла (напр. p). Такимъ образомъ, *если уголъ паденія больше предѣльнаго угла* ($a > p$), *то преломленія не послѣдуетъ* (черт. 132), *а лучъ отразится отъ плоскости* (EF) *по закону отраженія, т. е. уголъ отраженія будетъ равенъ углу паденія*, и обратно—*для того, чтобы послѣдовало*

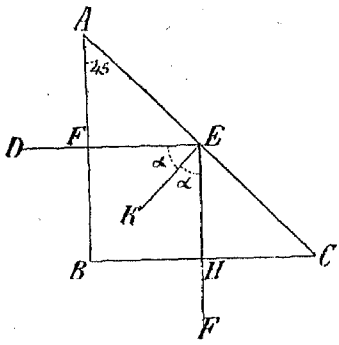
*) Флинтгласъ получается изъ кронгласа прибавленіемъ къ составу этого послѣдняго свинцовой окиси.

у данной поверхности отраженіе, а не преломленіе, необходимо, чтобы уголъ паденія былъ больше предѣльнаго угла.

Отраженіе лучей свѣта въ стеклахъ, ограниченныхъ какими либо поверхностями, совершающееся по указанному сейчасъ закону, называется *полнымъ внутреннимъ отраженіемъ.*

При углахъ паденія, меньшихъ предѣльнаго угла, одна часть лучей преломляется и выходитъ изъ стекла, другая же часть лучей отражается внутри стекла. При углѣ же бо́льшемъ предѣльнаго, лучи въ воздухъ не выходятъ, а въ полномъ количествѣ отражаются, поэтому подобнаго рода отраженіе называется *полнымъ внутреннимъ* отраженіемъ.

105. Какое направленіе получитъ лучъ свѣта по выходѣ изъ стеклянной треугольной призмы, если онъ падаетъ перпендикулярно къ катету призмы. Пусть ABC (черт. 133) представляетъ разрѣзъ стеклянной равнобедренно-треугольной призмы, т. е. такой, у которой углы A и C равны 45°. Если на призму падаетъ лучъ DF перпендикулярно къ катету AB, то этотъ лучъ пойдетъ въ стеклѣ, не преломляясь, и упадетъ на гипотенузную плоскость призмы подъ угломъ въ 45°, т. е. подъ угломъ бо́льшимъ предѣльнаго угла, а потому въ точкѣ паденія на гипотенузную плоскость онъ не преломится, а отразится отъ нея, на основаніи закона полнаго внутренняго отраженія. Отразится же онъ подъ угломъ въ 45°, а потому упадетъ на катетъ BC подъ прямымъ угломъ и, слѣдовательно, выйдетъ изъ призмы подъ тѣмъ же прямымъ угломъ къ катету BC.



Черт. 133.

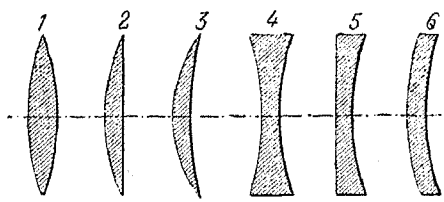
Итакъ, *лучъ свѣта, падающій на катетъ равнобедренной-треугольной стеклянной призмы подъ прямымъ угломъ, выходитъ изъ нея по направленію перпендикуляра, но къ другому катету призмы.*

Вслѣдствіе указанныхъ свойствъ призмы, ее употребляютъ въ геодезическихъ инструментахъ съ тѣми же цѣлями, какъ и зеркала. Но призмѣ отдаютъ предпочтеніе предъ зеркаломъ, потому что, бла-

годаря ей, предметъ кажется наблюдателю болѣе освѣщеннымъ, вслѣдствіе полнаго внутренняго отраженія.

106. Общія понятія о вогнутыхъ стеклахъ. Въ зрительныхъ трубахъ геодезическихъ инструментовъ употребляютъ стекла, ограниченныя сегментами шаровыхъ поверхностей (черт. 134).

Перпендикуляръ или нормаль проходящая черезъ центръ шаровыхъ поверхностей и опущенная на плоскости, отсѣкающія сегменты, называется *главною осью стекла*. На главной оси имѣется въ каждомъ стеклѣ такая точка, чрезъ которую лучи проходятъ, не преломляясь. Точка эта называется *оптическимъ центромъ стекла*. Поэтому лучи, падающіе на стекло по направленію оси, также не преломляются.

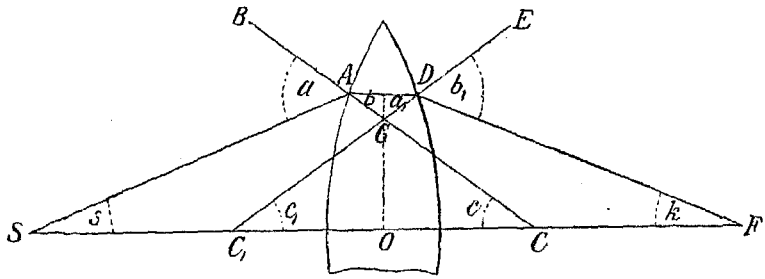


Черт. 134.

Сферическія стекла бываютъ шести различныхъ видовъ: 1) двояковыпуклыя, 2) плоско-выпуклыя, 3) выпукло-вогнутыя, 4) двояковогнутыя, 5) плоско-вогнутыя и 6) выпукло-вогнутыя.

107. Преломленіе лучей свѣта въ сферическомъ двояко-выпукломъ стеклѣ. Если возьмемъ двояко-выпуклое стекло, образованное двумя шаровыми поверхностями, радіусы которыхъ r и r_1, и если въ нѣкоторомъ разстояніи отъ стекла помѣстимъ на главной его оси свѣтящуюся или освѣщенную точку, то по другую сторону стекла получится изображеніе этой точки. Точно также, если на чертежѣ взять разрѣзъ двояко-выпуклаго стекла, изъ какой либо точки его главной оси провести къ стеклу нѣсколько направленій, изображающихъ собою лучи, исходящіе изъ взятой точки, построить ихъ ходъ въ стеклѣ и за стекломъ, на основаніи законовъ преломленія, то окажется, что всѣ лучи, падающіе вблизи главной оси, преломившись въ стеклѣ, пересѣкутся въ одной точкѣ. Точка эта называется *фокусомъ стекла*. А потому можно сказать: *лучи, выходящіе изъ одной точки, лежащей на главной оси двояко-выпуклаго стекла, и прошедшіе чрезъ него, пересѣкаются въ фокусѣ стекла. Лучъ, проходящій чрезъ центръ стекла, проходитъ чрезъ стекло, не преломляясь.*

Если разстояніе отъ свѣтящейся точки (черт. 135) до стекла назвать буквою d, разстояніе фокуса до стекла буквою f, радіусы шаровыхъ поверхностей буквами r и r_1 и, наконецъ, показатель



Черт. 135.

преломленія стекла буквою m, то изъ чертежа 135 можно вывести слѣдующую зависимость между величинами f, d, r, r_1 и m:

$$(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}.$$

Формула эта называется *основною формулою* сферическихъ стеколъ.

108. Выводъ основной формулы для сферическихъ стеколъ. На двояко-выпуклое стекло (черт. 135) падаетъ лучъ SA изъ свѣтящейся точки S, лежащей на главной оси стекла. Соединимъ точку A съ центромъ C шаровой поверхности стекла, тогда CB будетъ нормальной линіей къ шаровой поверхности, и, слѣдовательно SAB будетъ уголъ паденія, а DAC—уголъ преломленія. Если соединимъ D съ C_1—центромъ второй шаровой поверхности, то уголъ C_1DA будетъ уголъ паденія, а EDF—уголъ преломленія, слѣдовательно лучъ SA по выходѣ изъ стекла пойдетъ по направленію DF. Называя для краткости углы паденія и преломленія по порядку буквами a, b, a_1 и b_1, мы можемъ написать относительно ихъ такія формулы:

$$\frac{\sin a}{\sin b}=m \text{ и } \frac{\sin b_1}{\sin a_1}=m,$$

гдѣ m коэффиціентъ преломленія сферическаго стекла.

Величины угловъ a, b, a_1 и b_1 не велики, поэтому, замѣняя синусы (§ 98) соотвѣтствующими углами, умноженными на синусъ одной секунды, и сокращая на синусъ одной секунды обѣ дроби, мо-

жемъ написать:

$$\frac{a}{b} = m \text{ и } \frac{b_1}{a_1} = m,$$

или

$$a = bm \text{ и } b_1 = a_1 m,$$

а сложивъ эти равенства, найдемъ:

$$a + b_1 = (a_1 + b)\, m.$$

Въ треугольникахъ CGC_1 и AGD имѣется общій внѣшній уголъ EGC, для котораго можно написать двѣ формулы:

$$EGC = a_1 + b$$

$$EGC = c + c_1,$$

откуда

$$a_1 + b = c + c_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (I)$$

Кромѣ того, изъ чертежа точно такъ же видно, что

$$a = s + c \quad \text{и} \quad b_1 = c_1 + k,$$

сложивъ эти два равенства найдемъ:

$$a + b_1 = c + c_1 + s + k,$$

но

$$a + b_1 = (a_1 + b)\, m,$$

поэтому

$$(a_1 + b)\, m = c + c_1 + s + k,$$

или, на основаніи (1), получимъ:

$$(c + c_1)\, m = c + c_1 + s + k,$$

откуда

$$(m - 1)\ (c + c_1) = s + k.$$

Умноживъ обѣ части этого равенства на $sin\ 1''$, а по малости угловъ, входящихъ въ эту формулу, произведенія ихъ на $sin\ 1''$ можно замѣнить тангенсами, тогда найдемъ:

$$(m - 1)\ (tg\ c + tg\ c_1) = tg\ s + tg\ k.$$

Пренебрегая толщиною стекла и называя перпендикуляръ GO буквою h, разстояніе отъ свѣтящейся точки до стекла буквою d и, наконецъ, разстояніе отъ точки F до стекла буквою f, можно написать послѣднюю формулу еще иначе:

$$(m-1)\left(\frac{h}{r}+\frac{h}{r_1}\right)=\frac{h}{d}+\frac{h}{f}$$

или

$$(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Подобнымъ образомъ можно вывести формулу и для вогнутыхъ стеколъ, которая будетъ отличаться отъ выведенной (2) лишь знаками нѣкоторыхъ входящихъ въ нее величинъ, а именно: въ двояковогнутомъ оба радіуса отрицательные, при выпукло-вогнутомъ меньшій радіусъ отрицательный, а бо́льшій положительный, при плосковогнутомъ одинъ радіусъ отрицательный, а другой равенъ безконечности.

109. Изслѣдованіе формулы, относящейся къ сферическимъ стекламъ, и вытекающія изъ этого изслѣдованія важныя свойства этихъ стеколъ. Въ стеклахъ, употребляемыхъ въ оптическихъ приборахъ, коэффиціентъ преломленія стекла берется равнымъ $^3/_2$, поэтому для стеколъ такого рода выведенная въ предыдущемъ параграфѣ формула:

$$(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)=\frac{1}{d}+\frac{1}{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

принимаетъ такой видъ:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Радіусы обѣихъ поверхностей двояко-выпуклаго стекла въ геодезическихъ инструментахъ почти всегда берутъ одинаковые, отчего формула (2) переходитъ въ такую:

$$\frac{1}{r}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Если на стекло падаютъ лучи отъ очень отдаленнаго предмета, напр., отъ какого либо небеснаго свѣтила, то разстояніе отъ такого предмета до стекла можно считать равнымъ безконечности, а дробь $\frac{1}{d}$ равною нулю. Въ этомъ случаѣ фокусное разстояніе означаютъ буквою F и фокусъ для такихъ лучей называютъ *главнымъ фокусомъ*.

При этомъ формулы (1), (2) и (3) обращаются въ такія:

$$(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)=\frac{1}{F} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)=\frac{1}{F} \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

$$\frac{1}{r}=\frac{1}{F} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

Такъ какъ лѣвыя части формулъ (1), (2) и (3) такія же, какъ и лѣвыя части формулъ (4), (5) и (6), то для какихъ угодно лучей, падающихъ на сферическое стекло, можемъ написать общую формулу:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}, \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

гдѣ d разстояніе свѣтящейся точки до стекла, f — разстояніе изображенія ея до стекла и F — главное фокусное разстояніе.

Изъ формулъ 4, 5 и 6 можно найти величину главнаго фокуснаго разстоянія F для различнаго рода стеколъ. Такъ, для двояко-выпуклаго стекла, у котораго $r=r_1$, изъ формулы (6) получаемъ $F=r$, т. е. *въ двояко-выпукломъ стеклѣ, образованномъ шаровыми поверхностями одинаковыхъ радіусовъ, главное фокусное разстояніе равно радіусу шаровыхъ поверхностей, и притомъ оно положительное.*

Для плоско-выпуклаго стекла одинъ изъ радіусовъ, напр., r_1 равенъ безконечности, поэтому изъ формулы (5) получаемъ:

$$\frac{1}{2r}=\frac{1}{F}, \text{ или } F=2r,$$

т. е. *въ плоско-выпукломъ стеклѣ главное фокусное разстояніе равно двойному радіусу шаровой поверхности стекла, и притомъ оно положительное.*

Для выпукло-вогнутаго стекла, или мениска, центры обѣихъ шаровыхъ поверхностей находятся въ одной сторонѣ, слѣдовательно, въ формулѣ (5) бо́льшій радіусъ отрицательный, а потому имѣемъ:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_1}\right)=\frac{1}{F}, \text{ или } \frac{r_1-r}{2rr_1}=\frac{1}{F}, \text{ или } F=\frac{2rr_1}{r_1-r}.$$

Такъ какъ $r_1>r$, то $\frac{r_1}{r_1-r}$ неправильная дробь, а отсюда $F>2r$, т. е. *въ выпукло-вогнутомъ стеклѣ главное фокусное разстояніе больше двойной величины меньшаго радіуса, и притомъ величина главнаго фокуснаго разстоянія положительная.*

Итакъ, въ стеклахъ двояко-выпуклыхъ, плоско-выпуклыхъ и выпукло-вогнутыхъ главное фокусное разстояніе есть величина положительная. Это показываетъ, что стекла эти собираютъ падающіе на нихъ лучи на сторонѣ противоположной свѣтящейся или освѣщенной точкѣ, а поэтому двояко-выпуклыя, плоско-выпуклыя и выпукло-вогнутыя стекла называются *собирательными стеклами*.

Такъ какъ у двояко-вогнутаго, плоско-вогнутаго и выпукло-вогнутаго стеколъ одинъ или оба радіуса отрицательные, то главное фокусное разстояніе для такихъ стеколъ (5) получается отрицательнымъ, т. е. эти стекла даютъ изображенія съ той же стороны, съ которой расположенъ предметъ. На этомъ основаніи, двояко-вогнутое, плоско-вогнутое и выпукло-вогнутое стекла называются *разсѣевающими*.

Изъ формулы (7) видно, что если d обратится въ f, то, для сохраненія равенства, f должно обратиться въ d, т. е., если свѣтящаяся точка перейдетъ въ фокусъ стекла, то фокусъ перемѣстится въ точку, гдѣ прежде была свѣтящаяся точка. На этомъ основаніи (черт. 135), точки S и F называются *сопряженными фокусами*.

110. Измѣненіе разстоянія отъ изображенія до стекла съ измѣненіемъ разстоянія отъ предмета до стекла. Формулу (7) можно представить въ одномъ изъ такихъ видовъ:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}, \text{ или } \frac{1}{f} = \frac{d-F}{Fd}, \text{ или}$$

$$f = \frac{Fd}{d-F} = \frac{F}{1-\frac{F}{d}}.$$

Посмотримъ, какъ измѣняется разстояніе отъ изображенія до стекла, или f, съ измѣненіемъ разстоянія d отъ предмета до стекла.

Если: 1) $d=\infty$, то $f=F$.
„ 2) $d=2F$, то $f=2F$.
„ 3) $d=F$, то $f=\infty$.

Эти три случая приводятъ къ слѣдующему заключенію: *съ приближеніемъ предмета къ стеклу изъ безконечности до разстоянія, равнаго двойному главному фокусному разстоянію, разстояніе отъ стекла до изображенія увеличивается отъ ординарной величины главнаго фокуснаго разстоянія до двойной его величины, если же предметъ приблизится къ стеклу на величину главнаго фокуснаго раз-*

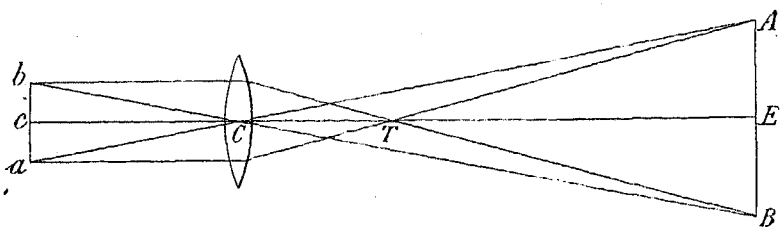
стоянія, то изображеніе удалится въ безконечность. А изъ этого послѣдняго обстоятельства слѣдуетъ, что лучи, проходящіе чрезъ фокусъ (3-й случай), упавъ на стекло и въ немъ преломившись, идутъ параллельно главной оси.

4) Если $d = \frac{F}{2}$, то $f = -F$, т. е., если d въ два раза меньше F, то f получается отрицательнымъ, или, другими словами, если *предметъ отстоитъ отъ стекла на разстояніе, равное половинѣ фокуснаго, то разстояніе до изображенія дѣлается отрицательнымъ*, т. е. *лучи сходятся въ одной точкѣ, находящейся отъ стекла по ту же сторону, гдѣ находится свѣтящаяся точка.* Такой фокусъ называется *мнимымъ фокусомъ.*

5) Если d отрицательное, напр., $d = -\frac{F}{2}$, то $f = \frac{F}{3}$, т. е. $f > F$.

Формула (5) показываетъ, что для стеколъ вогнутыхъ или оба радіуса надо взять отрицательными, или одинъ, поэтому для такихъ стеколъ членъ $\frac{1}{2}\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}\right)$ есть величина отрицательная, а потому и главное фокусное разстояніе также отрицательное, это значитъ, что такія стекла не собираютъ лучей, а разсѣеваютъ ихъ, и фокусъ лучей въ такихъ стеклахъ называется *мнимымъ.*

111. Какъ получаются изображенія въ выпуклыхъ стеклахъ. Если отъ предмета AB (черт. 136) падаютъ лучи на двояко-вы-



Черт. 136.

пуклое стекло, то одни изъ нихъ пойдутъ чрезъ центръ стекла, не преломляясь, а другіе, проходящіе чрезъ главный фокусъ, войдя въ стекло, преломятся и пойдутъ параллельно главной оси; такимъ образомъ, за стекломъ, въ пересѣченіи этихъ лучей, получится изображеніе точекъ A и B, именно въ точкахъ a и b; изображеніе же всѣхъ другихъ точекъ предмета AB будетъ находиться на линіи ab.

112. Величина изображенія въ выпуклыхъ стеклахъ. Назовемъ для краткости величину предмета AB буквою G, а величину изображенія ab буквою g. Разстояніе отъ центра стекла до предмета назовемъ буквою d, а до изображенія буквою f, тогда изъ подобныхъ треугольниковъ (черт. 136) aCb и ACB найдемъ:

$$\frac{g}{G} = \frac{f}{d},$$

или

$$g = G.\ \frac{f}{d}.$$

Но изъ формулы (§ 110): $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$

имѣемъ:

$$\frac{f}{d} = \frac{F}{d - F},$$

а потому внося эту величину d въ выраженіе для g, получимъ:

$$g = G.\ \frac{F}{d - F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Такимъ образомъ, эта формула даетъ возможность опредѣлять величину изображенія, получаемаго чрезъ двояко-выпуклое стекло, если извѣстны: величина самого предмета, разстояніе отъ него до стекла и величина главнаго фокуснаго разстоянія стекла.

Напримѣръ, величина предмета 2 сажени, разстояніе отъ него до стекла 100 саженъ, главное фокусное разстояніе равно 0,2 саж., тогда

$$g = 2\left[\frac{0{,}2}{100 - 0{,}2}\right],$$

или

$$G = \frac{4}{998},$$

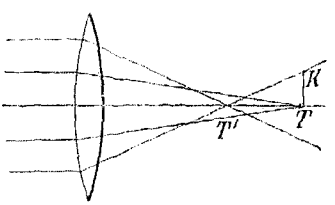
т. е. изображеніе въ этомъ случаѣ равно почти четыремъ тысячнымъ сажени.

113. Сферическая аберація стеколъ. Выше мы сказали, что лучи свѣта, послѣ преломленія въ стеклѣ, собираются въ одной точкѣ, называемой фокусомъ стекла. Этотъ законъ, дѣйствительно, вполнѣ справедливъ для лучей центральныхъ, т. е. для лучей, проходящихъ вблизи оптической оси; лучи же, падающіе вблизи краевъ стекла, преломляются сильнѣе и соединяются въ точкахъ, расположенныхъ ближе къ стеклу, чѣмъ главный фокусъ. Явленіе несовпаданія фо-

кусовъ центральныхъ и крайнихъ лучей называется *сферической аберраціей*.

Разстояніе между фокусами крайнихъ и центральныхъ лучей называется *продольной сферической аберраціей*. Перпендикуляръ къ главной оси изъ фокуса центральныхъ лучей до пересѣченія съ крайнимъ преломленнымъ лучемъ называется *поперечною сферическою аберраціею*. На чертежѣ 137 линія TT' представляетъ продольную сферическую аберрацію, а линія TK—поперечную аберрацію.

Сферическая аберрація дѣлаетъ изображенія предметовъ неясными. Для уменьшенія неясности, образующейся вслѣдствіе сферической аберраціи, подбираютъ надлежащимъ образомъ радіусы кривизны стеколъ. Двояко-выпуклое стекло имѣетъ наименьшую сферическую аберрацію тогда, когда радіусъ кривизны одной поверхности относится къ радіусу другой, какъ 1 къ 6, и когда болѣе выпуклая сторона обращена къ параллельнымъ лучамъ. Такое стекло называется *стекломъ наилучшаго вида*. Двояко-выпуклое стекло, имѣющее одинаковыя кривизны съ обѣихъ сторонъ, имѣетъ аберрацію почти на 60% бо́льшую, нежели стекла наилучшаго вида, если притомъ фокусныя разстоянія сравниваемыхъ стеколъ одинаковы.



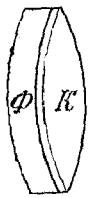
Черт. 137.

Если плоско-выпуклое стекло обращено къ параллельнымъ лучамъ выпуклою стороною, то оно имѣетъ аберрацію меньшую въ четыре раза, нежели въ томъ случаѣ, когда оно обращено къ лучамъ параллельнымъ плоскою стороною. Сравнительно съ стекломъ наилучшаго вида, плоско-выпуклое стекло имѣетъ аберрацію бо́льшую на 8%, если оно обращено къ параллельнымъ лучамъ выпуклою стороною.

Для полнаго уничтоженія сферической аберраціи стеколъ ихъ составляютъ изъ двухъ стеколъ разной кривизны. Такія сферическія стекла называются *апланатическими*.

Первое апланатическое стекло было изготовлено Джономъ Долондомъ въ 1758 г. и состояло изъ двояко-выпуклаго и двояко-вогнутаго стеколъ (черт. 138). Петръ Долондъ (въ 1765 г.) изготовилъ апланатическое стекло, состоящее изъ двухъ двояко-выпуклыхъ стеколъ и между ними одного двояко-вогнутаго стекла, Дж. Гершель

(въ 1821 году)—изъ двояко-выпуклаго и выпукло-вогнутаго, а Гаусъ предлагалъ устраивать апланатическія стекла изъ вогнуто-выпуклаго (мениска) кронгласоваго стекла и выпукло-вогнутаго (черт. 139). Почти всегда во всѣхъ геодезическихъ инструментахъ употребляются стекла по системѣ Фраунгофера, состоящія изъ двояко-выпуклаго и плоско-вогнутаго (черт. 140).



Черт. 138.


Черт. 139.

Если имѣется стекло не апланатическое, то для уменьшенія его сферической аберраціи уменьшаютъ его отверстіе, дабы крайніе лучи не падали на стекло; для этой цѣли на стекла надѣваютъ *діафрагмы*, т. е. металлическія пластинки съ круглыми отверстіями.

114. Общее понятіе о свѣторазсѣяніи, или хроматизмѣ. Когда мы говорили о прохожденіи лучей свѣта черезъ призмы, то принимали, что всякій падающій лучъ свѣта даетъ одинъ преломленный лучъ, имѣющій опредѣленный показатель преломленія. Но въ дѣйствительности лучъ солнечнаго или, вообще, бѣлаго свѣта, проходя чрезъ призму, можетъ разлагаться на разноцвѣтные лучи, подобные тѣмъ, какіе представляются намъ въ радугѣ, т. е. на цвѣта въ такомъ порядкѣ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій и фіолетовый.

Если лучъ свѣта проходитъ чрезъ стекло, ограниченное параллельными плоскостями, то разложенія на разноцвѣтные лучи не происходитъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ лучи, совпадавшіе между собою до вхожденія ихъ въ это стекло, какъ бы они ни преломлялись и ни разлагались, по выходѣ изъ него также идутъ по направленію ихъ паденія. Подобно этому, лучи, падающіе на катетъ равнобедренной призмы и выходящіе изъ призмы подъ тѣмъ же угломъ къ другому катету, точно также не разлагаются на разноцвѣтные лучи. Когда же лучи проходятъ чрезъ призму непрямоугольную или чрезъ прямоугольную, но проходятъ около остраго ея угла чрезъ гипотенузу, падая на катетъ, то они разлагаются на разноцвѣтные лучи. Явленіе это называется *свѣторазсѣяніемъ*, или *хроматизмомъ*.

115. Хроматическая аберація. Сферическое стекло можетъ быть раздѣлено плоскостями, параллельными главной оптической оси, на

части, изъ которыхъ каждая можетъ быть разсматриваема, какъ часть призмы, а потому каждая изъ этихъ частей можетъ разсѣевать лучи свѣта, или разлагать ихъ на цвѣтные лучи. Поэтому лучи свѣта, проходя черезъ сферическое стекло, разлагаются на цвѣтные лучи, имѣющіе различное преломленіе, вслѣдствіе чего изображеніе предмета представляется окруженнымъ цвѣтными коймами и потому дѣлается неяснымъ. Явленіе это называется *хроматическою аберацiею*, для уничтоженія которой, вмѣсто простого объектива употребляется такъ называемый *ахроматическій*, состоящій изъ двухъ стеколъ различной плотности. Одно изъ этихъ стеколъ, двояко-выпуклое (черт. 138), дѣлается изъ *кронгласа*, а другое, вогнутое, изъ *флинтгласа*. Флинтгласовое стекло обращено къ кронгласу своею вогнутою стороною, но нигдѣ не прикасается къ нему, что достигается прокладкою въ трехъ мѣстахъ, по краямъ стеколъ, маленькихъ кусочковъ фольги. Такое сложное стекло называется *ахроматическимъ*.

Ахроматическимъ стекламъ даютъ такіе радіусы кривизны, которыми обусловливалось бы уничтоженіе сферической аберацiи, а такого рода стекла, называются *ахроматическо-апланатическими стеклами*.

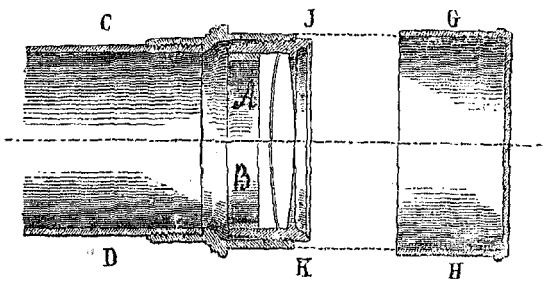
До середины XVIII в. не умѣли приготовлять ахроматическихъ стеколъ. Впервые же они были устроены, какъ было уже сказано, лондонскимъ оптикомъ Долондомъ.

116. Аберацiя формы. Часто случается, что изображенія предметовъ въ ахроматическомъ и апланатическомъ объективѣ получаются достаточно ясными и неокрашенными, однако, кажутся не вполнѣ вѣрными. Такъ, напр., вмѣсто того, чтобы прямыя линіи казались дѣйствительно прямыми, онѣ кажутся кривыми, или предметы, имѣющіе правильную шаровидную форму, кажутся продолговатыми (солнце, луна) и т. д. Подобный недостатокъ стеколъ называется *аберацiей формы*, а вліяніе этой аберацiи устраняется исключительно помощью діафрагмы, позволяющей видѣть только ту часть изображенія, въ которой искаженія являются наименьшими.

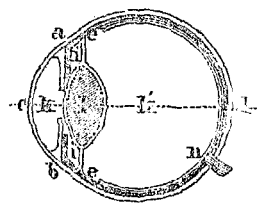
117. Устройство апланатическихъ объективовъ въ геодезическихъ инструментахъ. На чертежѣ 140 представленъ составной объективъ изъ выпукло-вогнутаго и двояко-выпуклаго стеколъ. Эти два стекла заключены въ двѣ оправы AB и IK, причемъ оправа AB

ввинчена въ оправу *IK*, а эта послѣдняя—въ кольцо *IK*, навинченное, въ свою очередь, на цилиндрическій конецъ трубы *CD*. Крышка *GH* надѣвается на кольцо *IK*, держится на немъ однимъ треніемъ и служитъ для предохраненія объектива отъ порчи вслѣдствіе излишняго свѣта, сырости и т. п.

118. О глазѣ человѣка. Глазъ человѣка состоитъ изъ нѣсколькихъ различно преломляющихъ свѣтъ веществъ, разграниченныхъ центрированными поверхностями. Почти все глазное яблоко заключено (черт. 141) въ шаровидную непрозрачную *оболочку*, называемую *склеротикой*. Передняя часть склеротики *acb* прозрачна, она называется глазною оболочкою и имѣетъ бо́льшую кривизну, чѣмъ остальная часть склеротики. Внутренняя часть склеротики покрыта другою *оболочкою*, называемой *хоріидеей*. Часть хоріидеи *ii*, лежащая противъ роговой оболочки, называется *радужной* оболочкою; она у разныхъ людей имѣетъ различный цвѣтъ. Въ серединѣ радужной оболочки находится круглое отверстіе *k*, діаметромъ около 0,06 дюйма, называемое зрачкомъ. Задняя часть полости глаза внутри выстлана *сѣтчатою* оболочкою, называемою также *ретиною* и представляющею развѣтвленіе глазного нерва *n*, проникающаго внутрь глаза чрезъ склеротику и хоріидею. Сѣтчатая оболочка есть органъ ощущенія свѣта. Внутри этихъ трехъ оболочекъ глаза, склеротики, хоріидеи и сѣтчатой оболочки, находятся три прозрачныхъ средины: 1) *хрусталикъ l*, заключенный въ особую сумку и помѣщающійся за отверстіемъ радужной оболочки, 2) *водянистая влага k*, наполняющая часть полости глаза между роговою оболочкой и хрусталикомъ, и 3) *стекловидное тѣло k*, находящееся между хрусталикомъ и сѣтчатою оболочкой.



Черт. 140.



Черт. 141.

Прозрачныя части глаза: роговая оболочка, водянистая влага-хрусталикъ и стекловидное тѣло, преломляютъ лучи свѣта, приходя, щіе въ глазъ. Показатели преломленія этихъ отдѣльныхъ прозрачныхъ срединъ неодинаковы. Точка глаза, обладающая тѣмъ свойствомъ, что лучи, проходящіе чрезъ нее, не преломляются, называется *оптическимъ центромъ глаза*. Оптическій центръ глаза находится позади хрусталика, и при разсматриваніи предметовъ перемѣщается на малыя разстоянія.

Глазъ человѣка представляетъ собою собирательную оптическую систему, могущую давать дѣйствительное изображеніе предметовъ, но систему не неизмѣнную, такъ какъ для отчетливаго разсматриванія предметовъ не требуется помѣщать ихъ на опредѣленномъ и одинаковомъ разстояніи отъ глаза: мы видимъ отчетливо предметы, т. е. получаемъ на нервной сѣткѣ изображенія предметовъ, отстоящихъ отъ насъ на различныхъ разстояніяхъ, благодаря тому, что глазъ обладаетъ способностью приспособленія, или акомодаціи, т. е. способностью нѣсколько измѣнять кривизну и разстоянія преломляющихъ поверхностей. Процессъ приспособленія глаза состоитъ въ слѣдующемъ. Зрачекъ съуживается для близкихъ предметовъ и расширяется для далекихъ, чѣмъ достигается прохожденіе крайнихъ лучей отъ предметовъ чрезъ оптическій центръ глаза. Внутренній край радужной оболочки и передняя поверхность хрусталика, при разсматриваніи близкихъ предметовъ, подвигаются немного къ передней части глаза. Кривизна обѣихъ поверхностей хрусталика также измѣняется, и притомъ у передней поверхности больше, чѣмъ у задней. При разсматриваніи близкихъ предметовъ, кривизны хрусталика увеличиваются. Всѣ эти акомодативныя измѣненія въ глазѣ происходятъ помимо нашей воли, и, вообще, мы ихъ не сознаемъ.

Для каждаго глаза существуетъ множество разстояній отчетливаго видѣнія, заключающихся въ извѣстныхъ предѣлахъ, и, когда говорятъ о разстояніи отчетливаго видѣнія, или яснаго зрѣнія, то при этомъ подразумѣваютъ наименьшее разстояніе, при которомъ предметъ можетъ быть виденъ отчетливо. Но каждый глазъ видитъ отчетливо на различныхъ разстояніяхъ; поэтому подъ разстояніемъ яснаго зрѣнія надо подразумѣвать наименьшее разстояніе, при которомъ предметъ можетъ быть виденъ отчетливо. Близорукіе могутъ приспособляться къ видѣнію предметовъ, находящихся только на небольшихъ

разстояніяхъ; дальнозоркіе къ видѣнію только отдаленныхъ предметовъ. Это происходитъ оттого, что у близорукихъ глаза слишкомъ сильно преломляютъ лучи свѣта, а у дальнозоркихъ слишкомъ слабо. Нормальнымъ же глазомъ считается такой, который видитъ предметы отчетливо, когда они удалены отъ него почти на 30 сантиметровъ.

Изображенія предметовъ, отстоящихъ отъ глаза дальше, чѣмъ его фокусное разстояніе, должны получаться обратными. Видимъ же мы ихъ въ дѣйствительности въ прямомъ положеніи, а не обратномъ. Это объясняютъ привычкою, добытою опытомъ, переносить верхнюю часть изображенія внизъ, а нижнюю вверхъ.

Въ каждомъ глазѣ человѣка получается изображеніе одного и того же предмета, но эти оба изображенія производятъ на насъ впечатлѣніе одного предмета, когда они получаются на *соотвѣтственныхъ* мѣстахъ обѣихъ нервныхъ сѣтокъ. Изображенія же другихъ боковыхъ предметовъ получаются на симетричныхъ мѣстахъ сѣтокъ, но не на соотвѣтственныхъ, поэтому боковые предметы мы видимъ вдвойнѣ.

119. Общее понятіе объ углѣ зрѣнія, или полѣ зрѣнія. Если передъ глазомъ находится предметъ на разстояніи бо́льшемъ, нежели 30 сантиметровъ, т. е. на разстояніи бо́льшемъ яснаго зрѣнія, то лучи, идущіе отъ концовъ этого предмета, проходя чрезъ оптическій центръ глаза, проходятъ прямолинейно, и изображеніе предмета получается на глазной сѣткѣ. Уголъ, составленный этими лучами въ оптическомъ центрѣ глаза, называется *угломъ зрѣнія*.

Угломъ зрѣнія опредѣляется видимая величина предмета, такъ что если мы видимъ различной величины предметы подъ однимъ угломъ зрѣнія, то они кажутся намъ предметами одной величины. Если разсматривать предметы разной величины, удаленные отъ насъ на одно и то же разстояніе, то углы зрѣнія для каждаго изъ предметовъ будутъ различные, и для самаго большого изъ нихъ уголъ зрѣнія будетъ наибольшій. Если смотрѣть на движущійся предметъ, то онъ кажется уменьшающимся, когда онъ удаляется отъ глаза; въ то же время и уголъ зрѣнія будетъ уменьшаться (черт. 142). Точно также предметы различной величины могутъ казаться подъ однимъ и тѣмъ же угломъ зрѣнія (черт. 143), когда они отстоятъ отъ глаза на разныхъ разстояніяхъ. Величина угла зрѣнія опредѣляется (черт. 142) по формулѣ:

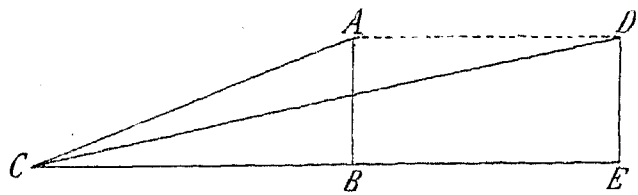
$$tg\,\alpha = \frac{h}{a},$$

гдѣ α—уголъ зрѣнія, h—величина предмета, а d—разстояніе предмета отъ глаза. Для малыхъ угловъ зрѣнія можно написать:

$$\alpha = \frac{h}{d},$$

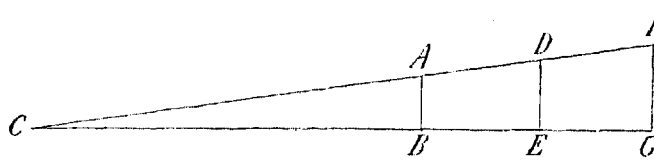
т. е. *уголъ зрѣнія равенъ отношенію величины предмета къ разстоянію его отъ глаза наблюдателя.*

Мы можемъ различать предметы, уголъ зрѣнія которыхъ не меньше нѣкотораго предѣла. Предѣлъ этотъ зависитъ отъ свойства



Черт. 142.

каждаго глаза, а также и отъ яркости лучей, испускаемыхъ предметами или освѣщающихъ предметы. Для различныхъ глазъ наименьшій уголъ, при которомъ предметъ, умѣренно освѣщенный, можетъ быть видимъ среднею частью глаза, колеблется между 10 и 20 секун-



Черт. 143.

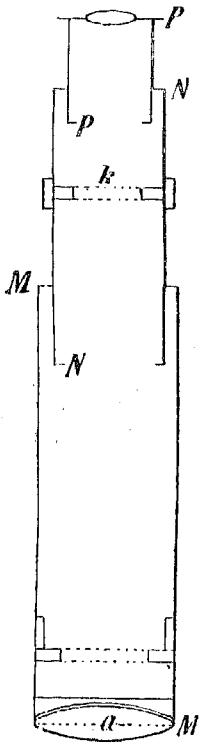
дами; для ярко-освѣщенныхъ предметовъ онъ можетъ быть значительно меньше.

Такъ какъ уголъ зрѣнія уменьшается во 1-хъ съ уменьшеніемъ наблюдаемаго предмета, во 2-хъ съ удаленіемъ предмета отъ глаза, то, при существованіи упомянутаго наименьшаго предѣла угла зрѣнія, необходимаго для видѣнія, мы не можемъ видѣть простымъ глазомъ, невооруженнымъ оптическимъ снарядомъ, ни очень малыхъ предметовъ, ни мелкихъ частей ихъ, ни подробностей очень отдаленныхъ, хотя бы и большихъ предметовъ.

Глава X.

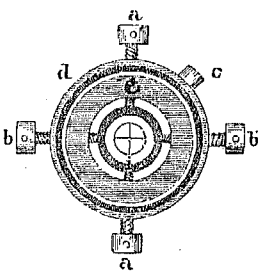
О ТРУБАХЪ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХЪ ИНСТРУМЕНТОВЪ.

120. Общее понятіе о зрительной трубѣ. Трубы геодезическихъ инструментовъ дѣлаются всегда изъ трехъ мѣдныхъ цилиндровъ, или колѣнъ, входящихъ одно въ другое (черт. 144). Въ бо́льшемъ колѣнѣ MM помѣщается двояко-выпуклое или же ахроматическое стекло a, которымъ обыкновенно обращаютъ трубу къ предмету, откуда и названіе его *предметное* стекло, или *объективъ*. Второй цилиндръ NN свободно передвигается въ первомъ MM посредствомъ особаго винта.

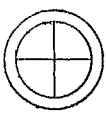


Черт. 144.

Во второй цилиндръ входитъ третій, небольшой цилиндрикъ pp, выдвигающійся и вдвигающійся въ NN, съ однимъ или двумя двояко-выпуклыми стеклами. Это собственно лупа, или простой микроскопъ, посредствомъ котораго увеличиваются изображенія предметовъ, получаемыхъ въ трубѣ чрезъ объективъ. Цилиндръ этотъ, по цѣли, съ какою онъ устраивается въ трубахъ, обращается всегда къ глазу наблюдателя и называется *глазнымъ* колѣномъ, или *окуляромъ*.



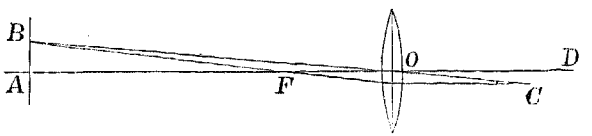
Черт. 145.


Черт. 146.

Описанная труба носитъ названіе *астрономической* въ отличіе отъ *земной*, устраиваемой изъ бо́льшаго числа стеколъ, обыкновенно изъ 5-ти. Въ первой предметы представляются въ обратномъ видѣ, а во 2-й — въ прямомъ. Въ геодезическихъ инструментахъ предпочти-

тельно употребляются трубы астрономическія: онѣ короче и даютъ болѣе ясное изображеніе.

Между объективомъ и окуляромъ, въ среднемъ колѣнѣ трубы NN, помѣщается мѣдное кольцо съ сѣткою изъ двухъ перекрестныхъ нитей или волосковъ (черт. 145 и 146), горизонтальнаго и вертикальнаго. Колѣно NN называется *сѣточнымъ* колѣномъ. Для удерживанія кольца въ трубѣ и исправленія положенія сѣтки, въ утолщенную часть колѣна NN ввинчиваются два или четыре винтика. Иногда сѣтка вырѣзывается на стеклѣ,—что гораздо практичнѣе нитей или волосковъ,—которые при чисткѣ стеколъ и трубы, а также при переноскѣ, легко могутъ быть порваны, а вслѣдствіе своей гигроскопичности, могутъ искривиться. Иногда сѣтку дѣлаютъ изъ тончайшей платиновой проволоки. Весьма часто устраивается также сѣтка



Черт. 147.

съ тремя горизонтальными и одной вертикальной нитью. Средняя горизонтальная нить отстоитъ тогда отъ крайнихъ на равныхъ разстояніяхъ.

Въ зрительной трубѣ прямая линія, соединяющая центры оптическихъ стеколъ, называется *главною осью трубы*; иногда ее называютъ также *геометрическою* осью трубы.

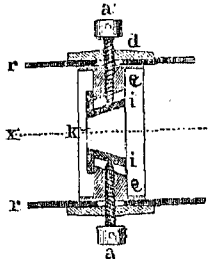
Пересѣченіе нитей, или *центръ сѣтки*, въ большинствѣ случаевъ, совпадаетъ съ *главною осью*, и тогда главная ось называется также *оптическою осью*, *коллимаціонною*, или *визирною линіей*. Слѣдовательно, визирная линія проходитъ чрезъ центръ сѣтки и центръ объектива. Центръ сѣтки служитъ прицѣломъ для точнаго наведенія трубы на предметъ по направленію визирной линіи.

Если центръ сѣтки не совпадаетъ съ главною осью, то въ точкѣ C, центрѣ сѣтки (черт. 148), будетъ видна не точка A, а точка B, отъ которой одинъ лучъ свѣта идетъ черезъ центръ стекла, не преломляясь, а другой, проходящій черезъ точку F, внѣшній фокусъ объектива, а, преломившись въ стеклѣ, идетъ параллельно главной оси. Слѣ-

довательно, и въ этомъ случаѣ визирная линія проходитъ черезъ центръ сѣтки и центръ объектива.

121. Подробное описаніе сѣтки трубы. Въ общемъ описаніи астрономической трубы мы сказали, что въ среднемъ колѣнѣ ея, называемомъ сѣточнымъ, помѣщается кольцо, на которомъ натянуты нити, или сѣтка, служащая прицѣломъ, для точнаго наведенія трубы на предметъ по опредѣленной линіи, соединяющей оптическій центръ объектива съ пересѣченіемъ нитей (§ 121).

Если сѣтка устроена изъ паутины, то она очень часто рвется или же коробится, такъ что вмѣсто прямыхъ линій она пріобрѣтаетъ видъ искривленныхъ линій. Если приходится работать вдали отъ мѣстъ, гдѣ имѣются оптики, то исправленіе сѣтки необходимо умѣть дѣлать самому съемщику.



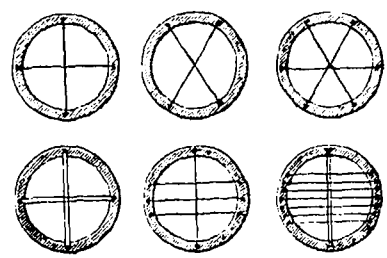
Черт. 148.

Первое, о чемъ въ этомъ случаѣ надо позаботиться — это получить паутинную нить; для этого надо найти паутинное гнѣздо, и вечеромъ, когда паукъ начнетъ спускаться на паутинѣ, ее перехватываютъ на одну изъ ножекъ циркуля, навиваютъ на раскрытыя ножки и прикрѣпляютъ къ нимъ воскомъ. Затѣмъ дышатъ на нить и, по мѣрѣ ея удлиненія, раскрываютъ ножки циркуля все больше и больше, пока паутина не получитъ наибольшаго натяженія. Положивъ сѣточное кольцо на столъ или на особую доску вверхъ узкимъ отверстіемъ, ставятъ надъ нимъ ножки циркуля такъ, чтобы направленіе нитей было противъ тонкихъ нарѣзовъ кольца и укрѣпляютъ ножки циркуля въ доску, затѣмъ при помощи булавки вправляютъ одну нить въ нарѣзы, сдѣланные въ сѣточномъ кольцѣ. Когда нить займетъ надлежащее мѣсто, то на кольцо капаютъ лакомъ въ мѣстахъ расположеніи нити, а когда лакъ высохнетъ, и нить окажется прикрѣпленною къ кольцу, тогда обрѣзаютъ концы нитей.

Чертежъ 148 представляетъ продольный разрѣзъ части сѣточнаго колѣна въ мѣстѣ расположенія сѣтки. Кольцо (*ii*), имѣющее въ разрѣзѣ форму усѣченнаго конуса (черт. 148), удерживается въ оправѣ при помощи четырехъ винтовъ (a, a' b, b'), проходящихъ свободно чрезъ овальныя дыры оправы (r, r) трубы и ввинчиваемыхъ въ кольца d и e, скрѣпленныя съ оправой винтомъ c. Винтики a и a', удерживающіе сѣточное кольцо, имѣютъ круглыя отвер-

стія для вкладыванія въ нихъ небольшого аншпуга, которымъ эти винтики можно ослаблять или закрѣплять и такимъ образомъ перемѣщать сѣточное кольцо въ кольцѣ *e*.

Описанное устройство даетъ возможность также перемѣщать сѣтку вдоль оптической оси трубы; для этого надо сначала ослабить винтъ, скрѣпляющій кольцо *d* съ оправой *r* и затѣмъ рукою передвинуть кольцо *d*. Такого рода перемѣщеніе можетъ понадобиться въ томъ случаѣ, когда сѣтку надо поставить въ фокусѣ окуляра; а окуляръ не выдвигается, или въ томъ случаѣ когда наблюдатель, вдвинувъ окуляръ, все-таки не видитъ сѣтки, вслѣдствіе близорукости. Но такое устройство сѣтки, при которомъ она можетъ быть передвигаема вдоль оси трубы, не необходимо, и ниже мы будемъ видѣть устройства трубы, при которыхъ сѣточное кольцо не можетъ передвигаться вдоль оси (см. черт. 160 и 161).



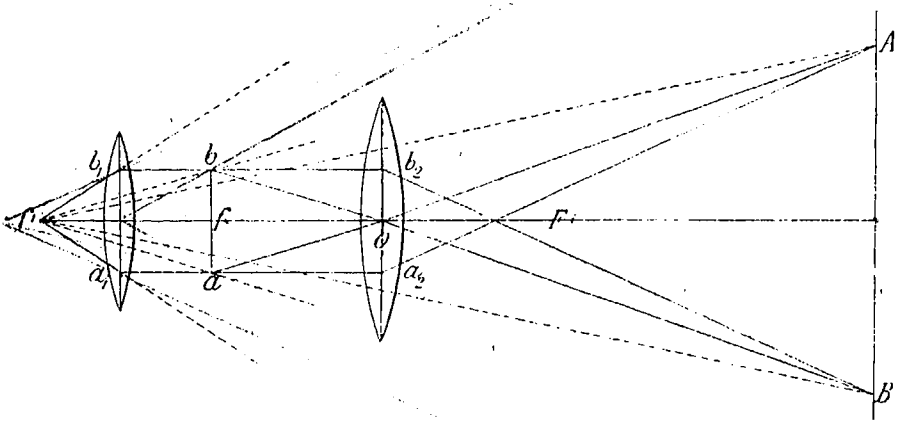
Черт. 150.

Нити сѣтки натягиваются съ узкой стороны кольца *ii*. Сѣтка дѣлается, какъ сказано выше, обыкновенно изъ паутинныхъ нитей, иногда изъ тончайшей платиновой проволоки, и, наконецъ, иногда въ кольцо *ii* вставляютъ плоское стекло съ нарѣзанными на немъ тончайшими чертами.

Располагаютъ нити различнымъ образомъ, такъ, на черт. 150, представлены шесть различныхъ расположеній нитей. Въ первомъ изъ этихъ расположеній центръ сѣтки опредѣляется пересѣченіемъ вертикальнаго и горизонтальнаго волосковъ, это самое употребительное расположеніе волосковъ въ обыкновенныхъ угломѣрныхъ инструментахъ. Второе и третье употребляются рѣже и лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда не приходится визировать на отвѣсные сигналы, а на какія либо точки. Въ четвертомъ расположеніи центромъ сѣтки служитъ центръ маленькаго четыреугольника, и при такомъ расположеніи достигается бо́льшая точность визированія, такъ какъ пересѣченіе нитей не закрываетъ визируемой точки. Пятое расположеніе, съ однимъ вертикальнымъ и тремя горизонтальными волосками, употребляется въ тѣхъ случаяхъ, когда труба геодезическаго инструмента служитъ для измѣренія разстояній, о чемъ будетъ сказано дальше. При этомъ распо-

ложеніи, точно такъ же, какъ при первомъ, центръ сѣтки опредѣляется пересѣченіемъ вертикальной и средней горизонтальной нити. Наконецъ, шестое расположеніе употребляется, главнымъ образомъ, въ тѣхъ случахъ, когда геодезическій инструментъ предназначается для астрономическихъ наблюденій. При этомъ расположеніи, центръ сѣтки опредѣляется серединою четвертой горизонтальной линіи, лежащей между двумя вертикальными волосками.

122. Ходъ лучей, падающихъ отъ предмета на объективъ трубы. Лучи, падающіе на различныя точки стекла, проходя чрезъ него, преломляются подъ различными углами. Всѣ лучи, идущіе отъ какой-нибудь точки предмета, пройдя чрезъ стекло, пересѣкаются



Черт. 149.

почти въ одной точкѣ; точка эта и будетъ, слѣдовательно, изображеніемъ точки предмета. Такимъ образомъ, для того, чтобы на чертежѣ получить изображеніе предмета, надо отъ концовъ его провести прямыя линіи чрезъ внѣшній фокусъ до стекла. Отъ полученныхъ такимъ образомъ точекъ a_2 и b_2 пересѣченія со стекломъ надо провести линіи, параллельныя главной оси. Точки пересѣченія этихъ послѣднихъ линій съ проведенными чрезъ центръ стекла O, отъ конечныхъ точекъ предмета AB, будутъ изображеніемъ крайнихъ точекъ его. Изображенія среднихъ точекъ предмета получатся точно такъ же, и онѣ расположатся между крайними точками изображенія. Дѣйствуя такимъ образомъ, получимъ изображеніе ba отъ предмета AB (черт. 149).

Полученное въ стеклѣ изображеніе предмета, какъ мы видѣли

въ § 112, очень мало, и для того, чтобы глазъ могъ видѣть это изображеніе, надо поставить 2-е стекло такъ, чтобы изображеніе было между нимъ и фокусомъ f этого 2-го стекла, тогда, очевидно (черт. 149), изображеніе будетъ разсматриваемо подъ бо́льшимъ угломъ зрѣнія, нежели при разсматриваніи его невооруженнымъ глазомъ.

Изъ всего этого слѣдуетъ, что въ трубахъ геодезическихъ инструментовъ изображеніе предметовъ получается при помощи объективовъ, а разсматриваніе изображеній совершается при помощи окуляровъ.

123. Увеличеніе трубы. Чѣмъ больше уголъ зрѣнія, тѣмъ больше кажется намъ видимый предметъ (§ 119), поэтому геометрическое отношеніе угловъ зрѣнія на предметъ при помощи трубы и невооруженнымъ глазомъ называется увеличеніемъ трубы (черт. 149), т. е.

$$\frac{b_1 f' a_1}{A f' B} = \textit{увеличенію трубы}.$$

Можно доказать, что это отношеніе почти равно отношенію фокусныхъ разстояній объектива и окуляра. Дѣйствительно, разстояніе отъ глаза до объектива O незначительно, сравнительно съ разстояніемъ до предмета AB, поэтому можно считать, безъ большой погрѣшности, углы $Af'B$ и AOB равными, тѣмъ болѣе, что углы эти, вообще говоря, небольшой величины; слѣдовательно, можно написать:

$$\frac{b_1 f' a_1}{AOB} = \frac{b_1 f' a_1}{A f' B} = \text{увеличенію трубы}.$$

Изъ треугольника $b_1 f' a_1$ имѣемъ:

$$\frac{b_1 a_1}{2} = F_1 \, tg \, \frac{b_1 f' a_1}{2},$$

гдѣ F_1 фокусное разстояніе окуляра, а также:

$$\frac{b_1 a_1}{2} = \frac{b a}{2} = F \, tg \, \frac{bOa}{2} = F \, tg \, \frac{AOB}{2},$$

гдѣ F фокусное разстояніе объектива, откуда:

$$F_1 \, tg \, \frac{b_1 f' a_1}{2} = F \, tg \, \frac{AOB}{2},$$

или

$$\frac{tg \, \frac{b_1 f' a_1}{2}}{tg \, \frac{AOB}{2}} = \frac{F}{F_1},$$

или, по малости угловъ, вмѣсто тангенсовъ ихъ, можемъ взять углы

и найдемъ:

$$\frac{b_1 f' a_1}{AOB} = \frac{F}{F_1} = \text{увеличенію трубы.}$$

Увеличеніе трубы будемъ обозначать буквою M, слѣд. $M = \frac{F}{F_1}$.

Изъ этой, хотя и не совершенно строгой формулы, слѣдуетъ, что *увеличеніе трубы тѣмъ больше, чѣмъ больше фокусное разстояніе объектива и чѣмъ меньше фокусное разстояніе окуляра.*

Въ геодезическихъ инструментахъ увеличеніе трубъ дѣлается равнымъ отъ 10 до 60, въ теодолитахъ механика Брейтгаупта въ Касселѣ—даже до 80.

124. Практическіе пріемы для опредѣленія увеличенія трубы. Формула, выведенная въ параграфѣ 123-мъ для увеличенія трубы:

$$M = \frac{F}{F_1}$$

въ практическомъ отношеніи неудобна, такъ какъ фокусныя разстоянія объектива и окуляра обыкновенно бываютъ неизвѣстны, и опредѣленіе величины ихъ, путемъ опытовъ, затруднительно. Поэтому, найденное выше отношеніе для увеличенія трубы стараются замѣнить другимъ отношеніемъ, величины котораго могли бы быть легче измѣрены.

Если трубу направить на небосклонъ, а противъ окуляра, невдалекѣ отъ него поставить бѣлый экранъ, параллельно объективу, то такимъ образомъ объективъ будетъ освѣщенъ, а на экранѣ получится свѣтлое пятно, представляющее изображеніе освѣщеннаго объектива. Передвигая экранъ предъ окуляромъ, можно найти, наконецъ, наиболѣе ясный и наименьшій кругъ.

Этотъ кругъ будетъ, слѣдовательно, изображеніемъ объектива на экранѣ, полученнымъ чрезъ окуляръ. Такимъ образомъ, къ освѣщенному объективу и къ полученному на экранѣ кругу можно примѣнить основную формулу оптики. Для этого положимъ, что разстояніе между оптическими центрами окуляра и объектива равно D, или длинѣ трубы, разстояніе отъ окуляра до экрана равно d, а фокусное разстояніе окуляра—F_1, тогда можемъ написать:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{D} = \frac{1}{F_1},$$

откуда

$$\frac{D}{d} = \frac{D - F_1}{F_1}.$$

Если R — радіусъ объектива и r — радіусъ его изображенія, то можно также написать:

$$\frac{2R}{2r} = \frac{D}{d} = \frac{D - F_1}{F_1}.$$

Но если главное фокусное разстояніе объектива равняется F, то $D - F_1 = F$, а потому:

$$\frac{2R}{2r} = \frac{F}{F_1}$$

и, слѣдовательно,

$$M = \frac{2R}{2r},$$

т. е. *увеличеніе трубы равно отношенію діаметровъ или радіусовъ объектива и изображенія объектива, полученнаго на экранѣ, поставленномъ предъ окуляромъ.* Отсюда также видно, что увеличеніе трубы тѣмъ больше, чѣмъ больше діаметръ объектива, или его отверстіе.

Чтобы измѣрить діаметръ $2r$ круга, получаемаго на экранѣ, по возможности точнѣе, экранъ для этой цѣли дѣлается изъ плоскаго стекла съ мелкими дѣленіями. Разсматривая эти дѣленія въ лупу, можно очень точно опредѣлить діаметръ круга. Точное же измѣреніе діаметра объектива не представляетъ никакихъ затрудненій.

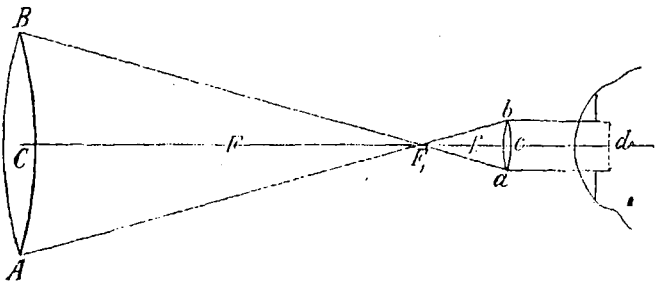
Полученное такимъ образомъ увеличеніе не выражаетъ дѣйствительнаго увеличенія трубы, на томъ основаніи, что наблюдатель, устанавливая экранъ для полученія круга, поставитъ его на томъ мѣстѣ, при которомъ этотъ кругъ будетъ для него совершенно яснымъ, т. е. поставитъ его соотвѣтственно индивидуальнымъ свойствамъ своего глаза, вслѣдствіе чего величина діаметра круга будетъ не та, какова бы она была при нормальномъ глазѣ. Но, конечно, увеличеніе трубы, полученное такимъ практическимъ путемъ, будетъ мало отличаться отъ дѣйствительнаго увеличенія.

Положимъ, что окуляръ отстоитъ отъ объектива на сумму $F + F_1$ (черт. 151) ихъ фокусныхъ разстояній, и что всѣ лучи свѣта, прошедшіе чрезъ объективъ діаметра O и упавшіе на окуляръ въ видѣ конуса Fab, по выходѣ изъ него въ видѣ цилиндра попадаютъ въ зрачекъ (d) глаза, діаметръ котораго положимъ равнымъ o, тогда увеличеніе M будетъ равно:

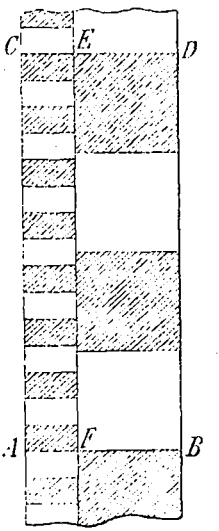
$$M = \frac{F}{F_1} = \frac{AB}{ab} = \frac{O}{o}. \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Такимъ образомъ, считая діаметръ зрачка o равнымъ 1,5 мм., найдемъ, что, для увеличенія трубы въ 40 разъ, надо отверстіе объектива взять равнымъ 60 мм. При отверстіи объектива въ 800 мм., какъ въ пулковскомъ большомъ рефракторѣ, увеличеніе равно 533.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда желаютъ, хотя приблизительно, но скоро, опредѣлить увеличеніе трубы, ставятъ невдалекѣ отъ трубы рейку, т. е. брусокъ, раздѣленный на части, сажени или метры, попеременно раскрашенныя то черною, то бѣлою краской (черт. 152). Рейка ставится напр., около стѣны, отвѣсно, или удерживается въ этомъ положеніи рукою рабочаго; затѣмъ наблюдатель однимъ глазомъ смотритъ на рейку въ трубу, а другимъ непосредственно сосчитываетъ число дѣленій на рейкѣ между двумя горизонтальными волосками, а если двухъ волосковъ не имѣется, то между горизонтальнымъ волоскомъ и краемъ трубы, другимъ же, невооруженнымъ, глазомъ опредѣляетъ число дѣленій, видимыхъ непосредственно на такомъ же пространствѣ, какъ разстояніе между волосками; это послѣднее число будетъ больше перваго, а частное отъ дѣленія этого числа на число дѣленій, прочтенныхъ въ трубу, дастъ увеличеніе трубы.



Черт. 151.



Черт. 152.

125. Поле зрѣнія трубы. Если между объективомъ и окуляромъ, въ общемъ ихъ фокусѣ помѣстить діафрагму, то уголъ, составленный крайними лучами, идущими чрезъ центръ объектива, касающимися краевъ діафрагмы и падающими на окуляръ, называется *полемъ зрѣнія трубы*. Назовемъ этотъ уголъ буквою α, радіусъ окуляра буквою r, а величины фокусныхъ разстояній объектива и окуляра буквами F и F_1, тогда изъ черт. 153 найдемъ: $tg\frac{\alpha}{2}=\frac{r}{F+F_1}$. Изъ этой

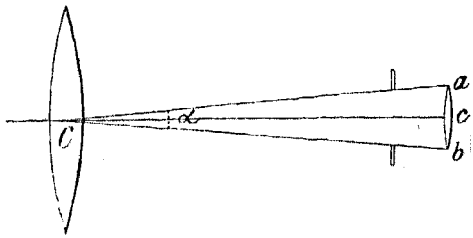
формулы видно, что *поле зрѣнія трубы тѣмъ меньше, чѣмъ больше сумма* $F+F_1$ *и обратно тѣмъ больше, чѣмъ меньше сумма* $F+F_1$, *или чѣмъ меньше разстояніе между объективомъ и окуляромъ.*

Но r всегда можно считать равнымъ F_1, умноженному на нѣкоторый коэффиціентъ, а называя этотъ коэффиціентъ буквою n и, по малости угла α, вмѣсто тангенса, беря его величину, можемъ написать:

$$\alpha = \frac{2nF_1}{F+F_1} = \frac{2n}{\frac{F}{F_1}+1};$$

отношеніе $\frac{F}{F_1}$ есть увеличеніе трубы, означивъ его буквою M, можемъ написать:

$$\alpha = \frac{2n}{M+1}.$$



Черт. 153.

Изъ этой формулы видно, что *поле зрѣнія трубы возрастаетъ съ убываніемъ увеличенія трубы, и обратно, убываетъ съ возрастаніемъ увеличенія трубы.*

При употребленіи окуляровъ съ большимъ увеличеніемъ, поле зрѣнія получается очень малымъ; такъ, въ хорошихъ телескопахъ поле зрѣнія не превосходитъ 4—5 минутъ въ углѣ.

При трубахъ, имѣющихъ бо́льшое увеличеніе и малое поле зрѣнія, придѣлываютъ другія трубы—*искатели* съ бо́льшимъ полемъ зрѣнія.

Чтобы опредѣлить поле зрѣнія трубы геодезическаго инструмента, при которомъ имѣется вертикальный лимбъ, наводятъ трубу на какую либо отдаленную точку такъ, чтобы она была видна у верхняго конца вертикальнаго волоска, и при этомъ дѣлаютъ чтеніе по вертикальному лимбу; затѣмъ трубу вращаютъ въ отвѣсной плоскости до тѣхъ поръ, пока разсматриваемая отдаленная точка не придетъ къ нижнему концу вертикальнаго волоска, и дѣлаютъ вновь чтеніе по вертикальному лимбу. Разность этихъ чтеній по вертикальному лимбу дастъ величину поля зрѣнія трубы.

126. Ясность трубы. Бо́льшая или меньшая яркость изображеній предметовъ въ трубѣ называется *ясностью трубы.* Ясность трубы зависитъ отъ величины объектива. Чѣмъ больше его отверстіе, или діаметръ объектива, тѣмъ бо́льшее количество свѣта попадаетъ въ трубу; все это количество свѣта проходитъ чрезъ зрачекъ глаза, по-

этому предметы должны казаться, при разсматриваніи ихъ въ трубу, яснѣе, чѣмъ при разсматриваніи ихъ простымъ глазомъ, во столько разъ, во сколько площадь объектива больше площади зрачка наблюдателя. Поэтому, если назовемъ діаметръ объектива буквою O, а діаметръ зрачка буквою o, то предметы, разсматриваемые въ трубу, будутъ казаться яснѣе въ $\frac{\pi O^2}{\pi o^2}$ разъ или въ $\frac{O^2}{o^2}$ разъ, чѣмъ при разсматриваніи ихъ простымъ глазомъ.

Если все количество свѣтовыхъ лучей, падающихъ на объективъ, попадаетъ въ зрачекъ, то ясность трубы наибольшая. Въ дѣйствительности же до этого предѣла ясность трубы никогда не доходитъ, потому что часть лучей, падающихъ на стекло, поглощается и отражается; проходитъ же черезъ объективъ приблизительно около 0,9 всего количества падающихъ на него свѣтовыхъ лучей.

При наибольшей ясности трубы (черт. 151) должна имѣть, слѣдовательно, мѣсто такая пропорція:

$$\frac{O}{o} = \frac{F}{F_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

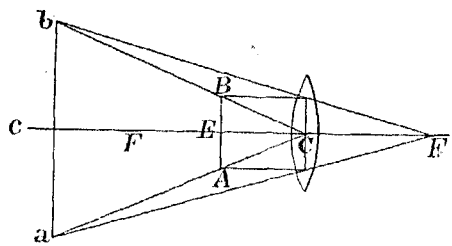
Изъ этой формулы видно, что, съ уменьшеніемъ F_1, увеличивается O; но съ возрастаніемъ F_1 — фокуснаго разстоянія окуляра, возрастаетъ увеличеніе трубы. Такъ какъ съ возрастаніемъ O увеличивается ясность трубы, поэтому, на первый разъ, позволительно было бы заключить, что *усилить увеличеніе трубы, не уменьшая ея ясности, возможно на сколько угодно путемъ увеличенія отверстія объектива и уменьшенія фокуснаго разстоянія окуляра.* Въ дѣйствительности же этотъ выводъ имѣетъ извѣстный предѣлъ, такъ какъ отверстіе объектива всегда должно составлять незначительную часть фокуснаго разстоянія объектива, дабы не оказалось, въ противномъ случаѣ, сильной сферической и хроматической аберраціи. Такъ, при ахроматическо-апланатическомъ стеклѣ, увеличивающемъ въ 15 разъ, отверстіе объектива берется равнымъ $^1/_{10}$ его фокуснаго разстоянія, а при стеклѣ, увеличивающемъ въ 1000 разъ, отношеніе отверстія объектива къ фокусному разстоянію берется равнымъ $^1/_{20}$. Съ другой стороны, фокусное разстояніе окуляровъ не дѣлаютъ менѣе $^2/_3$ дюйма.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, *что, желая достигнуть въ трубѣ наибольшей ясности, надо стремиться усилить ея увеличеніе одновременнымъ увеличеніемъ отверстія объектива и его фокуснаго разстоянія.*

Выше мы видѣли, что ясность трубы будетъ наибольшая, когда

все количество лучей, падающихъ на объективъ, попадаетъ въ зрачекъ. Изъ этого между прочимъ видно, что для наибольшей ясности трубы діафрагму, надѣваемую съ внѣшней стороны на окуляръ, или, какъ ее называютъ иногда глазной кругъ, надо въ трубахъ дѣлать такихъ размѣровъ, чтобы отверстіе его было не меньше зрачка.

127. Лупа, или простой микроскопъ. Для увеличенія изображеній очень малыхъ, но близкихъ предметовъ, каковы, напр., изображенія предмета въ объективѣ, дѣленій лимбовъ или масштабовъ, употребляютъ *микроскопы*. Они бываютъ двухъ родовъ, простые, называемые *лупами*, и сложные—*микроскопами*.



Черт. 154.

Двояко-выпуклое стекло съ короткимъ фокуснымъ разстояніемъ называется лупой, или простымъ микроскопомъ. Предметъ устанавливается отъ лупы на величину меньшую главнаго фокуснаго разстоянія, вслѣдствіе чего изображеніе получается съ той же стороны стекла, съ которой находится предметъ (§ 109), т. е. разстояніе до изображенія предмета будетъ отрицательное.

Если главное фокусное разстояніе лупы равно F_1 (черт. 154), разстояніе отъ центра стекла до предмета AB равно d, а до изображенія ab равно f, то будемъ имѣть:

$$-\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F_1},$$

откуда

$$\frac{f}{d}=\frac{F_1+f}{F_1}.$$

Если разстояніе отъ стекла оптическаго центра глаза, находящагося въ точкѣ F (черт. 154) равно a, а разстояніе яснаго видѣнія равно V, то для того, чтобы ясно видѣть изображеніе ab чрезъ стекло, необходимо, чтобы

$$V=a+f, \text{ или } f=V-a, \text{ тогда}$$

$$\frac{f}{d}=\frac{F_1+V-a}{F_1}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (a)$$

Увеличеніе, даваемое лупой, равно отношенію изображенія ab къ предмету AB. Такъ что, называя увеличеніе лупы буквою n, можемъ

написать: $n = \frac{ab}{AB}$ (черт. 154), а изъ подобія треугольниковъ abc и ABC имѣемъ:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{f}{d};$$

слѣдовательно,

$$n = \frac{f}{d},$$

или на основаніи формулы (a)

$$n = \frac{F_1 + V - a}{F_1}.$$

Въ лупѣ фокусное разстояніе величина малая сравнительно съ V, слѣдовательно, $F_1 - a$ еще меньше, а потому, отбрасывая $F_1 - a$, можемъ приближенно написать:

$$n = \frac{V}{F_1}.$$

Эта формула показываетъ, что увеличеніе, производимое данною лупою, зависитъ какъ отъ фокуснаго разстоянія стекла, такъ и отъ разстоянія яснаго зрѣнія, т. е. отъ индивидуальныхъ свойствъ глаза наблюдателя.

Одна и та же лупа для различныхъ глазъ имѣетъ также различную силу. Силу лупы мы считаемъ тѣмъ бо́льшею, чѣмъ больше уголъ зрѣнія, подъ которымъ глазъ ясно видитъ чрезъ лупу изображеніе предмета данныхъ размѣровъ. Если увеличеніе лупы равно n, то это значитъ, что одинъ миллиметръ предмета AB виденъ на изображеніи ab длиною въ n миллиметровъ. Эти n миллиметровъ видны подъ угломъ зрѣнія, тангенсъ котораго равняется $\frac{n}{V}$ (§ 119) и, по малости угла зрѣнія, тангенсъ угла можетъ считаться равнымъ углу. Изъ формулы:

$$n = \frac{F_1 + V - a}{F_1},$$

имѣемъ:

$$\frac{n}{V} = \frac{1}{V} + \frac{1 - \frac{a}{V}}{F_1},$$

а такъ какъ дробь $\frac{a}{V}$ мала, то формула для угла зрѣнія упрощается въ такую формулу:

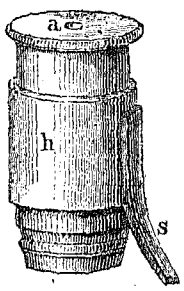
$$\frac{n}{V} = \frac{1}{V} + \frac{1}{F_1}.$$

Такъ какъ сила зрѣнія лупы пропорціональна углу зрѣнія, то должно сказать, что для одной и той же лупы сила ея тѣмъ больше, чѣмъ меньше V и F_1, и тѣмъ меньше, чѣмъ больше V и F_1. Или, другими

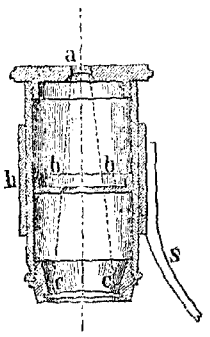
словами, для близорукаго глаза сила лупы больше, чѣмъ для дальнозоркаго и нормальнаго. Вмѣстѣ съ тѣмъ изъ формулы $n = \frac{V}{F_1}$ видно также, что увеличеніе одной и той же лупы для дальнозоркаго глаза больше, чѣмъ для нормальнаго и близорукаго.

Изъ формулы $n = \frac{V}{F_1}$ видно, что увеличеніе лупы обратно пропорціонально ея фокусному разстоянію, т. е. *чѣмъ короче фокусное разстояніе лупы, тѣмъ она даетъ большее увеличеніе.*

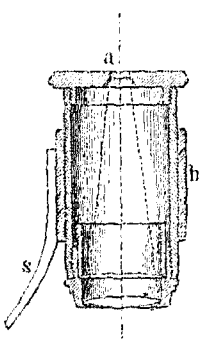
Хотя этотъ выводъ теоретически вполнѣ вѣренъ, но на практикѣ увеличеніе, достигаемое помощью простыхъ лупъ, не можетъ быть сдѣлано значительнымъ, такъ какъ, при маленькихъ фокусныхъ разстояніяхъ, стекла должны имѣть большую кривизну, а вслѣдствіе этого



Черт. 155.



Черт. 156.



Черт. 157.

при небольшихъ поперечныхъ размѣрахъ предметовъ, получаются изображенія неправильныя и окрашенныя.

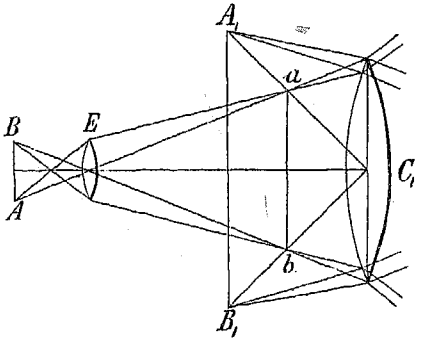
Уголъ зрѣнія для простыхъ лупъ не превосходитъ 10°.

На чертежахъ 155, 156 и 157-мъ изображенъ окуляръ, какъ онъ представляется снаружи, и два его различныхъ разрѣза; *h* — это оправа, въ которую окуляръ можетъ быть вдвинутъ, или изъ нея выдвинутъ, оправа эта прикрѣпляется къ той или другой части геодезическаго инструмента при помощи ручки *s*. Отверстіе, приближаемое къ глазу, означено буквою *a*, лупа, или стекло, означена буквами *ee*, а въ серединѣ лупы помѣщается діафрагма *bb*. Въ тѣхъ случаяхъ, когда для лупы берутъ ахроматическо-апланатическое стекло, его задѣлываютъ въ двойную оправу подобно тому, какъ апланатическій объективъ; такой окуляръ изображенъ на чертежѣ 161-мъ.

Если сравнить формулу $M = \frac{F}{F_1}$ для увеличенія трубы, гдѣ F

фокусное разстояніе объектива, а F_1 фокусное разстояніе окуляра съ формулой для увеличенія лупы $n = \frac{V}{F_1}$, то найдемъ также, что $M = n\frac{F}{V}$, т. е. увеличеніе трубы съ простымъ окуляромъ тѣмъ больше, чѣмъ больше увеличеніе окуляра и чѣмъ больше фокусное разстояніе объектива. Кромѣ того, изъ этой формулы видно, что увеличеніе одной и той же трубы для близорукаго глаза больше, тѣмъ для дальнозоркаго.

128. Сложный микроскопъ. Сложный микроскопъ устраивается совершенно такъ же, какъ и зрительная или астрономическая труба, съ тою лишь разницею, что для объектива берется малое стекло съ малымъ фокуснымъ разстояніемъ. Разсматриваемый предметъ помѣщается близъ объектива нѣсколько далѣе его фокуса. Поэтому изображеніе получается не въ уменьшенномъ видѣ, какъ въ трубахъ, а въ увеличенномъ, которое вновь увеличивается при помощи окуляра. На черт. 158, предметъ AB помѣщенъ предъ объективомъ (E), на разстояніи отъ него нѣсколько бо́льшемъ его фокуснаго разстоянія, при этомъ объективъ производитъ дѣйствительное, увеличенное и обратное изображеніе ab предмета AB. Окуляръ C_1 ставится относительно изображенія ab такъ, чтобы въ окулярѣ, на разстояніи яснаго зрѣнія, было видно увеличенное мнимое изображеніе A_1B_1.



Черт. 158.

Такимъ образомъ, сложный микроскопъ увеличиваетъ дважды. Во-первыхъ, изображеніе предмета, больше предмета находящагося на разстояніи отъ стекла меньшемъ, чѣмъ двойное его фокусное разстояніе (§ 110), и тѣмъ больше, чѣмъ ближе предметъ къ фокусу; причемъ изображеніе удаляется отъ стекла и, слѣдовательно, можетъ быть получено тѣмъ большимъ, чѣмъ длиннѣе трубка микроскопа. Во-вторыхъ, полученное изображеніе увеличивается окуляромъ, чрезъ который оно разсматривается, какъ чрезъ лупу, и это вторичное увеличеніе тѣмъ болѣе, чѣмъ меньше фокусное разстояніе окуляра. Поэтому, если измѣнять разстояніе предмета отъ объектива и соотвѣт-

ственно этому измѣнять и положеніе окуляра относительно изображенія предмета, то можно получать различныя увеличенія посредствомъ одного и того же сложнаго микроскопа. Микроскопы, у которыхъ разстоянія между объективомъ и окуляромъ мѣняются сообразно съ желаемымъ увеличеніемъ, называются *панкратическими*. Но такіе микроскопы почти не употребляются, такъ какъ ими нельзя скоро и удобно получать отчетливыя и сильно увеличенныя изображенія, а потому въ большинствѣ случаевъ устраиваютъ микроскопы, въ которыхъ разстоянія между окуляромъ и объективомъ неизмѣнны. Иногда въ микроскопахъ ставятъ между предметнымъ стекломъ и изображеніемъ третье собирательное стекло для уменьшенія длины микроскопа и увеличенія ясности.

Микроскопы устраиваются, при болѣе совершенныхъ геодезическихъ инструментахъ, въ связи съ микрометренными винтами.

Если F фокусное разстояніе объектива микроскопа, d—разстояніе отъ него до предмета, G—величина предмета, G'—величина второго изображенія, F_1—фокусное разстояніе окуляра, V—величина ясного зрѣнія, то величина изображенія, полученнаго чрезъ объективъ микроскопа, равна $G.\frac{F}{d-F}$ (§ 112). Эта величина изображенія вновь увеличивается окуляромъ въ $\frac{V}{F_1}$ разъ (см. § 127), а потому величина второго изображенія опредѣлится такою формулою:

$$G' = G.\frac{V}{F_1}\cdot\frac{F}{d-F}\cdot$$

Увеличеніе, получаемое въ микроскопѣ, опредѣляется отношеніемъ изображенія A_1B_1 къ предмету AB, или будетъ равно $\frac{G'}{G}$. Слѣдовательно:

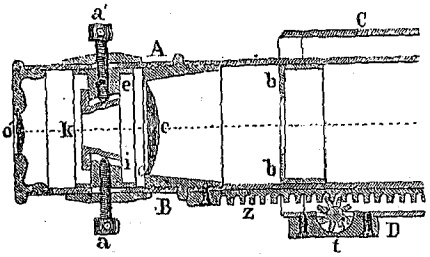
$$m = \frac{G'}{G} = \frac{V}{F_1}\cdot\frac{F}{d-F}\cdot$$

129. Сложные окуляры. Изображеніе предмета, полученное въ ахроматическо-апланатическомъ объективѣ, можетъ быть неяснымъ и окрашеннымъ, если оно разсматривается чрезъ простой окуляръ.

Для уничтоженія неясности и окрашиванія изображенія, вслѣдствіе сферической и ахроматической аберацій, въ трубахъ съ давняго времени употребляются сложные окуляры, составленные изъ двухъ плоско-выпуклыхъ стеколъ, отстоящихъ другъ отъ друга на опредѣленномъ разстояніи. Къ такимъ окулярамъ принадлежатъ окуляры

Гюгенса, выполненные механикомъ Кампана, и окуляръ Рамсдена. Но кромѣ этихъ окуляровъ, въ послѣднее время употребляютъ окуляры съ ахроматическо-апланатическимъ стекломъ, называемые *ортоскопическими* окулярами.

130. Сложный окуляръ Гюгенса или Кампана. Окуляръ Гюгенса можно встрѣтить во всѣхъ трубахъ геодезическихъ инструментахъ, исполненныхъ Эртелемъ, чаще же всего онъ встрѣчается въ сложныхъ микроскопахъ. Окуляръ этотъ состоитъ изъ двухъ плосковыпуклыхъ стеколъ, (черт. 159) находящихся другъ отъ друга въ разстояніи полусуммы ихъ фокусныхъ разстояній и обращенныхъ выпуклостями къ объективу. Долондъ, извѣстный лондонскій оптикъ, въ началѣ этого столѣтія, дѣлалъ обыкновенно фокусное разстояніе стекла, обращеннаго къ предмету, втрое больше, чѣмъ фокусное разстояніе собственно окуляра. Такъ что, если фокусное растояніе этого стекла F, то фокусное разстояніе второго стекла $3F$, а разстояніе между стеклами $2F$.



Черт. 159.

Въ трубахъ, при которыхъ помѣщается окуляръ Гюгенса, имѣется только два колѣна, окулярное и объективное, отдѣльнаго же сѣточнаго колѣна нѣтъ, сѣтка же помѣщается въ окулярномъ колѣнѣ, а нити располагаются на строго равныхъ разстояніяхъ между стеклами окуляра, т. е. отстоятъ отъ каждаго изъ нихъ на величину F. Поэтому для нормальнаго глаза нити всегда ясно видны въ такомъ окулярѣ, и, слѣдовательно, для того чтоы видѣть ихъ, нѣтъ надобности передвигать окуляръ; для точной же установки сѣтки на равныхъ разстояніяхъ отъ стеколъ, въ оправѣ AB сдѣланы овальныя дыры, и кольцо сѣтки можно передвинуть вдоль оси; для того же, чтобы сѣтку поставить въ совпаденіе съ изображеніемъ предмета, окуляръ надо передвигать шестерней t, зацѣпляющей зубчатку z. Діафрагма bb поставлена сзади второго окулярнаго стекла.

Формулами можно доказать, что увеличеніе окуляромъ *Гюгенса можетъ получиться по крайней мѣрѣ въ два раза больше, чѣмъ при употребленіи одного стекла, какъ простого окуляра.*

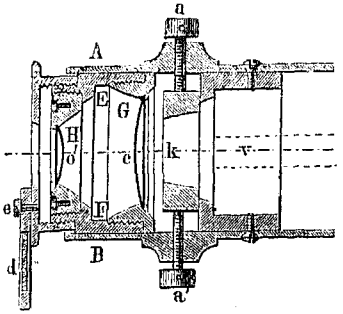
Неудобство окуляра Гюгенса заключается въ томъ, что сѣтка относительно стеколъ окуляра занимаетъ постоянное мѣсто, вслѣд-

ствіе чего для иныхъ глазъ можетъ оказаться слабо видимою, и даже совсѣмъ невидимою.

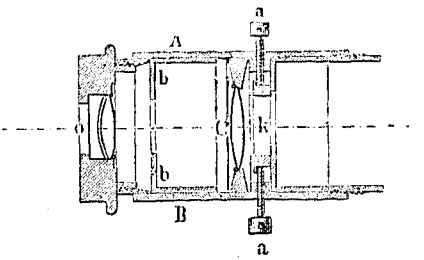
131. Сложный окуляръ Рамсдена. Сложный окуляръ Рамсдена состоитъ изъ двухъ плоско-выпуклыхъ стеколъ, обращенныхъ другъ къ другу выпуклыми поверхностями.

Окуляръ Рамсдена изображенъ на чертежѣ 160. Въ немъ сѣточное кольцо k помѣщается въ фокусѣ окуляра и удерживается четырьмя винтами, изъ которыхъ два a и a' видны на чертежѣ. Оба стекла ввинчены въ трубочку EF, которую можно вдвигать или выдвигать рукою изъ сѣточнаго колѣна AB. При этомъ окулярѣ на діафрагмѣ имѣется задвижка d, вращающаяся на оси винта e.

Окуляръ Рамсдена уступаетъ окуляру Гюгенса, какъ вслѣдствіе



Черт. 160.



Черт. 161.

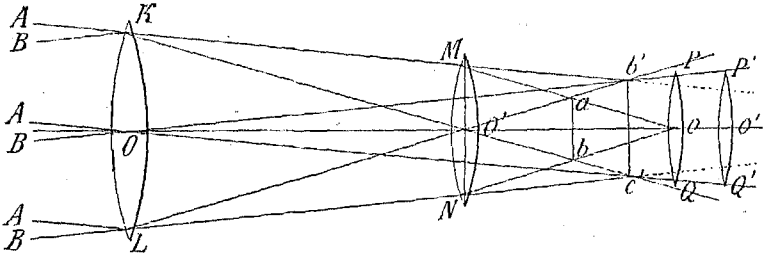
меньшаго увеличенія, такъ и вслѣдствіе меньшаго поля зрѣнія. Но удобство его заключается въ томъ, что онъ устраивается независимо отъ сѣтки и потому годенъ для всѣхъ глазъ.

132. Ортоскопическій окуляръ. Такой окуляръ представленъ въ разрѣзѣ на черт. 161. За стекломъ o, составленнымъ изъ вогнуто-выпуклаго флинтгласоваго и двояко-выпуклаго кронгласоваго стекла, на серединѣ окулярной трубки помѣщена діафрагма bb. Въ сѣточномъ колѣнѣ предъ кольцомъ сѣтки со стороны окуляра помѣщено собирательное стекло. По силѣ своей, такой окуляръ не уступаетъ окулярамъ Гюгенса, но онъ не имѣетъ его неудобства, потому что сѣтка помѣщена не между двумя стеклами окуляра, т. е. ортоскопическій окуляръ такъ же удобенъ, какъ окуляръ Рамсдена. Впервые онъ былъ исполненъ въ 1849 году оптикомъ Кари Кельнеромъ. Въ лучшихъ геодезическихъ инструментахъ механика Брейтгаупта всегда помѣщаются ортоскопическіе окуляры.

133. Земная труба. Въ геодезическихъ инструментахъ употре-

бляются главнымъ образомъ трубы астрономическія, но, тѣмъ не менѣе, встрѣчаются геодезическіе инструменты съ *земными* трубами, дающими прямыя изображенія. Въ трубахъ такого рода, между объективомъ и окуляромъ ставятъ въ сѣточномъ колѣнѣ одно или два стекла. При четырехъ стеклахъ, два среднія, назначенныя для переворачиванія изображеній, имѣютъ одинаковыя фокусныя разстоянія и отстоятъ другъ отъ друга на произвольную величину. Одно изъ этихъ стеколъ, ближайшее къ объективу, ставится такъ, чтобы изображеніе, получаемое чрезъ объективъ, совпадало бы съ фокусомъ этого стекла, тогда въ фокусѣ второго стекла получится изображеніе такой же величины, какъ первое изображеніе, но въ обратномъ видѣ.

134. Астрономическая труба съ собирательнымъ стекломъ. По наружному виду такая труба почти не отличается отъ имѣющей

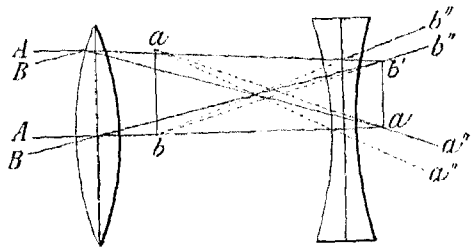


Черт. 162.

два стекла и три колѣна. Но въ ней, кромѣ объектива и окуляра, помѣщено въ сѣточномъ колѣнѣ еще собирательное стекло. На черт. 162 KL представляетъ объективъ, AK, AO и AL—лучи, идущіе отъ одного края предмета; BK, BO и BL — лучи, идущіе отъ другого края того же предмета, изображеніе котораго получится въ $c'b'$, и притомъ обратное; на окуляръ $P'Q'$ падаютъ лучи отъ изображенія, но, какъ видно изъ чертежа, не всѣ, а только лучи, направленные ближе къ оси, поэтому изображеніе представится въ окулярѣ $P'Q'$ недостаточно яснымъ. Если же въ точкѣ пересѣченія оптической оси съ лучами K' и Lb', именно въ точкѣ O', поставить двояковыпуклое стекло, діаметра меньшаго, чѣмъ объективъ то изображеніе не получится въ томъ же мѣстѣ, гдѣ оно получалось прежде, а въ другомъ: лучъ KM преломится въ этомъ стеклѣ и пойдетъ по направленію Mo, въ точкѣ a онъ пересѣчетъ лучъ Lb', проходящій безъ преломленія чрезъ центръ O' стекла и N, и дастъ, слѣдовательно, въ этой точкѣ изображеніе края A предмета AB. Для разсматриванія

этого изображенія, окуляръ PQ надо поставить ближе къ объективу. Вслѣдствіе этого лучи, падающіе отъ ab, упадутъ на окуляръ въ бо́льшемъ количествѣ, чѣмъ они падали отъ $a'b'$ на окуляръ $P'Q'$, а потому изображеніе дастъ болѣе ясное впечатлѣніе. Кромѣ того, такъ какъ, съ введеніемъ собирательнаго стекла MN, разстояніе отъ окуляра до объектива становится меньше, то и поле зрѣнія трубы усиливается.

135 Галилеева труба, или бинокль. Галилеева труба состоитъ изъ двухъ стеколъ (черт. 163), двояко-выпуклаго объектива и вогнутаго окуляра, расположеннаго между объективомъ и изображеніемъ предмета, получаемымъ чрезъ объективъ, въ разстояніи отъ окуляра, нѣсколько превышающемъ его фокусное разстояніе. Вслѣдствіе такого расположенія разсѣевающаго окуляра, лучи, выходящіе отъ предмета, не успѣвъ собраться за окуляромъ, разсѣеваются, и изображеніе кажется увеличеннымъ. Изображеніе $a'b'$ обратное, поэтому ab прямое. Въ галилеевой трубѣ изображеніе, слѣдов., образуется не въ фокусѣ объектива, а потому въ такой трубѣ нѣтъ мѣста и для сѣтки. Поле зрѣнія галилеевой трубы значительное, такъ какъ длина ея малая. Галилеева труба, давая прямыя изображенія, какъ и земная труба, значительно короче послѣдней, не требуетъ подставокъ и треножниковъ, а поэтому употребляется, когда нужно разсматривать отдаленные предметы. Ее употребляютъ въ геодезическихъ работахъ, главнымъ образомъ, при вѣшеніи длинныхъ линій.



Черт. 163.

136. Параллаксъ нитей трубы. Изображеніе разсматриваемаго предмета должно находиться въ одной плоскости съ сѣткою. Если это требованіе не соблюдено, то, при перемѣщеніи глаза передъ окуляромъ немного вправо и влѣво или вверхъ и внизъ, пересѣченіе нитей не будетъ покрывать одну и ту же точку предмета, слѣдовательно, визирная линія будетъ мѣнять свое положеніе въ зависимости отъ положенія глаза. Это видно изъ чертежа 164, гдѣ C — центръ сѣтки, F — точка, принадлежащая изображенію, O — центръ окуляра.

Если глазъ будетъ помѣщенъ въ центрѣ O, то хотя точки C и F не совпадаютъ, онѣ все-таки будутъ казаться совпадающими; если же глазъ помѣстить выше или ниже въ точкѣ O_1 или O_2, то увидимъ, точки a и b, не совпадающія съ F.

Если же сѣтка и изображеніе предмета совпадаютъ, то гдѣ бы глазъ ни былъ помѣщенъ предъ окуляромъ, центръ сѣтки будетъ закрывать на предметѣ одну и ту же точку. Несовпаденіе сѣтки съ изображеніемъ называется *параллаксомъ нитей трубы*. Уничтожается параллаксъ нитей передвиженіемъ сѣточнаго колѣна, до тѣхъ поръ пока, при передвиженіи глаза, центръ сѣтки не будетъ покрывать постоянно одну и ту же точку предмета.

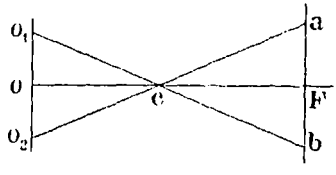
137. Установка трубы геодезическихъ инструментовъ. Предъ употребленіемъ трубы для визированія на предметы необходимо: 1) окуляръ вдвинуть или выдвинуть изъ сѣточнаго колѣна такъ, чтобы сѣтка была ясно видна, и нити казались черными, рѣзкими чертами, т. е. чтобы сѣтка совпадала съ фокусомъ окуляра, и 2) уничтожить параллаксъ нитей передвиженіемъ сѣточнаго колѣна, т. е. поставить сѣтку въ фокусѣ объектива или въ совпаденіе съ изображеніемъ предмета.

При употребленіи обыкновенныхъ трубъ, эти два условія выполняются очень легко. Но для болѣе сложныхъ трубъ, съ нитями сѣтки чрезвычайно тонкими, приходится дѣйствовать ощупью. Тутъ приходится нѣсколько разъ передвигать то окуляръ, то сѣточное колѣно. Напримѣръ, сѣтка видна хорошо, тогда выдвигаютъ сѣточное колѣно, пока предметъ не сдѣлается яснымъ; но въ это время сѣтка окажется менѣе ясной, или даже почти невидной. Тогда надо установить окуляръ такъ, чтобы нити представлялись черными чертами, а затѣмъ навести трубу на визируемый предметъ и передвинуть сѣточное колѣно до яснаго видѣнія предмета.

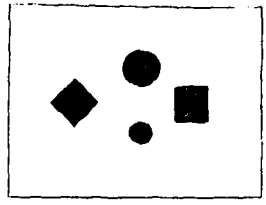
138. Испытаніе трубы. Чтобы узнать, хороша ли зрительная труба геодезическаго инструмента, надо, установивъ, надлежащимъ образомъ окуляръ и сѣточное колѣно, смотрѣть въ трубу на какой нибудь отдаленный предметъ. Если онъ представляется ясно очерченнымъ, то труба считается хорошей. Точно также, ставятъ отъ трубы на разстояніи 25—40 саженъ окрашенную въ бѣлую краску доску, на которой черною краскою нарисовано нѣсколько правильныхъ фигуръ, квадратовъ и круговъ разной величины, отъ $^1/_2$ до $1^1/_2$ дюйма

въ діаметрѣ (черт. 165); если фигуры покажутся въ трубу правильными, рѣзко очерченными и окруженными слабой синеватой каймой, то труба хороша. Въ трубѣ дурного качества эти фигуры покажутся или искаженными, или сѣрыми, очерченными не рѣзко, съ цвѣтною каймой, красной, желтой и зеленой.

Для опредѣленія апланатичности трубы, на объективъ надѣваютъ поперемѣнно два мѣдныхъ колпака: одинъ съ центральнымъ отверстіемъ въ діаметрѣ около $^1/_2$ дюйма, другой съ кольцеобразнымъ отверстіемъ. Затѣмъ наводятъ трубу на хорошо видимый предметъ, и если онъ покажется одинаково отчетливымъ, какъ при одномъ, такъ и при другомъ колпакѣ, то труба апланатична, т. е. не имѣетъ сферической аберраціи. Если же предметъ покажется неодинаково отчетливымъ



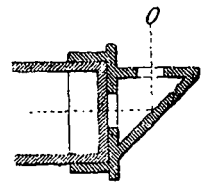
Черт. 164.



Черт. 165.

при разныхъ объективныхъ колпакахъ и одинаково отчетливымъ лишь въ томъ случаѣ, когда окуляръ будетъ вдвинутъ, то трубу не считаютъ вполнѣ апланатичною.

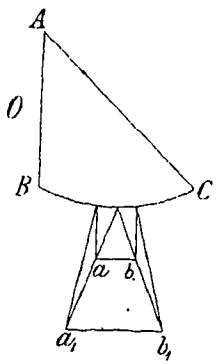
139. Употребленіе стеклянной призмы при трубахъ геодезическихъ инструментовъ. Стеклянныя призмы употребляются въ геодезическихъ инструментахъ во многихъ случаяхъ. Такъ, когда желаютъ, чтобы отраженные лучи были поглощены стекломъ въ меньшей своей части, то замѣняютъ зеркала призмами. Когда желаютъ отклонить лучъ отъ его первоначальнаго направленія, какъ, напр., въ трубахъ, когда ими приходится визировать подъ значительнымъ угломъ наклоненія къ горизонту, тогда призму, обдѣланную въ особую оправу, надѣваютъ этою оправой на окуляръ трубы (черт. 166). При этомъ одинъ катетъ призмы долженъ быть перпендикуляренъ къ оптической оси, а другой ей параллеленъ. Если смотрѣть на какую либо отдаленную точку, напр.,



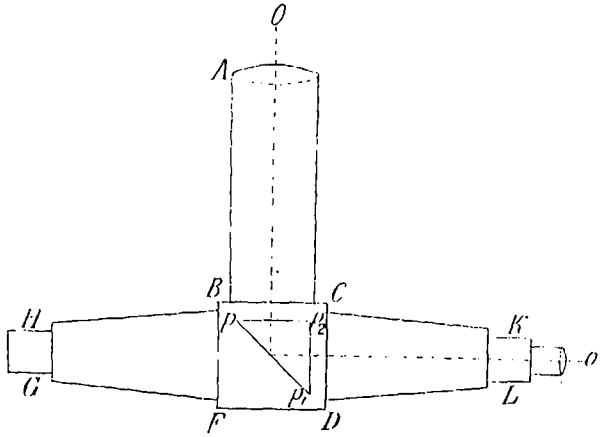
Черт. 166.

на звѣзду, прямо въ трубу и затѣмъ черезъ призму, и если въ обоихъ случаяхъ эта точка представляется одинаково хорошо очерченной, то условіе параллельности и перпендикулярности катетовъ призмы къ оптической оси выполнено.

Иногда въ призмахъ, надѣваемыхъ на окуляры, одинъ изъ катетовъ дѣлаютъ выпуклымъ, что даетъ возможность мелкія части инструмента видѣть въ увеличенномъ видѣ, для чего стоитъ только пред-



Черт. 167.



Черт. 168.

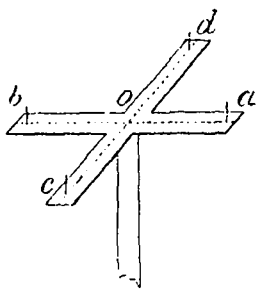
метъ ab (черт. 167) помѣстить между выпуклою частью призмы и фокусомъ выпуклой части призмы.

Призмы употребляются также въ ломаныхъ трубахъ. Такія трубы состоятъ изъ двухъ колѣнъ AB и CK, объективнаго и окулярнаго, ввинченныхъ въ кубъ $BCDF$ (черт. 168), внутри котораго помѣщается равнобокая прямоугольная призма pp_1p_2, обращенная катетами къ объективу O и окуляру o, и притомъ такъ, что катеты перпендикулярны къ осямъ этихъ колѣнъ. Гипотенуза призмы отражаетъ лучи, прошедшіе чрезъ объективъ подъ прямымъ угломъ. Окулярное колѣно, кромѣ своего прямого назначенія, составляетъ также половину оси вращенія трубы $HGKL$, части которой KL и HG называются *цапфами*; онѣ вкладываются въ *подшипники*, находящіеся въ верхнихъ частяхъ подставокъ, на которыхъ лежитъ ось вращенія трубы, и которыя, обыкновенно, придѣлываются основаніями своими къ алидадному кругу.

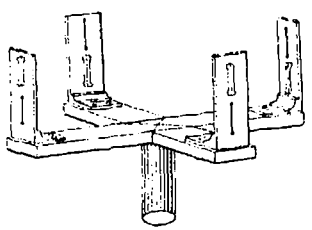
Глава XI.

ОПИСАНІЕ И УПОТРЕБЛЕНІЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХЪ УГЛОМѢРНЫХЪ ИНСТРУМЕНТОВЪ, НАЗЫВАЕМЫХЪ ЭККЕРАМИ.

140. Раздѣленіе угломѣрныхъ инструментовъ на три группы. Угломѣрные инструменты сообразно съ цѣлями, какія при помощи ихъ достигаются, могутъ быть раздѣлены на три группы. *Къ первой группѣ* можно отнести инструменты съ постоянными углами; при помощи ихъ можно на данной мѣстности откладывать углы величиною въ опредѣленное число градусовъ: 90°, 45°, 30°. Такіе инструменты называются *эккерами*. Всѣ угломѣрные инструменты, которыми опредѣляется величина измѣряемыхъ угловъ, въ градусахъ, минутахъ и секундахъ, составляютъ *вторую группу*; они называются астролябіями,



Черт. 169.



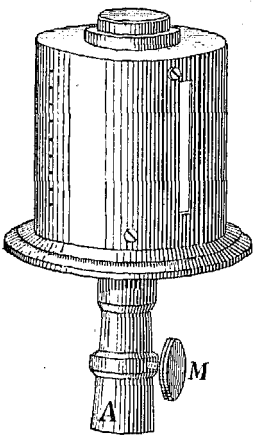
Черт. 170.

буссолями, эклиметрами, пантометрами, теодолитами, высотомѣрами и тахеометрами. Къ *третьей группѣ* относятся мензулы и тахеографометры, помощію которыхъ можно получить графически на бумагѣ углы, имѣющіеся на мѣстности. Наконецъ, имѣются еще угломѣрные инструменты, называемые отражательными, ихъ можно причислить къ 1-ой и 2-ой группѣ. Они снабжены зеркалами и призмами. Въ этой главѣ мы будемъ говорить объ инструментахъ первой группы.

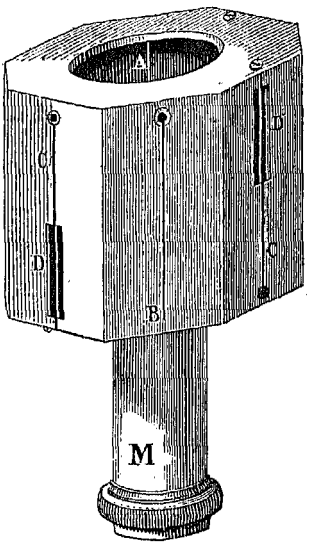
141. Крестообразный эккеръ. Крестообразный эккеръ состоитъ изъ двухъ деревянныхъ или мѣдныхъ брусковъ *ab* и *cd* (черт. 169), длиною до $^1/_2$ фута, соединенныхъ крестообразно и имѣющихъ на оконечностяхъ шпиньки *a*, *b*, *c* и *d*. Шпиньки эти располагаются такъ, чтобы плоскость, проходящая чрезъ одну пару ихъ, была пер-

пендикулярна къ плоскости, проходящей черезъ другую пару. Разстояніе отъ точки пересѣченія линій до каждаго шпинька по большей части бываетъ одинаковое. Въ серединѣ брусковъ дѣлается отверстіе *o*, которымъ эккеръ надѣвается на колъ. Вмѣсто шпиньковъ бо́льшею частью ставятъ діоптры (§ 97). Эккеры съ діоптрами, очевидно, удобнѣе для употребленія; они дѣлаются прочнѣе, нежели безъ діоптровъ (черт. 170).

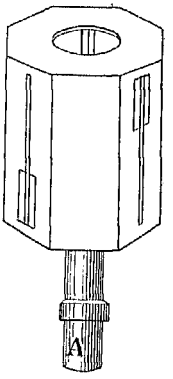
142. Цилиндрическій, восьмигранный и коническій эккеръ. Эккеръ, называемый *цилиндрическимъ* (черт. 171), состоитъ изъ пустого металлическаго цилиндра, отъ 3 до 4 дюйм. высоты и отъ



Черт. 171.



Черт. 172.



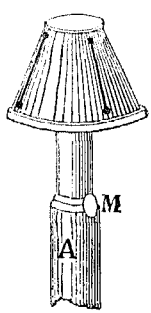
Черт. 173.

2 до $2^1/_2''$ въ діаметрѣ. На поверхности его располагаются діаметрально-противоположно четыре прорѣза,—это глазные и предметные діоптры, причемъ предметные шире глазныхъ, и въ нихъ натянуто по волоску. Вертикальная плоскость, проведенная черезъ волосокъ и узкій прорѣзъ противоположнаго діоптра, перпендикулярна къ плоскости, проходящей черезъ другіе два прорѣза. Цилиндръ насаживается на колъ втулкою *A*, прикрѣпленной къ основанію, и закрѣпляется на колѣ винтомъ *M*, если онъ имѣется при втулкѣ. Эккеру придаютъ также форму восьмигранника (черт. 172 и 173); въ этомъ случаѣ прорѣзы располагаются на всѣхъ его восьми граняхъ. Иногда эккеръ

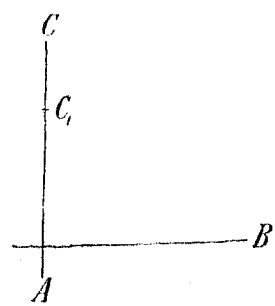
имѣетъ коническую форму (черт. 174); такой эккеръ удобно употреблять при визированіи по наклонному направленію.

143. Употребленіе эккеровъ. Изъ устройства эккеровъ видно, что если требуется *возставить* перпендикуляръ къ данной линіи AB, назначенной на землѣ, то нужно въ данной точкѣ на этой линіи поставить эккеръ и навести одну пару шпиньковъ или діоптровъ по направленію данной линіи, а по направленію другой пары послать помощника—поставить вѣхи въ C и C_1 (черт. 175). Провѣшенная такимъ образомъ линія CC_1 будетъ перпендикулярна къ AB въ точкѣ A, гдѣ установленъ эккеръ.

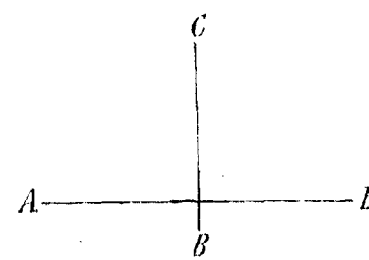
Если изъ данной точки C нужно было бы опустить перпендикуляръ CB на линію AD (черт. 176), то въ этомъ случаѣ отходятъ съ



Черт. 174.



Черт. 175.



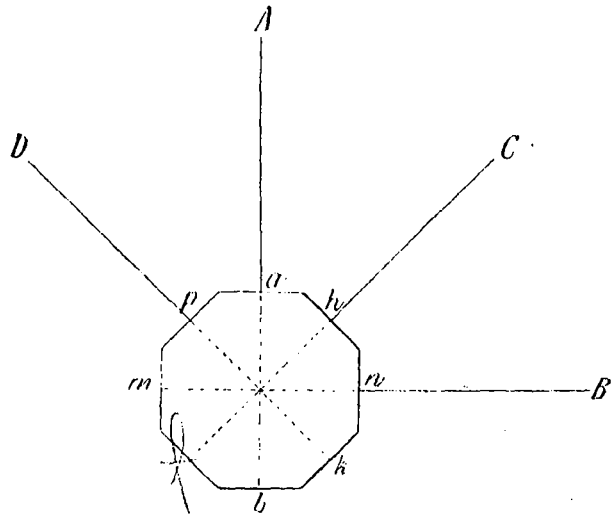
Черт. 176.

эккеромъ по данной линіи до тѣхъ поръ, пока не найдутъ мѣста, въ которомъ одна пара шпиньковъ или діоптровъ расположится по линіи AD, а другая будетъ закрывать точку C. Точка B, гдѣ установленъ эккеръ, окажется основаніемъ перпендикуляра CB къ линіи AD.

Если бы нужно было изъ данной точки C провести *линію, наклонную къ линіи AB подъ угломъ въ 45°* (черт. 177), то для этого необходимо употребить восьмигранный эккеръ, если же имѣется эккеръ со шпиньками (черт. 169), то онъ долженъ быть устроенъ такъ, чтобы разстоянія отъ центра его o до каждаго шпинька были равны. При такомъ устройствѣ, для опредѣленія направленія aB, составляющаго съ линіею aD уголъ въ 45°, нужно; поставивъ эккеръ на линіи AB близъ данной точки C такъ, чтобъ надъ ней приходился шпинекъ a (черт. 178), направить шпиньки ab по направленію линіи AD; затѣмъ, выставивъ вѣху въ точкѣ B по направленію шпинь-

ковъ *ad*, получимъ линію *AB*, наклоненную къ данной линіи *AD* въ данной точкѣ *C* подъ угломъ 45°.

Точно также при помощи эккера можно разбивать на мѣстности линію, *параллельную* къ данной или параллельную къ данной линіи и проходящую чрезъ данную точку. Въ первомъ случаѣ надо къ данной линіи возставить въ нѣкоторой точкѣ перпендикуляръ, а къ нему въ произвольной точкѣ, взятой на немъ, вновь разбить перпендикуляръ, который будетъ искомой параллельной линіей къ данной. Во второмъ случаѣ надо на данную линію опустить изъ данной точки



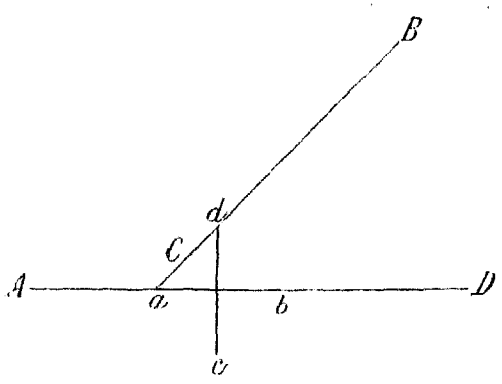
Черт. 177.

перпендикуляръ и затѣмъ, поставивъ эккеръ въ данной точкѣ, разбить линію, перпендикулярную къ первому провѣшенному перпендикуляру.

Эккеры служатъ бо́льшею частью *вспомогательными* снарядами при другихъ угломѣрныхъ инструментахъ, но ими можно также производить съемку небольшихъ контуровъ, хотя съ меньшею точностью и съ меньшимъ удобствомъ, чѣмъ это дѣлается другими инструментами. Эккеры заслуживаютъ вниманія по ихъ малосложности, простотѣ употребленія и дешевизнѣ, сравнительно съ другими угломѣрными инструментами, не говоря уже о томъ, что всякій можетъ самъ устроить крестообразный эккеръ изъ двухъ деревянныхъ брусковъ.

144. Повѣрка эккеровъ. До употребленія эккеровъ надо убѣдиться въ правильномъ ихъ устройствѣ, т. е. повѣрить, составляютъ ли

визирныя плоскости діоптровъ углы, какіе онѣ въ дѣйствительности должны имѣть, т. е. равны ли эти углы 90°, 45°, 135° или 30°. Положимъ — имѣютъ восьмигранный эккеръ. Ставятъ колъ съ надѣтымъ на него эккеромъ, по возможности вертикально, и затѣмъ по направленію прорѣзовъ b и a (черт. 177) выставляютъ вѣху A; по направленію прорѣзовъ m и n — вѣху B; по прорѣзамъ f и h — вѣху C и по прорѣзамъ k и p — вѣху D. Установивъ такимъ образомъ вѣхи, эккеръ поворачиваютъ такъ, чтобы прорѣзы m и n покрывали вѣху C, и если, при этомъ положеніи эккера, прорѣзы f и h покроютъ вѣху A, прорѣзы a и b покроютъ вѣху D и прорѣзы p и k вѣху B, то значитъ эккеръ вѣренъ. Крестообразный эккеръ повѣряется такимъ же способомъ.



Черт. 178.

Глава XII.

О БУССОЛЯХЪ.

145. Общее понятіе о буссоли. Разсмотримъ теперь вторую группу инструментовъ, коими можно получать градусную величину измѣряемыхъ угловъ. Къ числу такихъ инструментовъ относится *буссоль*. Буссолью называется снарядъ, посредствомъ котораго опредѣляются горизонтальные углы между направленіемъ свободно висящей магнитной стрѣлки и линіями, пролегающими на земной поверхности.

Для указанной цѣли буссоль имѣетъ кругъ, раздѣленный на градусы, а въ центрѣ круга вдѣлывается короткій шпинекъ съ остріемъ. Въ срединѣ магнитной стрѣлки дѣлается отверстіе, и въ это отверстіе вставляется маленькая мѣдная шляпка, покрытая сверху агатовымъ кружкомъ. Когда стрѣлка своимъ отверстіемъ повѣшена на

шпинекъ буссоли, то агатовый кружокъ, прикасаясь къ острію шпинька, уменьшаетъ треніе при перемѣщеніи стрѣлки. Шпинекъ долженъ быть острымъ, чтобы треніе агата шляпки о шпинекъ было наименьшее.

146. Магнитная стрѣлка. Магнитныя стрѣлки дѣлаются изъ стальныхъ пластинокъ. Желѣзная руда, имѣющая свойство притягивать къ себѣ желѣзо, называется *естественнымъ магнитнымъ желѣзнякомъ*. Притягательная, магнитная сила можетъ быть сообщена желѣзу кускомъ *искусственнаго магнита*. Притягательная сила сообщается стрѣлкѣ натираніемъ ея, или намагничиваніемъ. Въ каждомъ естественномъ и искусственномъ магнитѣ существуютъ 2 противоположныя точки, оказывающія наибольшую притягательную силу,— такія точки называются *полюсами*.

Магнитная стрѣлка, повѣшенная на стальной шпинекъ (черт. 179) послѣ качаній, направляется однимъ концомъ къ сѣверу, а другимъ къ югу. Форма стрѣлокъ бываетъ различна. На черт. 180, 181 и 182-мъ показаны три вида стрѣлокъ въ фасадѣ и планѣ.

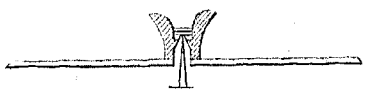
Конецъ стрѣлки, обращающійся къ сѣверу, называется *сѣвернымъ полюсомъ*, а противоположный — *южнымъ*; для различія ихъ одного отъ другого, сѣверный конецъ стрѣлки дѣлаютъ изъ вороненой стали, имѣющей синеватый цвѣтъ, или въ него вставляютъ небольшую поперечную стальную пластинку (черт. 182). Прямая линія, соединяющая концы или середины концовъ и центръ стрѣлки, называется *осью стрѣлки*.

Отвѣсная плоскость, проходящая черезъ ось свободно висящей стрѣлки, называется *магнитнымъ меридіаномъ*. Уголъ, составляемый магнитнымъ меридіаномъ съ географическимъ, т. е. линіей, соединяющей истинные югъ и сѣверъ, называется *склоненіемъ* магнитной стрѣлки.

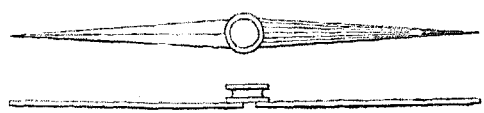
Склоненіе магнитной стрѣлки въ различныхъ точкахъ земной поверхности неодинаково. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ оно равно нулю, т. е. магнитный меридіанъ совпадаетъ съ географическимъ, въ другихъ бываетъ *западное* или *восточное склоненіе*, смотря по тому, къ западу или востоку уклоняется сѣверный конецъ стрѣлки отъ географическаго меридіана.

Склоненіе стрѣлки для какого либо опредѣленнаго пункта—величина измѣняющаяся. Въ измѣненіяхъ этихъ замѣчается періодичность.

Такъ, одни измѣненія бываютъ чрезъ весьма значительный промежутокъ времени и называются *вѣковыми*; чаще повторяющіяся бываютъ *суточныя* измѣненія; лѣтомъ они сильнѣе, чѣмъ зимою, и днемъ сильнѣе, чѣмъ ночью. Сильныя колебанія магнитной стрѣлки, какъ замѣчено въ послѣднее время, бываютъ одновременно съ большими пертурбаціями, происходящими на поверхности солнца и выражающи-



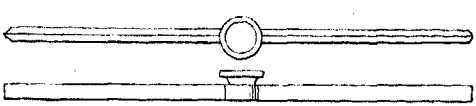
Черт. 179.



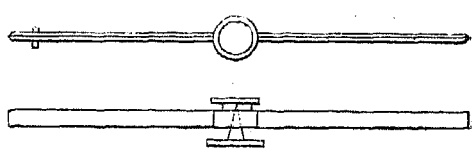
Черт. 180.

мися въ движеніи фото-сферы солнца, отбрасывающей громадные огненные языки. Такого рода пертурбаціи въ сильной мѣрѣ происходили въ 1871 и въ 1883 годахъ, а также еще въ сильнѣйшей степени въ 1894 году.

Такимъ образомъ, періодъ этихъ пертурбацій равенъ почти 11 годамъ. Одновременно съ этими пертурбаціями происходятъ въ большомъ числѣ сѣверныя сіянія, что въ особенности наблюдалось въ



Черт. 181.



Черт. 182.

1894 году. Направленіе стрѣлки измѣняется часто еще отъ мѣстныхъ причинъ, — когда на мѣстѣ наблюденія находится по близости желѣзная руда или желѣзо. Отъ мѣстнаго вліянія стрѣлка можетъ отклониться на нѣсколько десятковъ градусовъ.

Склоненіе магнитной стрѣлки данной буссоли вполнѣ опредѣлится, если извѣстно направленіе истиннаго меридіана. Опредѣленіе истиннаго меридіана мѣста дѣлается по правиламъ практической астрономіи.

Существованіе магнитнаго склоненія было замѣчено въ первый разъ въ концѣ XV столѣтія. Самыя старыя наблюденія, заслуживающія нѣкотораго довѣрія, были сдѣланы въ Парижѣ 10 іюня

1541 г. Эти первыя и послѣдующія наблюденія показали, что склоненіе бываетъ то восточное, то западное. Такъ, оно было восточное въ 1541 г. Въ 1580 г. оно достигло наибольшей величины, сдѣлавшись равнымъ 11°30′. Съ 1580 года склоненіе начало уменьшаться. Въ 1646 г. оно сдѣлалось равнымъ нулю, и магнитный меридіанъ совпадалъ нѣкоторое время съ географическимъ, послѣ чего склоненіе дѣлается западнымъ и достигаетъ въ 1814 г. наибольшей величины 22° 34′. Затѣмъ оно вновь начинаетъ уменьшаться и въ 1875 году составляло 17°21′.

Періодъ времени, протекающій отъ наибольшаго восточнаго до наибольшаго западнаго склоненія, можно принять равнымъ, приблизительно, 260 годамъ. Цифра эта все-таки болѣе или менѣе гадательная, ибо наблюденія надъ склоненіемъ магнитной стрѣлки обнимаютъ пока сравнительно небольшой промежутокъ времени. За доказанное можно принять, что *измѣненія склоненія происходятъ постепенно, и что въ одно и то же время склоненія магнитныхъ меридіановъ въ различныхъ пунктахъ земного шара различны между собою.* Поэтому, при опредѣленіи поправокъ магнитнаго склоненія для одной страны, нельзя руководствоваться наблюденіями надъ такими поправками, произведенными въ другой странѣ.

По наблюденіямъ, производящимся въ нашей Константиновской магнитной обсерваторіи въ г. Павловскѣ, оказалось, что въ 1891 году склоненіе было западное, а въ 1892 году оно достигло 0° и начало переходить въ восточное, причемъ годичное его измѣненіе равнялось 5′,4.

Имѣя наблюденія за измѣненіемъ склоненія въ какомъ либо мѣстѣ, за долгій періодъ времени, можно построить формулу для вычисленія склоненія въ данный годъ. Такъ Эри для Гринвича даетъ такую формулу:

$$19° - 12′,1 - (t - 1876) \times 7′,38,$$

гдѣ t число, обозначающее годъ, для котораго ищется склоненіе въ Гринвичѣ. На основаніи этой формулы, въ 1892 г. склоненіе въ Гринвичѣ было + 16°52′,4.

Наблюденія, произведенныя въ Геттингенской обсерваторіи, показываютъ, что времена года не оказываютъ никакого вліянія на магнитное склоненіе. Точно также различные мѣсяца года не имѣютъ

замѣтнаго вліянія на измѣненіе склоненія, освобожденнаго предварительно отъ вѣкового измѣненія.

Суточныя измѣненія были замѣчены еще во второй половинѣ прошлаго столѣтія, но болѣе точное изслѣдованіе ихъ принадлежитъ началу нынѣшняго вѣка. Въ настоящее время извѣстно, что магнитная стрѣлка въ періодъ 24 часовъ колеблется около нѣкотораго средняго положенія и въ странахъ съ умѣреннымъ климатомъ достигаетъ наибольшаго отклоненія отъ географическаго меридіана около часа пополудни, а впродолженіи ночи остается почти неподвижной.

Наибольшей своей величины склоненіе достигаетъ около часа пополудни и, начиная съ этого времени, постепенно уменьшается до 10 час. вечера. Съ этихъ поръ и до 4 час. утра оно остается почти постояннымъ; съ 4-хъ же часовъ до 8 часовъ — оно снова уменьшается и въ 8 часовъ утра достигаетъ своего минимума, послѣ чего начинаетъ снова возрастать до часа пополудни.

Взявъ среднее ариѳметическое между наибольшей и наименьшей величиной склоненія въ данный день, найдемъ величину средняго склоненія въ этотъ день. Разность же между наибольшей и наименьшей величиной склоненія представитъ величину суточнаго измѣненія склоненія.

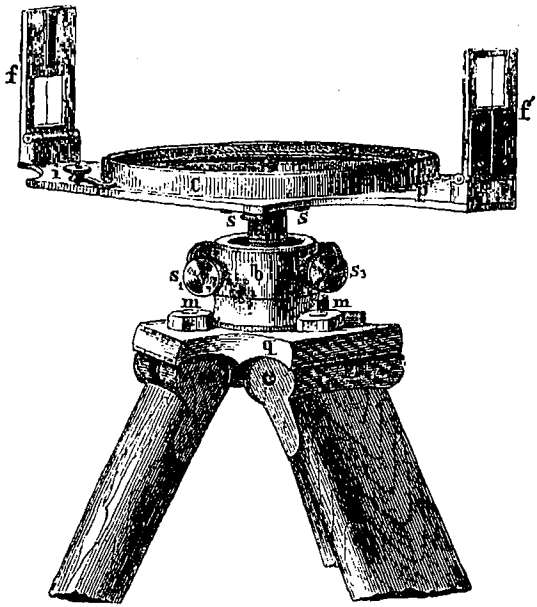
Случайныя измѣненія склоненія магнитной стрѣлки, причина которыхъ пока неизвѣстна, обыкновенно совпадаютъ съ сѣверными сіяніями, землетрясеніями и вулканическими изверженіями. Вліяніе этихъ явленій на магнитную стрѣлку весьма сильно даже и тогда, когда они происходятъ на большомъ разстояніи отъ мѣста наблюденія, и когда, слѣдовательно, въ мѣстѣ опредѣленія магнитнаго меридіана эти явленія совершенно незамѣтны. Атмосферныя грозы, которыми прежде объясняли упомянутыя возмущенія, совершенно не оказываютъ вліянія, какъ это подтверждается болѣе новыми наблюденіями. Случайныя измѣненія склоненія, вызываемыя указанными явленіями, доходятъ до 1° и до $2^1/_2°$.

При производствѣ обширныхъ съемокъ инструментами съ магнитной стрѣлкой, необходимо дѣлать наблюденія надъ второй контрольной буссолью, установленной неподвижно въ какомъ-нибудь мѣстѣ вблизи производимыхъ съемокъ. Если во время съемки произойдутъ случайныя возмущенія, то можно, благодаря наблюденіямъ надъ этой второй буссолью, принять ихъ во вниманіе. Поэтому, при

такихъ съемкахъ, весьма важно замѣчать не только день, мѣсяцъ и годъ производства ихъ, но также часы дня, въ которые производилась съемка той или другой части мѣстности.

Если же въ предѣлахъ съемки нельзя установить контрольную буссоль, то иногда за требуемыми свѣдѣніями слѣдуетъ обращаться къ ближайшей магнитной обсерваторіи.

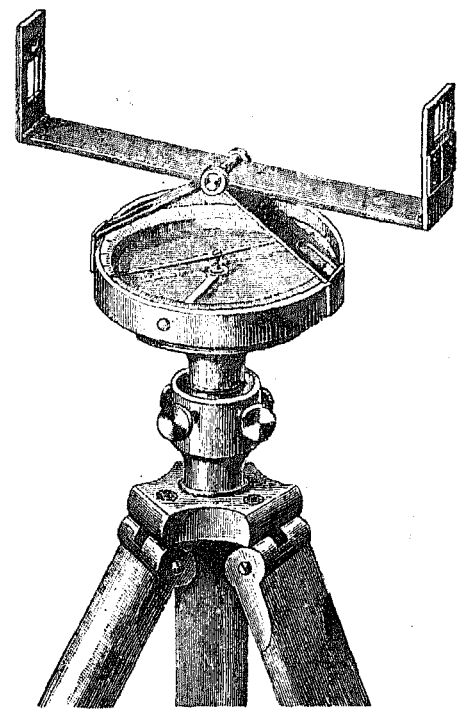
147. Буссоль съ діоптрами. Устройство этой буссоли слѣдующее: къ штативу придѣлана (черт. 183), втулка b съ четырьмя подъемными винтами s_1, s_2, s_3, s_4, надавливающими на ось o, на которую



Черт. 183.

надѣвается втулка SS, придѣланная къ мѣдной линейкѣ P; на концахъ линейки P расположены діоптры f и f' а въ серединѣ прикрѣплена мѣдная цилиндрическая коробка C. Внутри коробки помѣщается высеребренное кольцо, раздѣленное на 360°, или лимбъ буссоли, а въ центрѣ дна коробки утвержденъ шпинекъ, на который надѣвается магнитная стрѣлка. Стрѣлка такой длины, что концами своими достигаетъ до кольца, но не касается внутренняго его края, что даетъ возможность читать то градусное дѣленіе кольца, на которомъ остановится одинъ изъ концовъ стрѣлки. Коробка C съ коль-

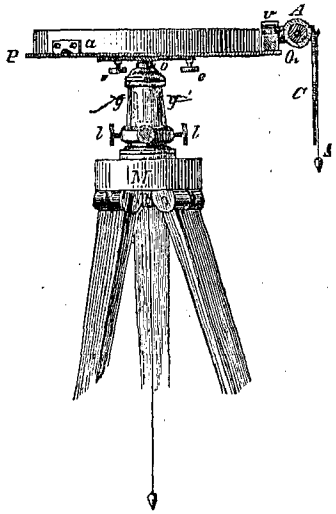
цомъ прикрѣпляется къ линейкѣ P такимъ образомъ, что визирная плоскость діоптровъ совпадаетъ съ дѣленіями кольца, или лимба, означенными 0° и 180° или двумя нулями. Линія, проходящая чрезъ нули буссоли или чрезъ 0 и 180°, называется *линіей нулей*. Направляя визирную плоскость діоптровъ по данной линіи, мы направляемъ и линію нулей буссоли по той же линіи. Дѣленія на кольцѣ буссоли дѣлаются градусныя, рѣдко полу-градусныя, поэтому при чтеніи по буссоли у сѣвернаго или южнаго конца стрѣлки можно сдѣлать ошибку въ $^1/_4°$. Кольцо вмѣстѣ со стрѣлкою, для предохраненія отъ вѣтра и сырости, плотно закрывается крышкою со стекломъ, не касающимся стрѣлки. Чтобы остріе шпинька не тупилось при переноскѣ буссоли, стрѣлка можетъ быть прижата къ стеклу, посредствомъ изогнутаго рычага; одинъ конецъ его выходитъ наружу коробки, а другой имѣетъ видъ кольца и надѣвается на шпинекъ подъ стрѣлкою. Зазоръ между стрѣлкой и стекломъ меньше высоты шляпки буссоли. Вслѣдствіе этого, когда стрѣлка прижата винтомъ i къ стеклу, она не можетъ упасть на дно коробки буссоли. Если винтъ i повернуть, то другой конецъ рычага опускается на дно коробки и не надавливаетъ на стрѣлку, отчего она дѣлается свободной и послѣ нѣсколькихъ колебаній останавливается по направленію магнитнаго меридіана. При переноскѣ же винтъ i надо повернуть, чтобы другой конецъ рычага приподнялъ стрѣлку и придавилъ ее къ стеклу. Иногда устраиваютъ такъ, что рычажекъ надо немного выдвинуть, чтобы сдѣлать стрѣлку свободною, и вдвинуть его, чтобы стрѣлка не двигалась (черт. 184).



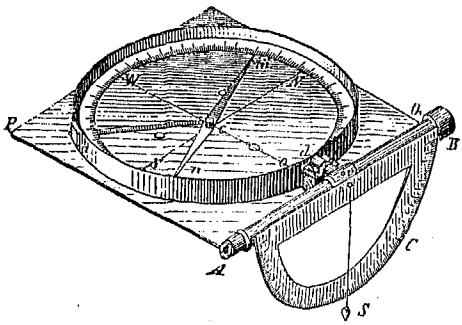
Черт. 184.

Снизу линейки, на которой покоится коробка буссоли, привинчивается втулка; при помощи этой втулки буссоль соединяется со штативомъ особымъ зажимательнымъ винтомъ.

Иногда къ буссоли вмѣсто діоптровъ придѣлываютъ трубу (черт. 185 и 186) AB и къ ней секторъ C съ отвѣсомъ S. Такою буссолью можно мѣрить углы, составленные линіями съ магнитнымъ меридіаномъ, а также и углы наклоненія визирной оси трубы съ горизонтомъ. Для этой цѣли труба вращается на оси ν. Такой инструментъ прикрѣпляется винтами e, e къ втулкѣ $g g$, укрѣпленной на верхней



Черт. 185.



Черт. 186.

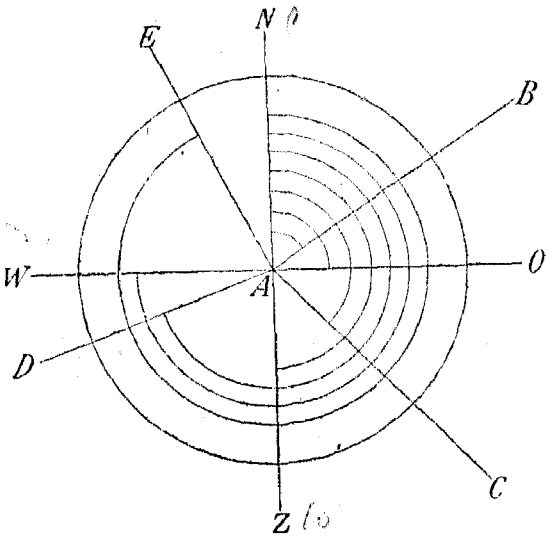
части треножника (M). Четырьмя винтами (l) буссоль приводится въ горизонтальное положеніе.

Точность измѣреній буссолью угловъ значительно менѣе той, какая получается при другихъ инструментахъ съ градусными дѣленіями. Но буссоль можетъ быть употреблена съ особою пользою въ тѣхъ случаяхъ, когда требуется произвести съемку наскоро, съ приблизительною вѣрностью, и когда главнѣйшія точки снимаемаго пространства опредѣлены уже другими, болѣе точными инструментами. Такъ, напр., при составленіи хозяйственнаго плана какой либо дачи, границы послѣдней, а равно нѣсколько точекъ внутри ея, должны быть опредѣлены болѣе точнымъ инструментомъ, а съемка внутреннихъ контуровъ и всѣхъ подробностей на пространствѣ дачи можетъ быть произведена буссолью, какъ-то: участковъ по насажденіямъ и возрастамъ лѣса, находящихся въ лѣсу луговъ, полянъ, дорогъ,

ручьевъ, овраговъ и т. п. Буссоль употребляется при *глазомѣрныхъ* съемкахъ, дѣлаемыхъ для цѣлей военныхъ, а также для предварительныхъ изысканій путей сообщенія.

148. Магнитные азимуты. Углы, составляемые магнитнымъ меридіаномъ съ линіями визированія и считаемые отъ 0° до 360° отъ сѣвернаго конца магнитной стрѣлки до данной линіи, называются *магнитными азимутами* этой линіи. *Магнитный азимутъ считается всегда отъ сѣвернаго конца стрѣлки вправо или влѣво, если смотрѣть изъ центра буссоли до направленія визируемой линіи.* Слѣдовательно, углы, называемые азимутами, могутъ быть и острыми, и тупыми.

Такъ, напр., если AB (черт. 187) данная линія, идущая отъ A къ B, а NZ направленіе магнитнаго меридіана, то уголъ между этими направленіями можно считать вправо отъ N (сѣвера), т. е. къ востоку и до 360°; въ этомъ случаѣ, азимутъ линіи AB будетъ около 60°. Его можно считать и влѣво отъ сѣвернаго конца стрѣлки, т. е. чрезъ западъ, тогда величина азимута линіи AB будетъ около 300°. Такимъ образомъ, магнитный азимутъ вполнѣ опредѣляетъ направленіе линіи относительно магнитнаго меридіана. Нужно только условиться,—въ какую сторону считать азимутъ: къ востоку или западу.



Черт. 187.

Азимутъ линіи AC, идущей отъ A къ C, считаемый чрезъ востокъ, равенъ углу NAC, т. е. онъ менѣе 180°; азимутъ той же линіи, считаемый чрезъ западъ, дополняетъ уголъ NAC до 360°. Азимутъ линіи AD, считаемый чрезъ востокъ, болѣе 180° и менѣе 270°; наконецъ, азимутъ линіи AE, считаемый чрезъ востокъ, болѣе 270° и менѣе 360°; азимутъ той же линіи, считаемый чрезъ западъ, есть уголъ NAE, и онъ менѣе 90°.

Вообще, можно сказать: азимуты линій, считаемые чрезъ востокъ на югъ и на западъ, дополняютъ до 360° азимуты тѣхъ же линій, но считаемые чрезъ западъ на югъ и на востокъ.

Уголъ, составляемый географическимъ меридіаномъ съ направленіемъ какой нибудь линіи, называется *истиннымъ азимутомъ*. Истинные азимуты считаются въ ту же сторону, какъ и магнитные: отъ сѣвера вправо или влѣво до направленія линіи.

149. Какъ измѣрить по буссоли величину азимута. Буссоли, на которыхъ надписи дѣленій идутъ отъ 0° до 360°, даютъ непосредственнымъ измѣреніемъ *азимуты*.

Буссоли, на которыхъ надписи дѣленій идутъ отъ двухъ нулей, стоящихъ по концамъ одного діаметра, въ обѣ стороны до 90°, даютъ непосредственнымъ измѣреніемъ углы, составленные данными линіями съ магнитнымъ меридіаномъ и считаемые отъ 0° до 90° отъ сѣвернаго или южнаго конца магнитной стрѣлки. Такіе углы называются *румбами*.

Чтобъ по буссоли прочитать азимутъ какой нибудь линіи, надо линію нулей буссоли, т. е. линію, соединяющую 0° и 180° и совпадающую съ визирною плоскостью діоптровъ, направить по данной линіи такъ, *чтобы подпись 180° была обращена къ наблюдателю, тогда число градусовъ, указываемыхъ сѣвернымъ концомъ стрѣлки, дастъ величину азимута.*

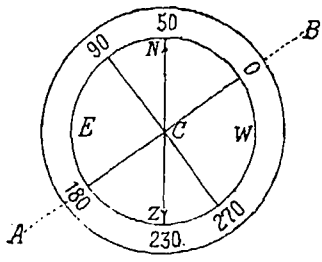
Счетъ азимутовъ отъ сѣвернаго конца стрѣлки вправо или влѣво зависитъ отъ того, какъ расположены цифры на кольцѣ буссоли. Такъ, если цифры идутъ, увеличиваясь отъ 0° влѣво, когда буссоль поставлена къ наблюдателю подписью 180°, то прочтенный азимутъ по сѣверному концу стрѣлки будетъ азимутомъ, считаемымъ отъ сѣвера, чрезъ востокъ и югъ на западъ. Напр., если наблюдатель установитъ буссоль по линіи AB, какъ показано на чертежѣ 188, то азимутъ этой линіи равенъ 50°.

Итакъ, когда наблюдатель находится у подписи 180°, а цифры на буссоли отъ нуля идутъ влѣво, то число градусовъ, прочтенное по сѣверному концу, выразитъ азимутъ линіи, по которой направлена визирная плоскость діоптровъ. Азимутъ этотъ будетъ считаться отъ сѣвера чрезъ востокъ и югъ на западъ (черт. 188).

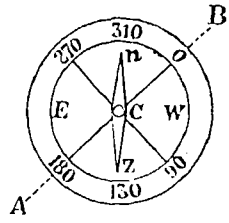
Если бы цифры отъ нуля шли вправо, а не влѣво, когда наблюдатель, поставитъ къ себѣ подпись 180°, то направивъ линію нулей буссоли по направленію данной линіи, онъ прочелъ бы по сѣверному

концу азимутъ этой линіи, считаемый чрезъ западъ и югъ на востокъ (черт. 189).

Если наблюдатель при чтеніи азимутовъ поставилъ бы къ себѣ нуль, а не 180°, то чтеніе у сѣвернаго конца стрѣлки не выразило бы собою величины азимута, какъ это видно изъ чертежей 190 и 191. Дѣйствительно, черт. 190 изображаетъ буссоль, на которой цифры

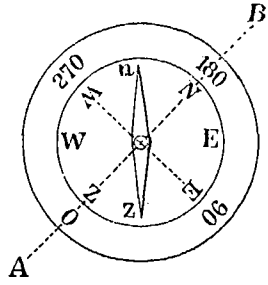


Черт. 188.

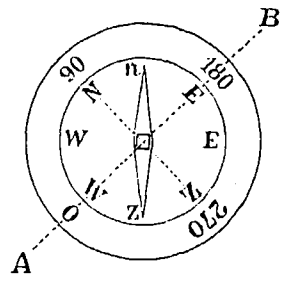


Черт. 189.

идутъ влѣво, когда наблюдатель находится у подписи 180°, слѣдовательно, ею можно измѣрять азимуты, считаемые чрезъ востокъ. Если наблюдатель, идя отъ A къ B, поставитъ къ себѣ нуль, то у сѣвернаго конца онъ прочтетъ болѣе 180° и менѣе 270°, тогда какъ ази-



Черт. 190.



Черт. 191.

мутъ линіи AB, считаемый чрезъ востокъ, менѣе 90°. Чертежъ 191 изображаетъ буссоль, на которой цифры идутъ отъ нуля вправо, когда наблюдатель находится у подписи 180°, слѣдовательно, при помощи такой буссоли можно непосредственно измѣрять азимуты, считаемые чрезъ западъ; если наблюдатель, идя отъ A къ B, поставитъ къ себѣ нуль, то у сѣвернаго конца стрѣлки прочтетъ болѣе 90° и менѣе 180, тогда какъ азимутъ линіи AB долженъ быть между 270° и 360°.

150. Румбическіе углы. *Углы, считаемые отъ сѣвернаго или южнаго конца стрѣлки вправо или влѣво до визируемой линіи, отъ 0° до 90°, называются румбическими углами.* Слѣдовательно, румбическіе углы всегда острые и тупыми быть не могутъ. Поэтому, буссоль для непосредственнаго измѣренія румбовъ должна имѣть надписи дѣленій, идущія отъ двухъ нулей въ обѣ стороны.

Если A (черт. 187) есть точка стоянія инструмента, NZ—проведенный черезъ нее магнитный меридіанъ, причемъ N — сѣверъ, а Z — югъ, WO—линія, перпендикулярная къ магнитному меридіану, то румбическій уголъ какой либо линіи, проходящей черезъ точку A, можетъ имѣть одну и ту же величину, несмотря на то, что линіи находятся въ различныхъ четвертяхъ окружности. Это обстоятельство указываетъ на то, *что одна величина румба не даетъ еще опредѣленнаго представленія о направленіи линіи*, такъ какъ, при одной и той же величинѣ угла, могутъ быть четыре направленія, поэтому румбамъ даютъ еще и названія.

Такъ, румбическій уголъ линіи:

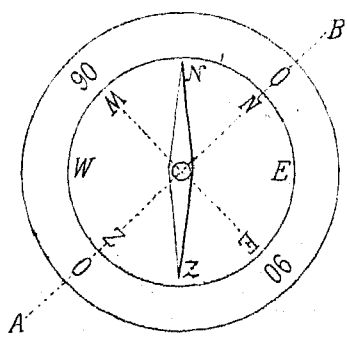
AB	есть	NAB,	называется	нордъ-остъ	и обозначается	NO.
AC	„	ZAC	„	зюйдъ-остъ	„	ZO.
AD	„	ZAD	„	зюйдъ-вестъ	„	ZW.
AE	„	NAE	„	нордъ-вестъ	„	NW.
AN	равенъ	$0°$	„	нордъ	„	N.
AZ	„	$0°$	„	зюйдъ	„	Z.
AO	„	$0°$	„	остъ	„	O.
AW	„	$0°$	„	вестъ	„	W.

Изъ этого видно, что въ названіяхъ румбовъ, обозначаемыхъ двумя буквами, первая изъ нихъ всегда либо N, либо Z, но румбы никогда не носятъ названій OZ, WZ, ON, WN.

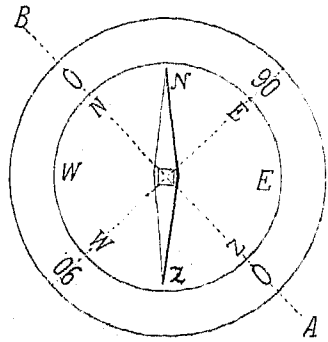
Если идти по линіи AB (черт. 187) отъ A къ B, то румбическій уголъ этой линіи будетъ NAB и назовется NO; если же идти по той же линіи отъ B къ A, то румбическій уголъ будетъ называться ZW. Такимъ образомъ, *одна и та же линія AB имѣетъ два румба, смотря по тому, какъ по ней идти, но величина угловъ обоихъ этихъ румбовъ одна и та же.*

151. Какъ по буссоли измѣрить величину румба. Чтеніе румбовъ производится такъ: наблюдатель становится лицомъ по напра-

вленію данной линіи и направляетъ линію нулей буссоли, или визирную плоскость діоптровъ, по данной линіи, идущей въ ту сторону, въ которую смотритъ наблюдатель. *Отсчетъ по сѣверному или южному концу дастъ величину румба.* Чтобы опредѣлить названіе его, наблюдатель смотритъ, съ какимъ концомъ буссоли данная линія составляетъ острый уголъ; если линія составляетъ острый уголъ съ сѣвернымъ концомъ, то первая буква въ названіи румба—*N*. Если съ южнымъ, то первая буква въ названіи румба—*Z*. Если линія, составляя острый уголъ съ сѣвернымъ или южнымъ концомъ магнитной стрѣлки, идетъ отъ магнитнаго меридіана въ восточную сторону, то вторая буква въ названіи румба—*O*. Если линія направляется въ западную сторону, то вторая



Черт. 192.



Черт. 193.

буква въ названіи румба—*W*. При этомъ надо помнить, что, если смотрѣть на магнитную стрѣлку съ южнаго конца на сѣверный, то съ правой стороны находится сторона восточная, а съ лѣвой—западная.

По бо́льшей части, на днѣ коробокъ буссолей у кольца съ дѣленіями, по направленію линіи нулей, ставятся буквы *N* и *Z*, а на концахъ линіи перпендикулярной ставятся буквы *E* и *W*. Такимъ образомъ, окружность буссоли дѣлится этими буквами на 4 квадранта. Названія этихъ квадрантовъ *NE*, *NW*, *ZE* и *ZW*. Буквы эти могутъ дѣйствительно выражать магнитный сѣверъ, югъ, востокъ и западъ, *лишь тогда, когда линія нулей буссоли совпадаетъ съ магнитной стрѣлкой.* Въ противномъ случаѣ, онѣ не указываютъ странъ свѣта.

Магнитные сѣверъ, югъ, востокъ и западъ, опредѣляемые стрѣлкою на чертежахъ отъ 190 до 193, написаны на продолженіяхъ непунктирныхъ линій, а на концахъ пунктирныхъ линій стоятъ буквы *N*, *Z*, *W* и *E*, написанныя на днѣ коробки буссоли.

Для такихъ буссолей, на днѣ коробокъ которыхъ написаны буквы, можно дать правило чтенія румбовъ въ другой формѣ, нежели было высказано раньше. Задавшись опредѣленнымъ направленіемъ, наблюдатель долженъ обратиться лицомъ къ этому направленію и привести съ нимъ въ совпаденіе визирную плоскость діоптровъ, или линію нулей буссоли, поставивъ къ себѣ букву N, написанную на днѣ коробки буссоли. Когда стрѣлка успокоится, то по ней опредѣлится вполнѣ, въ какую сторону идетъ данная линія: въ сѣверную-ли, или южную; такъ, напр., если линія идетъ отъ B къ A (черт. 192 и 193), то, слѣдовательно, она идетъ въ южную сторону. Такимъ образомъ, наблюдатель опредѣлитъ, въ какую сторону данная линія идетъ: въ сѣверную, или южную. Положимъ, окажется, что въ южную, тогда надо посмотрѣть, въ какомъ квадрантѣ буссоли находится южный конецъ стрѣлки. Онъ можетъ быть или въ квадрантѣ ZW, или въ квадрантѣ ZE. При первомъ расположеніи названіе румба будетъ ZW (черт. 192), при второмъ расположеніи названіе румба будетъ ZE (черт. 193).

Число градусовъ въ томъ и другомъ случаѣ, прочтенное по сѣверному или по южному концу стрѣлки, измѣритъ величину румба.

152. Вычисленіе румбовъ по азимутамъ. На основаніи предъидущаго весьма просто показать, какъ производится вычисленіе азимутовъ по румбамъ, и обратно. Предположимъ, что азимуты считаются отъ сѣвернаго конца стрѣлки чрезъ востокъ на югъ и западъ.

Изъ черт. 187 видно, что всѣ линіи, идущія отъ A въ пространствѣ перваго квадранта NAO, имѣютъ своими азимутами углы меньше 90°, а названія ихъ румбовъ—NO, а потому можно сказать: если величина азимута данной линіи менѣе 90°, то румбъ этой линіи равенъ азимуту, и названіе его NO.

Если азимутъ болѣе 90° и менѣе 180°, линія находится во второй четверти (ZAO), то румбическій ея уголъ—ZO и равенъ 180° минусъ азимутъ. Напр., азимутъ линіи 100°; румбическій уголъ ея ZO 80°.

Если азимутъ болѣе 180° и менѣе 270°, то румбическій уголъ имѣетъ названіе ZW и равенъ азимуту минусъ 180°. Напр., если азимутъ линіи 258°, то румбическій уголъ той же линіи ZW78°.

Наконецъ, если азимутъ болѣе 270° и менѣе 360°, то румбическій уголъ имѣетъ названіе NW и равенъ 360° минусъ азимутъ. Напр., если азимутъ 306°, то румбическій уголъ ZO54°.

Положимъ, что азимуты считаются отъ сѣвернаго конца стрѣлки чрезъ западъ на югъ и востокъ, тогда изъ того же чертежа можемъ сдѣлать слѣдующіе выводы:

Если азимутъ данной линіи менѣе 90°, то румбическій уголъ этой линіи NW и равенъ азимуту.

Если азимутъ болѣе 90° и менѣе 180°, то румбическій уголъ ZW и равенъ 180° минусъ величина азимута.

Если азимутъ болѣе 180° и менѣе 270°, то румбъ равенъ величинѣ азимута минусъ 180°, и названіе его ZO.

Если азимутъ болѣе 270° и менѣе 360°, то румбъ равенъ 360° безъ азимута, и названіе его NO.

153. Какъ вычислить величину азимута данной линіи, когда непосредственно измѣрена величина румба этой линіи. Положимъ сначала, что азимуты считаются чрезъ востокъ и югъ на западъ, тогда изъ черт. 187 выведемъ слѣдующія правила:

Если румбъ данной линіи NO, то азимутъ равенъ величинѣ румба.

Если румбъ данной линіи ZO, то азимутъ равенъ 180° безъ величины румба.

Если румбъ данной линіи ZW, то азимутъ равенъ 180° плюсъ величина румба.

Если румбъ NW, то азимутъ равенъ 360° безъ величины румба.

Когда буссоль устроена такъ, что азимуты по ней считаются отъ сѣвера чрезъ западъ и югъ на востокъ, то въ этомъ случаѣ правила таковы:

Если румбъ NO, то азимутъ равенъ 360° безъ величины румба.

Если румбъ ZO, то азимутъ равенъ 180° плюсъ величина румба.

Если румбъ ZW, то азимутъ равенъ 180° безъ румба.

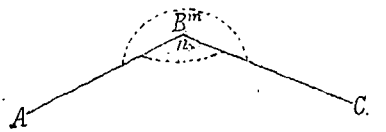
Если румбъ линіи NW, то азимутъ ея равенъ величинѣ румба.

154. Какъ опредѣлить величину угла, заключеннаго между двумя линіями, если извѣстны азимуты обѣихъ линій у ихъ началъ или у ихъ концовъ. Не трудно опредѣлить уголъ между двумя направленіями линій посредствомъ азимутовъ или румбовъ. При съемкахъ между линіями, ограничивающими участокъ, измѣряютъ или внутренніе углы, или внѣшніе, но непремѣнно какіе нибудь одни, чтобы, при нанесеніи на бумагу, не послѣдовало путаницы. Если же измѣряютъ и тѣ, и другіе, то записываютъ въ журналѣ и тѣ, и другіе углы въ соотвѣтствующія графы. Часто внутренніе и внѣшніе углы

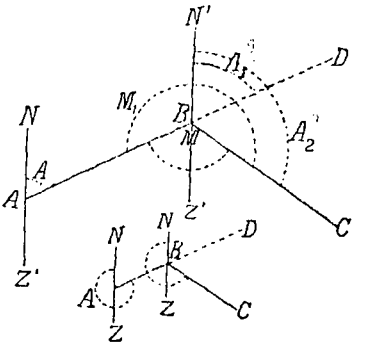
называютъ *правыми* или *лѣвыми*, смотря по тому, съ какой стороны находится наблюдатель. Такъ, если при обходѣ участка наблюдатель идетъ отъ A (черт. 194) чрезъ B къ C, то уголъ ABC, означенный буквою n, будетъ правый, а уголъ m—лѣвый.

Углы, заключенные между линіями, часто называются *астролябическими*.

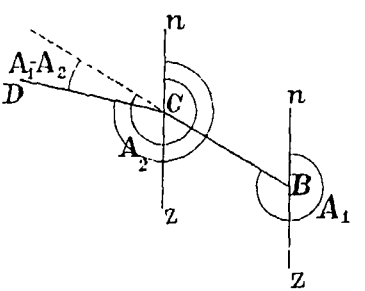
Покажемъ теперь, какъ опредѣляется величина астролябическаго угла въ зависимости отъ азимутовъ обѣихъ линій. Положимъ, съемщикъ идетъ отъ A чрезъ B (черт. 195) къ C и измѣрилъ азимуты линій AB и BC. Пусть величина азимута первой линіи будетъ A_1



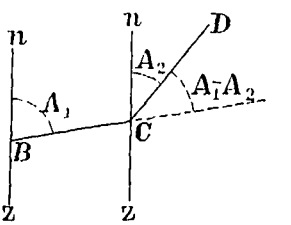
Черт. 194.



Черт. 195 и 196.



Черт. 197 *a*.



Черт. 197 *b*.

градусовъ, а второй линіи A°_2. Продолживъ линію AB, найдемъ, что уголъ $DBC=(A_2-A_1)$, слѣдовательно, уголъ

$$M=180-(A_2^\circ-A_1^\circ).$$

Такимъ образомъ, чтобы найти величину праваго *астролябическаго* угла, зная азимуты линій, его составляющихъ, *надо составить разность азимутовъ 2-й и 1-й линій и эту разность, съ тѣмъ знакомъ, съ какимъ она получится, вычесть изъ 180°.*

Если бы азимутъ второй линіи CD (черт. 197*b*) былъ меньше

азимута первой линіи BC, то правый уголъ опредѣлился бы формулою:

$$M = 180 + (A^\circ_1 - A^\circ_2).$$

а эту формулу можно написать еще и такъ:

$$M = 180 - (A^\circ_2 - A^\circ_1).$$

т. е. формула та же самая, что и раньше.

Изъ того же чертежа очевидно, что величина лѣваго угла равна:

$$M_1 = 180 + (A^\circ_2 - A^\circ_1).$$

Если бы азимуты были въ другихъ четвертяхъ, то формулы всетаки останутся совершенно такими же, какъ написанныя выше (черт. 197a).

Если для M получится величина отрицательная, то къ результату надо прибавить 360°, и разность будетъ угломъ искомымъ.

Это видно изъ чертежей 198 и 199. Здѣсь уголъ правый опредѣляется формулою:

$$M = 180 + 360 - A_2 + A_1.$$

или

$$M = 180 - (A_2 - A_1) + 360.$$

Тутъ разность $A_2 - A_1$ больше 180°, а потому $180 - (A_2 - A_1)$ величина отрицательная.

Лѣвый же уголъ опредѣлится такою формулою:

$$M_1 = (A_2 - A_1) - 180.$$

Изложенное правило одинаково относится и къ тому случаю, когда азимуты считаются чрезъ западъ, югъ и востокъ, такъ какъ уголъ DBC, и въ томъ, и другомъ случаѣ, будетъ выражаться разностью азимутовъ, что видно изъ чертежа 196-го.

Вычисленіе угла, составленнаго линіями между собою, по азимутамъ нельзя считать, говоря вообще, точнымъ, вслѣдствіе ошибокъ въ чтеніи азимутовъ. Но если ошибки въ чтеніи обоихъ азимутовъ одинаковы, то астролябическій уголъ, вычисленный, по написаннымъ выше формуламъ, получается совершенно точно, такъ какъ ошибки при вычитаніи одного азимута изъ другого уничтожатся. Дѣйстви-

тельно, пусть

$$A_2 = A'_2 + \alpha + \beta$$

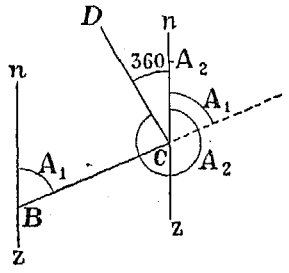
и

$$A_1 = A_1' + \alpha + \beta,$$

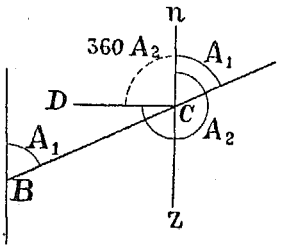
гдѣ A'_2 и A'_1 истинные азимуты, α — склоненіе, а β — ошибка въ чтеніи азимутовъ, тогда

$$A_2 - A_1 = A'_2 - A'_1,$$

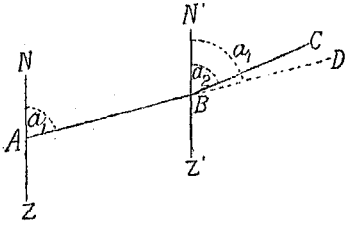
т. е. разность измѣренныхъ азимутовъ равна разности истинныхъ азимутовъ. Если бы ошибки въ чтеніи обоихъ азимутовъ не были



Черт. 198.



Черт. 199.



Черт. 200.

равны, то разность измѣренныхъ азимутовъ выразились бы такою формулою:

$$A_2 - A_1 = A'_2 - A'_1 + \beta_2 - \beta_1,$$

т. е. разность измѣренныхъ азимутовъ была бы невѣрна на величину $\beta_2 - \beta_1$, или на разность ошибокъ въ чтеніи.

Если буссоль поставлена въ вершинѣ угла, величину котораго желаютъ найти по величинѣ азимутовъ линій, идущихъ отъ вершины угла, т. е. линій BA и BC (черт. 195 и 196), а не линій AB и BC, то, какъ видно изъ тѣхъ же чертежей, величина угла M опредѣлится разностью азимутовъ данныхъ линій, а угла M_1 дополненіемъ этой разности до 360°.

155. Какъ опредѣлить величину астролябическаго угла по румбамъ линій, его составляющихъ, прочтеннымъ въ началѣ или концѣ линій. Углы между двумя линіями также могутъ быть вычисляемы и посредствомъ румбовъ. Возьмемъ нѣсколько примѣровъ.

1) Если идти отъ A къ C сначала по линіи AB, потомъ по линіи BC (черт. 200), то румбъ линіи AB будетъ $NOa_1°$, а линіи

$BC — NOa°_2$; поэтому астролябическій правый уголъ равенъ 180° плюсъ разность румбическихъ угловъ, т. е.

$$M = 180° + (a_1 — a_2).$$

Если бы a_2 было больше a_1, то формула для угла M получилась бы по формѣ такая же:

$$M = 180° — (a_2 — a_1),$$

или

$$M = 180° + (a_1 — a_2),$$

для лѣваго же астролябическаго угла получится такая формула:

$$M_1 = 180° — (a_1 — a_2).$$

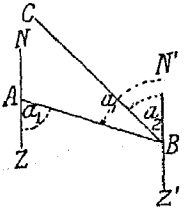
Точно такія же формулы для астролябическихъ угловъ получатся, если румбы линій имѣютъ названія ZO и ZO или NW и NW, т. е. если въ обонхъ румбахъ обѣ буквы одинаковы.

2) Если, идя отъ A къ B, румбъ линіи AB (черт. 201) будетъ $ZOa°_1$, а румбъ линіи $BC — NWa°_2$, то лѣвый уголъ равенъ разности румбическихъ угловъ, т. е.

$$M_1 = a_1 — a_2.$$

Если $a_2 > a_1$, то

$$M_1 = a_2 — a_1 = — (a_1 — a_2).$$



Черт. 201.

Правый уголъ въ 1-мъ случаѣ найдемъ по такой формулѣ:

$$M = 360° — (a_1 — a_2),$$

во 2-мъ случаѣ правый уголъ найдется по такой формулѣ:

$$M = 360° — (a_2 — a_1) = 360° + (a_1 — a_2).$$

Точно такія же формулы получаются, если оба румба не имѣютъ одинаковыхъ буквъ, напр., если они ZW и NO, или NW и ZO.

3) Если идти по линіи AB отъ A къ B (черт. 202), румбическій уголъ линіи AB будетъ $NOa°_1$, потомъ пойти, по линіи BC, румбъ которой $NWa°_2$, то, чтобы получить правый астролябическій уголъ, нужно къ 180° прибавить сумму румбовъ, т. е.

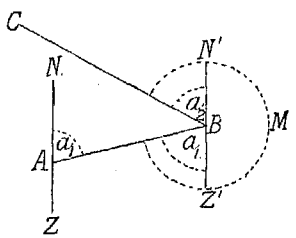
$$M = 180° + (a_1 + a_2),$$

а для лѣваго угла эту же сумму румбовъ надо вычесть изъ 180°, т. е.

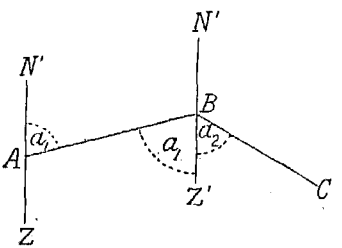
$$M_1 = 180^0 - (a_1 + a_2).$$

Такія же формулы для астролябическаго угла получатся, вообще если въ названіяхъ румбовъ первыя буквы одинаковыя, а вторыя различныя.

4) Если идти по направленію линіи AB отъ A чрезъ B, а затѣмъ отъ B къ C (черт. 203), то румбъ линіи AB будетъ NOa°_1, а румбъ линіи BC



Черт. 202.



Черт. 203.

ZOa°_2; чтобы получить величину праваго угла, нужно, какъ видно изъ чертежа, взять сумму румбическихъ угловъ, т. е.

$$M = (a_1 + a_2).$$

Лѣвый же уголъ опредѣлится по формулѣ:

$$M_1 = 360^0 - (a_1 + a_2).$$

Итакъ, для вычисленія астролябическаго угла по румбамъ, имѣются 4 формулы; въ первыхъ двухъ случаяхъ вычисленія угла по румбамъ, неизбѣжныя ошибки въ чтеніи по стрѣлкѣ, при одинаковости ихъ, не вліяютъ на величину угла, такъ какъ румбы вычитаются другъ изъ друга; если же ошибки разныя, то вліяніе ихъ на величину угла выражается разностью ошибокъ (§ 154). Въ 3-мъ и 4-мъ случаяхъ вліяніе ошибокъ, происходящихъ отъ чтенія и отъ склоненія магнитной стрѣлки, не уничтожается, напротивъ того, въ величину вычисленнаго угла обѣ ошибки входятъ цѣликомъ, такъ какъ въ этихъ двухъ случаяхъ приходится брать не разность румбовъ, а ихъ сумму.

Указанное сейчасъ обстоятельство приводитъ къ заключенію, что для вычисленія астролябическаго угла лучше брать непосредственно прочтенные азимуты, чѣмъ румбы, такъ какъ въ формулы служащія для вычисленія угла по азимутомъ входитъ всегда только разность азимутовъ.

Соединимъ всѣ разобранные четыре примѣра въ слѣдующую таблицу:

Румбы 1-й линіи.	Румбы 2-й линіи.	Буквы въ названіи румбовъ.	Правый уголъ.	Лѣвый уголъ.
NOa_1 ZOa_1 ZWa_1 NWa_1	NOa_2 ZOa_2 ZWa_2 NWa_2	Въ названіи румбовъ обѣ буквы одинаковы.	$180° \pm (a_1 - a_2)$	$180° \mp (a_1 - a_2)$
NOa_1 ZOa_1 ZWa_1 NWa_1	ZWa_2 NWa_2 NOa_2 ZOa_2	Въ названіи румбовъ обѣ буквы различны.	$360° \mp (a_1 - a_2)$	$\mp (a_1 - a_2)$
NOa_1 ZOa_1 ZWa_1 NWa_1	NWa_2 ZWa_2 ZOa_2 NOa_2	Въ названіи румбовъ первыя буквы одинаковы, вторыя различны.	$180° \pm (a_1 + a_2)$	$180° \mp (a_1 + a_2)$
NOa_1 ZOa_1 ZWa_1 NWa_1	ZOa_2 NOa_2 NWa_2 ZWa_2	Въ названіяхъ румбовъ первыя буквы различны, вторыя одинаковы.	$a_1 + a_2$	$360° - (a_1 + a_2)$

Если румбы обѣихъ линій, составляющихъ уголъ, прочтены не въ началѣ каждой линіи, а въ вершинѣ измѣряемаго угла, то, чтобы вычислить астролябическій уголъ по выведеннымъ въ этомъ параграфѣ формуламъ, надо предварительно замѣнить названіе румба одной изъ линій названіемъ ей противоположнымъ, т. е. если румбъ одной линіи $NOa°$, то вмѣсто него надо взять $ZWa°$, если румбъ одной изъ линій $ZOa°$, то вмѣсто него слѣдуетъ взять $NWa°$, а затѣмъ произвести вычисленіе по соотвѣтственной формулѣ.

156. Какъ по румбу данной линіи найти румбъ линіи ей параллельной или перпендикулярной. Румбы линій параллельныхъ всегда одинаковы по градусной величинѣ, въ названіяхъ же имѣютъ или обѣ буквы одинаковыя, или обѣ разныя, напримѣръ: NO 20° и NO 20°; NW 30° и ZO 30°.

Румбы линій, другъ къ другу перпендикулярныхъ, по величинѣ дополняютъ другъ друга до 90°, въ названіяхъ же они имѣютъ: либо первыя буквы одинаковыя, либо вторыя, напримѣръ, перпендикулярныя къ линіи, имѣющей румбъ *NO* 25°, будутъ линіи съ румбами либо *ZO* 65°, либо *NW* 65°.

157. Какъ опредѣлить склоненіе магнитной стрѣлки. Чтобы узнать величину склоненія магнитной стрѣлки, необходимо опредѣлить направленіе истиннаго меридіана. Точное опредѣленіе положенія истиннаго меридіана мѣста производится на основаніи астрономическихъ наблюденій. Но есть также нѣсколько способовъ менѣе точныхъ для опредѣленія истиннаго меридіана; мы изложимъ здѣсь наиболѣе практичный и довольно точный способъ опредѣленія меридіана мѣста.

Если мѣстность, на которой находится съемщикъ, открытая и ровная, такъ что мѣста восхода и захода солнца расположены почти на одномъ горизонтѣ, и ни одно изъ этихъ мѣстъ не закрыто лѣсомъ, то можно измѣрить румбы лучей, идущихъ отъ заходящаго и восходящаго солнца къ глазу наблюдателя. Румбы эти должны быть почти равны между собою, если склоненіе магнитной стрѣлки равно нулю.

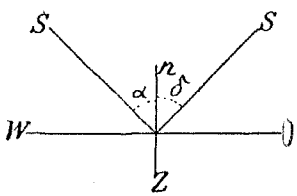
А потому, чтобы опредѣлить склоненіе магнитной стрѣлки, поступаютъ такъ: выбравъ мѣсто, съ котораго восходъ и заходъ солнца видны почти на одномъ горизонтѣ, устанавливаютъ буссоль на этомъ мѣстѣ, предъ заходомъ солнца направляютъ колимаціонную плоскость діоптровъ буссоли на середину солнца и въ тотъ моментъ, когда нижній край солнца отстоитъ отъ видимаго горизонта на половину діаметра солнца, дѣлаютъ окончательную установку колимаціонной плоскости на середину солнца, а затѣмъ читаютъ показаніе сѣвернаго конца магнитной стрѣлки (черт. 204).

Буссоль не снимаютъ съ мѣста, покрываютъ и оставляютъ ее установленною до утра на томъ же мѣстѣ, чтобы вновь сдѣлать такое же наблюденіе во время восхода солнца. Оставляютъ буссоль для того, чтобы не подвергать ее различнымъ перемѣнамъ возможнымъ при переноскѣ и укладкѣ, а также для того, чтобы не терять времени утромъ на установку инструмента.

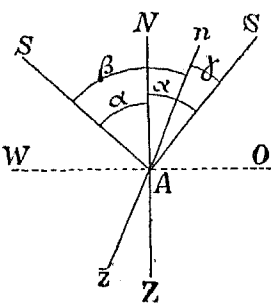
Если въ діоптры трудно смотрѣть на солнце, то надо запастись закопченнымъ стекломъ для визированія черезъ него въ діоптры.

Если румбы, прочтенные вечеромъ и утромъ окажутся равными, то это укажетъ, что склоненіе магнитной стрѣлки буссоли равно нулю. Если румбы окажутся различными, то полуразность ихъ (черт. 204) дастъ величину склоненія стрѣлки. При этомъ склоненіе получится восточное, если отсчетъ γ, сдѣланный утромъ, меньше отсчета β, сдѣланнаго вечеромъ (черт. 205). Склоненіе будетъ западное, если отсчетъ, сдѣланный вечеромъ, меньше утренняго (черт. 206). На чертежахъ (205 и 206) NZ—направленіе географическаго меридіана, nz—направленіе магнитнаго меридіана, γ и β — румбы, прочтенные утромъ и вечеромъ.

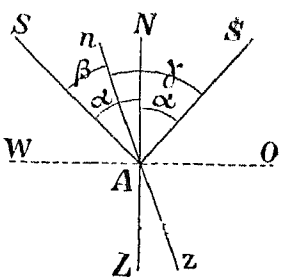
Опредѣливъ положеніе географическаго меридіана мѣста, можно означить его вѣхами, а затѣмъ дѣлать наблюденія надъ измѣненіемъ



Черт. 204.



Черт. 205.



Черт. 206.

склоненія магнитной стрѣлки, для чего надо инструментъ устанавливать такъ, чтобы линія нулей буссоли была по направленію географическаго меридіана.

Неудобство описаннаго способа заключается въ томъ, что надо дѣлать наблюденія два раза, вечеромъ и утромъ, между тѣмъ непогода можетъ помѣшать сдѣлать наблюденіе во второй разъ.

158. Какимъ условіямъ должна удовлетворять буссоль. Изъ описанія и употребленія буссоли становится совершенно яснымъ, что буссоль должна удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1) Коробка ея не должна содержать желѣза.

2) Кольцо буссоли должно имѣть вѣрныя дѣленія.

3) Шпиль, на которомъ виситъ стрѣлка, долженъ быть достаточно остеръ.

4) Стрѣлка должна быть достаточно чувствительна.

5) Линія нулей буссоли должна совпадать съ колимаціонной плоскостью діоптровъ. Иначе, румбы или азимуты визируемыхъ линій будутъ прочтены по буссоли невѣрно.

Предъ употребленіемъ буссоли надобно удостовѣриться, выполнены-ли всѣ условія, требуемыя при ея устройствѣ.

159. Какъ узнать, не содержитъ ли коробка буссоли желѣза. Для повѣрки этого условія поступаютъ такимъ образомъ: вынувъ стрѣлку изъ коробки, вѣшаютъ ее на особомъ вертикальномъ шпинькѣ и, выждавъ, пока она придетъ въ спокойное состояніе, подносятъ къ-ней коробку и подставку буссоли различными ихъ частями. Если стрѣлка при этомъ не отклоняется отъ своего направленія, то въ инструментѣ нѣтъ желѣза. Въ противномъ случаѣ, буссоль не годится для употребленія.

160. Какъ узнать, вѣрны ли дѣленія кольца буссоли. Это требованіе повѣряютъ такимъ образомъ: назначивъ на особой бумажкѣ тонкимъ карандашомъ, напримѣръ, 5 градусныхъ дѣленій кольца, прикладываютъ эту бумажку по окружности лимба, вправо или влѣво, отъ 0° до 360°, замѣчая при этомъ, совпадаютъ ли дѣленія бумажки съ 10, 15, 20 и т. д. дѣленіями. Пройдя такимъ образомъ цѣлую окружность, повторяютъ то же дѣйствіе, начиная съ перваго градуснаго дѣленія, при этомъ замѣчаютъ,—совпадаютъ ли дѣленія бумажки съ 6, 11, 16, 21 и т. д. дѣленіями лимба. То же самое дѣлаютъ, начиная съ 2°, 3°, 4° и 5°; если во всѣхъ случаяхъ конечныя дѣленія бумажки совпадаютъ съ дѣленіями кольца, то это значитъ, что дѣленія сдѣланы вѣрно. Въ противномъ случаѣ, замѣчаютъ невѣрное мѣсто и при отсчитываніи угловъ принимаютъ эту ошибку во вниманіе; а еще лучше такую буссоль въ дѣло не употреблять, въ особенности если въ ней есть нѣсколько невѣрныхъ дѣленій.

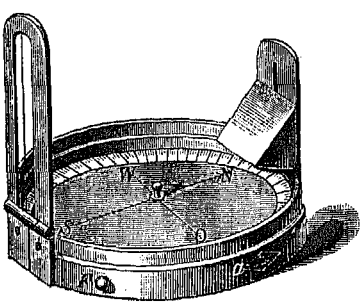
161. Какъ узнать, достаточно ли остеръ шпиль буссоли. Чтобы изслѣдовать, остеръ-ли шпиль, направляютъ діоптры на какой нибудь предметъ и замѣчаютъ показаніе стрѣлки, послѣ того обращаютъ буссоль около ея вертикальной оси и потомъ снова наводятъ діоптры на тотъ же предметъ, повторяя это дѣйствіе нѣсколько разъ. Если, при каждомъ новомъ наведеніи, показаніе стрѣлки одно и то же, то, слѣдовательно, шпиль достаточно остръ. Треніе можетъ также происходить оттого, что агатовый кружокъ шляпки нехорошо отшлифованъ.

162. Какъ узнать, чувствительна ли стрѣлка буссоли. Чтобы узнать чувствительность стрѣлки буссоли, къ стеклу подносятъ какую нибудь желѣзную вещь, и, если стрѣлка притягивается энергично, то она хорошо намагничена; въ противномъ случаѣ, ее надо намагнитить снова.

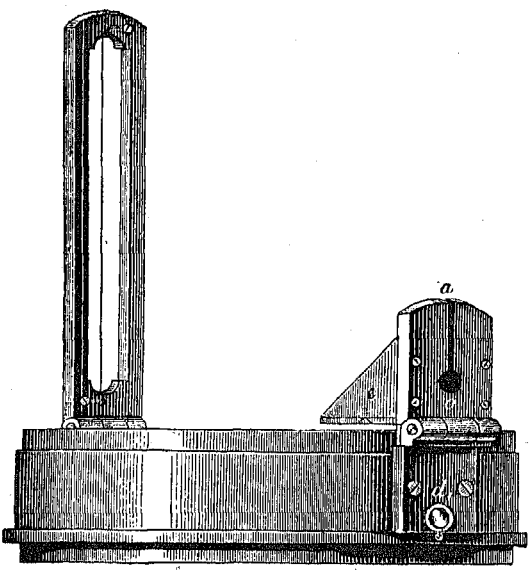
163. Какъ узнать, совпадаетъ ли линія нулей буссоли съ колимаціонной плоскостью діоптровъ. Чтобы открыть, исполнено ли это требованіе, надо посмотрѣть въ діоптры буссоли на какой либо отдаленный предметъ и прочитать показаніе по сѣверному концу стрѣлки, затѣмъ діоптры отвинтить, снявъ крышку съ буссоли, и у мѣстъ расположенія нулей лимба или у 0° и 180°, накапать расплавленнымъ воскомъ, когда воскъ застынетъ—воткнуть въ него осторожно тонкія длинныя булавки или иголки такъ, чтобы острія ихъ точно приходились на дѣленія у нулей, а сами иголки были отвѣсны. Послѣ этого надо повернуть буссоль такимъ образомъ, чтобы иголки покрыли тотъ же предметъ, на который были наведены діоптры; если показаніе сѣвернаго конца стрѣлки, послѣ того какъ она успокоится, остается то же, то, слѣдовательно, линія нулей буссоли и колимаціонная плоскость діоптровъ совпадаютъ, въ противномъ случаѣ, разность показаній сѣвернаго конца равна углу наклоненія линіи нулей къ колимаціонной плоскости. Ошибка можетъ быть только тогда открыта, если она значительна; если же она мала, то разность чтеній можетъ быть отнесена и къ неточности чтенія.

164. Буссоль Шмалькальдера. Кромѣ описанныхъ выше буссолей, есть еще буссоли Брюньера, Стефана и Шмалькальдера. Опишемъ здѣсь эту послѣднюю. Буссоль эта принадлежитъ къ числу небольшихъ *ручныхъ буссолей*, употребляемыхъ для приблизительнаго опредѣленія положенія линій на земной поверхности относительно магнитнаго меридіана. Она состоитъ изъ мѣдной цилиндрической коробки B (черт. 207), діаметромъ въ $1^1/_2$ или $2^1/_2$ дюйма и высотою $^3/_4$ дюйма. На днѣ коробки, въ центрѣ ея, утвержденъ отвѣсный шпинекъ для навѣшиванія на него магнитной стрѣлки. На верху стрѣлки прикрѣпляется кольцо изъ тонкой латунной пластинки діаметромъ нѣсколько менѣе діаметра коробки. На латунномъ кольцѣ наклеивается бумажный кружекъ, раздѣленный на градусы. Нуль градусныхъ дѣленій находится при южномъ концѣ (S) стрѣлки, и подпись дѣленій располагается отъ юга къ западу чрезъ сѣверъ до 360°. Коробка закры-

вается стекломъ и, кромѣ того, при переноскѣ,—мѣдною крышкою. Къ одному краю коробки придѣланъ на шарнирѣ предметный діоптръ, а къ другому діаметрально противоположно прикрѣплена пластинка *d* (черт. 207) съ пазами, между которыми движется глазной діоптръ *a*. Прорѣзъ глазного діоптра оканчивается внизу круглою скважиною, противъ которой, по другую сторону діоптра, закрѣплена прямоугольная и равнобедренная хрустальная призма, обращенная своимъ выпуклымъ катетомъ къ кругу, а гипотенузою къ предметному діоптру.



Черт. 207.

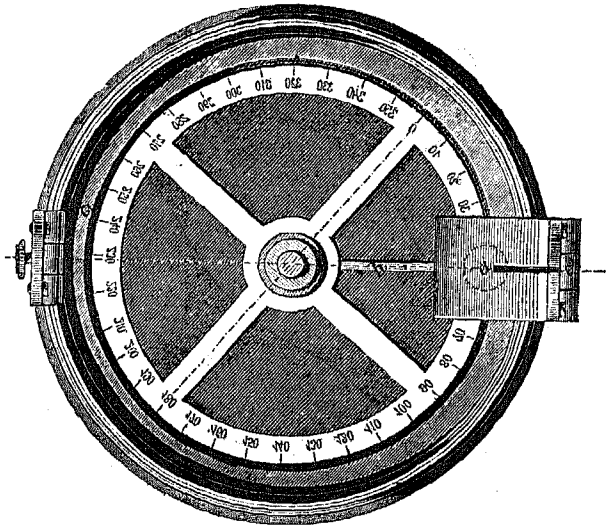


Черт. 208.

Такое устройство глазного діоптра даетъ возможность, въ одно и то же время, визировать при помощи волоска предметнаго діоптра на наблюдаемую точку или предметъ, а въ круглую скважину видѣть совпадающее съ этимъ волоскомъ дѣленіе кружка и градусную подпись въ увеличенномъ видѣ. Наружныя стороны призмы, за исключеніемъ обращенныхъ къ кругу и круглой скважинѣ глазного діоптра, покрыты мѣдною оправою. Градусныя подписи кружка означаются въ обратномъ видѣ для того, чтобы, по отраженіи въ призмѣ, онѣ представлялись въ прямомъ видѣ. Черт. 208 и 209 представляютъ собою буссоль Шмалькальдера въ настоящую величину, въ фасадѣ и планѣ.

165. Употребленіе буссоли Шмалькальдера. Въ дно буссоли ввинчивается втулка, ею буссоль надѣвается на верхушку кола или на штативъ; иногда же буссоль Шмалькальдера не устанавливаютъ на штативъ, а просто держатъ въ рукѣ. Во время переноски магнитная стрѣлка съ кружкомъ должна быть прижата къ стеклу при помощи особаго штифтика F (черт. 207).

Для разсматриванія дѣленій, глазной діоптръ подвигаютъ между



Черт. 209.

пластинками d до тѣхъ поръ, пока сказанныя дѣленія не представятся съ совершенною ясностью.

Визированіе производится такимъ образомъ: наблюдатель ставитъ къ себѣ глазной діоптръ и направляетъ діоптры по данной линіи. Затѣмъ, смотря въ круглое отверстіе, противъ призмы, читаетъ число градусовъ, указываемое волоскомъ предметнаго діоптра, но чтеніе это дѣлаетъ не раньше того, какъ кружокъ съ магитною стрѣлкою не успокоится. Прочтенное число градусовъ выразитъ азимутъ линіи по которой направлена визирная плоскость діоптровъ, такъ какъ линія нулей кружка буссоли Шмалькальдера совпадаетъ съ осью магнитной стрѣлки.

Глава XIII.

О ПОВѢРКАХЪ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХЪ ИНСТРУМЕНТОВЪ.

166. Общій пріемъ, употребляемый для повѣрокъ геодезическихъ инструментовъ. Въ вышеизложенномъ видѣли, что описанные геодезическіе инструменты должны были удовлетворять нѣкоторымъ условіямъ, при которыхъ ихъ части, относительно другъ друга, располагаются опредѣленнымъ образомъ; такъ, напримѣръ, ось уровня должна быть параллельна той плоскости, которую надо приводить въ горизонтальное положеніе, визирная плоскость должна совпадать съ линіей нулей буссоли и т. д. Чтобы облегчить запоминаніе всевозможныхъ повѣрокъ въ разныхъ инструментахъ, разсмотримъ, въ чемъ долженъ заключаться общій пріемъ повѣрокъ.

Требованія отъ всякаго вѣрнаго геодезическаго инструмента сводятся, говоря вообще, къ слѣдующимъ тремъ требованіямъ:

1) Двѣ нѣкоторыя линіи должны совпадать въ одну линію или лежать въ одной плоскости.

2) Одна линія или плоскость должна быть перпендикулярна къ другой линіи или плоскости.

3) Одна линія или плоскость должна быть параллельна нѣкоторой линіи или плоскости.

Посмотримъ, какъ можно убѣдиться, удовлетворены, или не удовлетворены эти требованія.

167. Повѣрка совпаденія двухъ линій. Положимъ, что по направленію линіи *cd* имѣемъ двѣ сливающіяся линіи. Если одну изъ нихъ начать отводить отъ ея первоначальнаго положенія, то послѣ того, какъ она опишетъ полуокружность, она непремѣнно сольется съ первоначальнымъ положеніемъ. Итакъ, если *двѣ линіи совпадаютъ одна съ другою, то, послѣ поворота на 180°, поворачиваемая линія сохранитъ свое первоначальное положеніе, и обратно— если поворачиваемая линія, послѣ поворота на 180°, сохранитъ свое мѣсто, то она совпадаетъ съ линіей, около которой ее поворачивали.*

Положимъ, что *ab* не совпадаетъ съ *cd* (черт. 210), причемъ *cd* неподвижна, а *ab* можетъ вращаться около нея, какъ около оси.

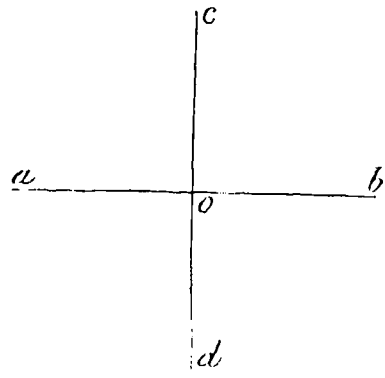
Если повернемъ линію *ab* около *cd* такъ, чтобы она опять лежала на плоскости бумаги, т. е. повернемъ ее на цѣлую полуокружность, то уголъ *coa* останется во время движенія постояннымъ, слѣдовательно:

$$coa = \frac{aoa}{2},$$

т. е. *если одна линія не совпадаетъ съ другой, то послѣ поворота поворачиваемая линія не ляжетъ по первоначальному направленію, и уголъ наклоненія 1-го направленія ко 2-му будетъ равенъ половинѣ угла, составленнаго двумя положеніями поворачиваемой линіи до поворота и послѣ поворота.*



Черт. 210.



Черт. 211.

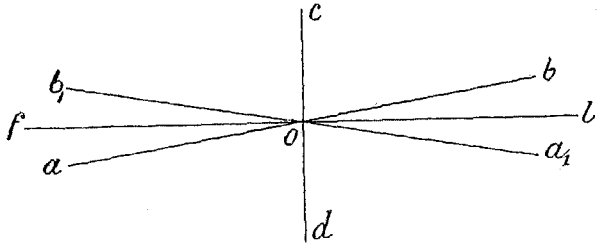
168. Повѣрка перпендикулярности двухъ линій. Положимъ, что *ab* (черт. 211) перпендикулярна къ неподвижной линіи *cd*; если повернемъ *ab* около *cd*, какъ около оси, на полуокружность, то уголъ *cob* во все время движенія будетъ постояннымъ и равнымъ прямому, и, слѣдовательно, линія *ab* займетъ свое первоначальное направленіе, только правый конецъ ея ляжетъ слѣва, и наоборотъ. Итакъ, если *одна линія перпендикулярна къ другой, то, при поворотѣ 1-й около 2-й, какъ около оси, на 180°, поворачиваемая линія займетъ первоначальное положеніе, и обратно, если поворачиваемая линія, послѣ поворота на 180°, займетъ первоначальное положеніе, то она перпендикулярна къ линіи, около которой ее вращали.*

Если же *ab* неперпендикулярна (черт. 212) къ *cd*, то уголъ *cob* будетъ острый, а *coa* тупой, и потому, послѣ поворота линіи *ab* около оси *cd* на полуокружность, *ab* не займетъ прежняго положе-

нія, а составитъ съ первоначальнымъ направленіемъ нѣкоторый уголъ aob_1. Если проведемъ линію fl перпендикулярно къ cd, то углы b_1of и foa будутъ равны между собою, а потому:

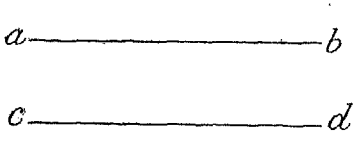
$$b_1of = \frac{aob_1}{2},$$

т. е. *уголъ ошибки отъ неперпендикулярности одной линіи къ другой равенъ половинѣ угла, составленнаго двумя направленіями поворачиваемой линіи до поворота и послѣ поворота.*

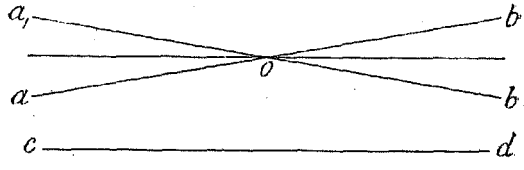


Черт. 212.

169. Повѣрка параллельности двухъ линій. Положимъ, наконецъ, что линія ab (черт. 213) параллельна cd, слѣдовательно, ab отстоитъ отъ cd на равныхъ разстояніяхъ; поэтому, послѣ поворота на полуокружность, она займетъ первоначальное направленіе. Итакъ,



Черт. 213.



Черт. 214.

если одна линія параллельна другой, то, когда повернемъ одну изъ нихъ относительно другой на 180°, поворачиваемая линія займетъ прежнее мѣсто, и обратно,—если поворачиваемая линія, послѣ поворота на 180°, заняла первоначальное положеніе, то она параллельна линіи, относительно которой ее вращали.

Если же ab непараллельна cd (черт. 214), то, послѣ поворота на полуокружность, она не ляжетъ по тому же направленію, и *уголъ наклоненія ab къ cd будетъ равенъ половинѣ угла, составленнаго двумя положеніями поворачиваемой линіи до поворота и послѣ поворота.*

Изъ всего сказаннаго о повѣркахъ можно вывести слѣдующее общее правило: если требуется повѣрить въ какомъ нибудь геодезическомъ инструментѣ: 1) совпадаютъ ли двѣ линіи въ одну, 2) перпендикулярны ли двѣ линіи другъ къ другу, 3) параллельны ли двѣ линіи между собою, тогда надлежитъ одну линію повернуть около другой на полуокружность, и если послѣ поворота поворачиваемая линія остается въ томъ же положеніи, какъ и до поворота, то данная линія удовлетворяетъ условію, въ существованіи котораго желали убѣдиться. Если же послѣ поворота поворачиваемая линія не сохраняетъ первоначальнаго положенія, то данная линія не удовлетворяетъ тому условію, въ существованіи котораго желали убѣдиться. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ угловая ошибка равна половинѣ угла, составленнаго двумя положеніями поворачиваемой линіи до поворота и послѣ поворота. Очевидно, то же относится и къ плоскостямъ.

Какимъ образомъ замѣтить положеніе линіи или плоскости до поворота и послѣ поворота, — общихъ правилъ дать нельзя, и это должно быть указано въ каждомъ частномъ случаѣ отдѣльно. Часто узнаютъ, сохраняетъ ли какая нибудь линія инструмента извѣстное направленіе, сравненіемъ ея положенія съ вполнѣ опредѣленнымъ направленіемъ, существующимъ независимо отъ инструмента, напр., съ отвѣсною линіей и т. п. Чтобы вывѣрить, напр., параллельна ли плоскость лимба оси уровня, придѣланнаго къ алидадѣ, приводятъ середину пузырька уровня на середину трубки при помощи подъемныхъ винтовъ или просто движеніемъ руки. Тогда ось уровня будетъ горизонтальна; затѣмъ поворачиваютъ алидаду съ уровнемъ на 180°; если пузырекъ займетъ прежнее положеніе, то это покажетъ, что ось уровня горизонтальна и, слѣдовательно, послѣ поворота сохраняетъ прежнее положеніе, т. е. она параллельна плоскости, относительно которой была повернута на 180°, или параллельна плоскости лимба. Если пузырекъ отойдетъ отъ прежняго положенія, то ось уровня непараллельна плоскости лимба. Положимъ, что при этомъ середина пузырька отклонится на 4 дѣленія отъ середины трубки, слѣдовательно, уголъ непараллельности или уголъ ошибки соотвѣтствуетъ, на основаніи вышесказаннаго, двумъ дѣленіямъ уровня. Исправленіе или уничтоженіе угла ошибки производится повѣрительными винтами уровня.

Глава XIV.

ОБЪ АСТРОЛЯБІЯХЪ.

170. Описаніе астролябій. Для болѣе точнаго, нежели буссолью, опредѣленія взаимнаго положенія линій или угловъ между ними, служитъ астролябія. Главныя части каждой астролябіи составляютъ: *лимбъ* съ градусными дѣленіями, *алидада съ буссолью, діоптрами и ноніусами и штативъ*, или *треножникъ*.

Астролябія, изображенная на черт. 215, состоитъ изъ мѣднаго круга діаметромъ отъ 6 до 10 дюймовъ, называемаго лимбомъ и раздѣленнаго на 360 градусовъ. Надписи на дѣленіяхъ лимба астролябій идутъ или вправо, или влѣво отъ нуля лимба, чрезъ каждые 10 градусовъ. Кольцо лимба соединено съ его срединою радіусами, сдѣланными также изъ мѣди. Къ лимбу у концовъ его діаметра, проходящаго чрезъ черты 0° и 180°, привинчиваются винтами B два діоптра, N и N, такъ что ихъ визирная плоскость перпендикулярна къ плоскости лимба; эти діоптры называются *неподвижными*. На оси, проходящей чрезъ центръ лимба перпендикулярно къ плоскости лимба, вращается алидада, длиною нѣсколько меньше діаметра лимба. Къ концамъ алидады прикрѣпляются два другіе діоптра, P и P, называемые *подвижными*.

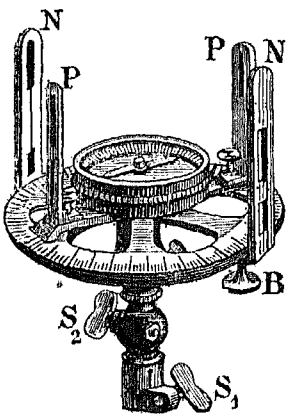
Концы алидады дѣлаются дугообразными, нѣсколько болѣе внутренняго радіуса лимба, для назначенія на нихъ дѣленій ноніуса. На этихъ дугахъ, по направленію плоскости, проходящей чрезъ подвижные діоптры, назначаются черты, называемыя *индексами*.

На алидадѣ помѣщается буссоль, состоящая изъ цилиндрической коробки, закрытой крышкою со стекломъ. Въ центрѣ дна ея утверждается отвѣсно шпиль для навѣшиванія на него магнитной стрѣлки. Внутри коробки сдѣлано высеребренное кольцо, раздѣленное на градусы, надписи на дѣленіяхъ буссоли идутъ отъ двухъ нулей вправо и влѣво до 90°, такъ что по буссоли астролябіи можно непосредственно читать румбы.

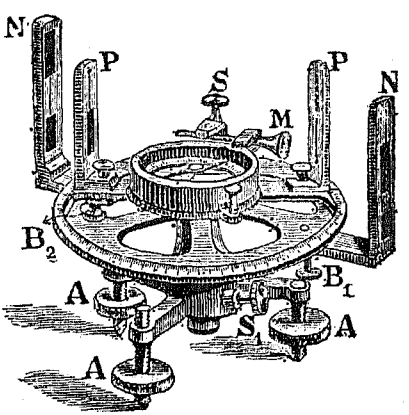
Въ астролябіяхъ на ноніусѣ обыкновенно наноситъ дуга равная 11° или 13° лимба и дѣлится на ноніусѣ на 12 частей, такъ что точность ноніуса астролябіи всегда равна 5′. Ноніусы астролябіи бо́льшею частью имѣютъ надписи на дѣленіяхъ, идущія въ обѣ

стороны отъ нуля, находящагося въ точкѣ пересѣченія алидады съ визирною плоскостью подвижныхъ діоптровъ. По одну сторону нуля чрезъ три дѣленія стоитъ цифра 15, чрезъ шесть дѣленій стоитъ цифра 30; по другую сторону нуля стоитъ чрезъ три дѣленія цифра 45, чрезъ шесть дѣленій 30. Поэтому, первое дѣленіе отъ нуля въ сторону цифры 15 соотвѣтствуетъ 5 минутамъ, а первое дѣленіе въ сторону 45 соотвѣтствуетъ 35 минутамъ и т. д.

При помощи винта S_1 (черт. 215) астролябія закрѣпляется на цилиндрѣ, придѣлываемомъ къ столику треножника. Винтъ S_2 проходитъ чрезъ двѣ фигурныя пластинки, называемыя *щеками*, и чрезъ шаровидный от-



Черт. 215.



Черт. 216.

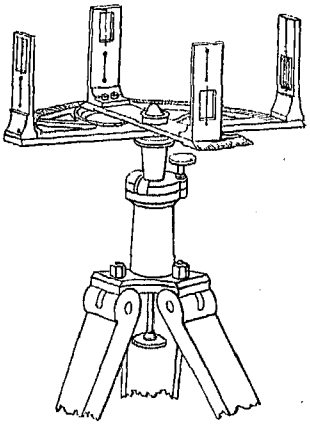
ростокъ. Въ одной изъ щекъ находится гайка для винта. Когда винтъ S_2 закрѣпленъ, то лимбъ астролябіи нельзя наклонить, если же немного ослабить винтъ S_2, то лимбъ можно наклонить въ любую сторону, вслѣдствіе того, что шаръ можетъ вращаться между щеками. Такое устройство называется *баксою*. Это устройство даетъ возможность устанавливать астролябію въ горизонтальномъ, наклонномъ и вертикальномъ положеніяхъ.

Къ радіусамъ лимба придѣлывается наглухо цилиндрическая трубка или втулка. Ею астролябія надѣвается наштативъ съ баксою и закрѣпляется на баксѣ особымъ винтомъ, виднымъ только своею верхнею частью.

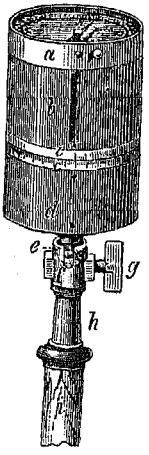
Для приведенія астролябіи въ горизонтальное положеніе, на днѣ буссоли иногда помѣщаются два уровня, другъ къ другу перпендикулярныхъ. Если же ихъ нѣтъ, то приведеніе въ горизонтальное положеніе

дѣлается при помощи магнитной стрѣлки, которая, при горизонтальномъ положеніи кольца буссоли и лимба ему параллельнаго, отстоитъ обоими своими концами отъ кольца буссоли на одинаковыя разстоянія.

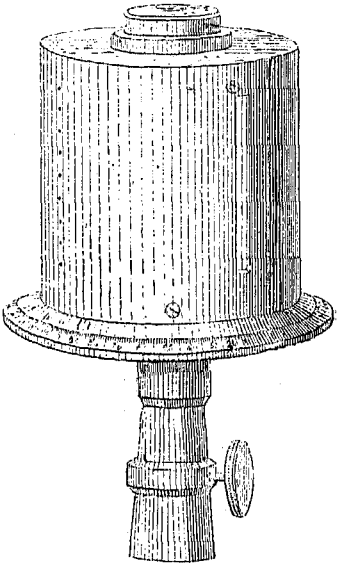
Астролябія укрѣпляется на треножникѣ часто не помощью баксы (черт. 216), а устанавливается на треножникъ тремя подъемными винтами A, A, A и укрѣпляется особымъ становымъ винтомъ. N и N— діоптры неподвижные, привинченные къ лимбу винтами B_1; P и P—діоптры подвижные, привинченные къ алидадѣ винтами B_2: S,—зажимательный винтъ лимба S_2 зажимательный винтъ алидады M—микрометренный винтъ алидады. Въ такого рода астролябіяхъ въ коробкѣ буссоли всегда помѣщается одинъ или два уровня и микрометренные винты какъ при алидадѣ, такъ и при лимбѣ.



Черт. 217.



Черт. 218.

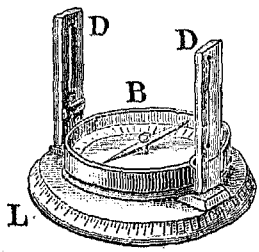


Черт 218.

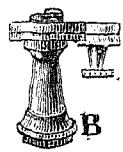
Астролябіи дѣлаютъ иногда не съ полнымъ кругомъ лимба, а съ полукругомъ въ родѣ транспортира (черт. 217), но при такомъ устройствѣ алидада легко изгибается, вслѣдствіе чего инструментъ скоро портится. Удешевленіе же цѣнности инструмента отъ такого устройства—ничтожное.

Иногда астролябіямъ придаютъ видъ цилиндровъ (чер. 218a, 218b), а также конусовъ, причемъ устраиваютъ ихъ съ буссолями и безъ буссолей. Подобныя астролябіи называются *гоніометрами*. Устройство гоніометра таково: онъ состоитъ изъ двухъ полыхъ латунныхъ цилин-

дровъ *d* и *b*. Цилиндръ *b* можетъ быть вращаемъ винтомъ на цилиндрѣ *d*; для этой цѣли винтъ этотъ, проходящій внутрь цилиндра *b*, на своемъ, невидномъ, концѣ имѣетъ шестерню, цѣпляющуюся за зубчатое колесо, прикрѣпленное къ внутренней стѣнкѣ цилиндра *b*. Цилиндръ *d* тамъ, гдѣ видна бѣлая полоска *c*, имѣетъ серебрянное кольцо *bb*, раздѣленное на 360 градусовъ. Такимъ образомъ, цилиндръ *d* замѣняетъ собою лимбъ. Надписи на дѣленіяхъ лимба сдѣланы чрезъ 10° и идутъ отъ 0 до 360°. Тамъ, гдѣ находятся надписи 0° и 180°, въ цилиндрѣ *d*, по направленіямъ производящей цилиндра, сдѣланы два прорѣза,—одинъ узкій, другой широкій,—это діоптры неподвижные. Читателю виденъ узкій діоптръ; въ широкомъ натянутъ волосокъ, такъ что плоскость, проходящая чрезъ узкій прорѣзъ и волосокъ, какъ разъ проходитъ



Черт. 219.



Черт. 220.



Черт. 221.

чрезъ 0° и 180°. Въ цилиндрѣ *b* сдѣлано четыре діоптра, два узкихъ и два широкихъ, и противъ одной пары ихъ поставлены ноніусы такъ, что колимаціонная плоскость діоптровъ проходитъ чрезъ нули ноніусовъ. Такимъ образомъ, верхній цилиндръ представляетъ собою алидаду, вмѣстѣ съ тѣмъ онъ также есть и цилиндрическій эккеръ. Къ верхней части цилиндра *b* придѣлана буссоль *a*. Гоніометръ втулкою *h* надѣвается на палку *i*, и втулка удерживается на палкѣ однимъ треніемъ. Винтъ g_1—винтъ баксы. Ослабляя его, можно лимбъ гоніометра поставить горизонтально. Астролябіи дѣлаютъ также съ трубами, и тогда, вмѣсто подвижныхъ діоптровъ привинчиваются особыя подставки, на которыя кладется горизонтальная ось вращенія трубы.

На черт. 219, изображена буссоль Стефана. Она напоминаетъ собою астролябію (черт. 215), только лимбъ *L* безъ діоптровъ, къ коробкѣ же буссоли *B* придѣлано два діоптра, поворачивающихся на шарнирахъ. Чертежъ 220, представляетъ собою подставку, при помощи которой буссоль утверждается на палкѣ или треножникѣ.

171. Употребленіе астролябіи. Для измѣренія угла посредствомъ астролябіи (черт. 215 и 216), ее ставятъ въ вершину измѣряемаго угла такъ, чтобы отвѣсъ (черт. 221), прикрѣпляемый къ треножнику противъ центра лимба, приходился надъ вершиною измѣряемаго угла, т. е. устанавливаютъ астролябію такъ, чтобы центръ ея лимба проектировался въ вершину измѣряемаго угла. Обративъ нулевыя черты лимба и ноніуса къ себѣ, приводятъ плоскость лимба въ горизонтальное положеніе на глазъ по магнитной стрѣлкѣ или при помощи уровней (§§ 170 и 96). Установка въ горизонтальномъ положеніи по магнитной стрѣлкѣ заключается въ томъ, что наклоняютъ лимбъ до тѣхъ поръ, пока концы стрѣлки не будутъ на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ кольца буссоли. Если цифровыя надписи на лимбѣ идутъ, увеличиваясь отъ нуля въ лѣвую сторону, то неподвижные діоптры направляютъ на лѣвый предметъ, а подвижные діоптры на правый предметъ. Если же цифровыя подписи лимба увеличиваются отъ нуля вправо, то направляютъ неподвижные діоптры на правый предметъ, а подвижные на лѣвый. Дугою, заключенною между нулевыми чертами лимба и ноніуса, опредѣлится градусная величина угла. Чтеніе по лимбу и ноніусу производится по правиламъ, изложеннымъ въ § 89-мъ. Углы, градусная величина которыхъ отсчитывается на лимбѣ астролябіи, называются *астролябическими*.

Иногда, при измѣреніи астролябическаго угла, употребляютъ способъ повторенія, заключающійся въ слѣдующемъ: измѣряютъ уголъ сначала, какъ описано выше, и читаютъ показаніе лимба у нуля алидады. Затѣмъ, не трогая алидады, ослабляютъ зажимательный винтъ лимба и поворачиваютъ лимбъ такъ, чтобы въ подвижные діоптры былъ виденъ предметъ, на который были направлены неподвижные діоптры (этотъ предметъ будемъ называть первымъ), и въ точности наводятъ на него колимаціонную плоскость подвижныхъ діоптровъ, подвигая лимбъ или просто рукою, или же при помощи микрометреннаго винта лимба, если онъ имѣется, закрѣпивъ предварительно зажимательный винтъ лимба.

Затѣмъ ослабляютъ зажимательный винтъ алидады, вращеніемъ алидады на ея оси направляютъ подвижные діоптры на второй предметъ, закрѣпляютъ алидаду и въ точности наводятъ колимаціонную плоскость подвижныхъ діоптровъ, при помощи микрометреннаго винта алидады, на второй предметъ; тогда уголъ, прочтенный на

лимбѣ у нуля алидады, очевидно, будетъ вдвое больше прочтеннаго въ первый разъ. Это двойное чтеніе прочтется, какъ и первое, съ точностью ноніуса астролябіи, т. е. съ точностью пяти минутъ; раздѣливъ этотъ отсчетъ на два, найдемъ величину угла между данными предметрами съ точностью до $2^1/_2$ минутъ. Подобнымъ образомъ можно дѣйствовать въ третій разъ, т. е. ослабивъ зажимательный винтъ лимба, не трогая зажимательнаго винта алидады, вращать лимбъ до тѣхъ поръ, пока подвижные діоптры не будутъ направлены на первый предметъ, послѣ чего закрѣпить зажимательный винтъ лимба и микрометреннымъ винтомъ лимба привести въ точности колимаціонную плоскость подвижныхъ діоптровъ на первый предметъ. Сдѣлавъ это, ослабляютъ зажимательный винтъ алидады, поворачиваютъ алидаду такъ, чтобы колимаціонная плоскость подвижныхъ діоптровъ направилась на второй предметъ, закрѣпляютъ зажимательный винтъ алидады и, установивъ ее въ точности микрометреннымъ винтомъ, читаютъ показаніе у нуля ноніуса. Такимъ образомъ, получимъ тройную величину даннаго для измѣренія угла тоже съ точностью пяти минутъ. Точно также можно измѣрить четверную, пятерную его величину съ тою же точностью. Раздѣливъ же пятерную величину на пять частей, получимъ, измѣряемый уголъ съ точностью одной минуты.

Все сказанное объ измѣреніи угла при помощи повторенія, говоря теоретически, совершенно вѣрно, въ дѣйствительности же величина угла послѣ пятерного повторенія не получится съ точностью одной минуты, во-первыхъ потому, что измѣренная пятерная величина угла окажется ошибочна отъ вліянія невѣрности 10 визпрова ній (§ 98) на лѣвый и правый предметъ, во-вторыхъ оттого, что при вращеніи алидады лимбъ, хотя и закрѣпленный, можетъ вслѣдствіе тренія отходить отъ своего положенія на малыя величины. Такъ что указанныя вліянія могутъ ввести ошибку въ величину измѣряемаго угла большую, нежели точность ноніуса. На этомъ основаніи, способъ повторенія употреблять, при работахъ астролябіей, не слѣдуетъ.

172. Какимъ условіямъ должна удовлетворять вѣрная астролябія. Изъ изложеннаго объ устройствѣ астролябіи и ея употребленіи становится понятнымъ, что правильно устроенная астролябія должна удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1) *Дѣленія лимба и ноніуса должны быть вѣрны.*

2) *Ось вращенія алидады должна пройти чрезъ центръ лимба*, иначе углы, измѣренные по лимбу, не центральные, а вершина ихъ лежитъ между центромъ и окружностью, и слѣдовательно, чтеніе по лимбу у нуля ноніуса дастъ невѣрную величину угла.

3) *Ось уровня должна быть параллельна плоскости лимба*, иначе, когда пузырекъ находится на серединѣ трубки, т. е. ось уровня горизонтальна, плоскость лимба можетъ не быть горизонтальна.

4) *Визирныя плоскости діоптровъ подвижныхъ и неподвижныхъ должны быть перпендикулярны къ плоскости лимба*, иначе, послѣ установки лимба въ горизонтальномъ положеніи, визирныя плоскости діоптровъ не находятся въ отвѣсномъ положеніи, и, слѣдовательно, волоски діоптровъ пересѣкаютъ, а не покрываютъ вѣхъ, установленныхъ въ отвѣсной плоскости.

5) *При совмѣщеніи визирныхъ плоскостей подвижныхъ и неподвижныхъ діоптровъ должна совмѣститься также нулевая черта ноніуса съ нулевой чертой лимба.* Иначе, углы, измѣренные по лимбу, окажутся невѣрными.

6) *Визирная плоскость подвижныхъ діоптровъ должна совпадать съ линіей нулей буссоли.* Если это условіе не соблюдено, то азимуты или румбы визируемыхъ линій окажутся невѣрными.

173. Какъ узнать вѣрны ли дѣленія лимба и ноніуса астролябіи, т. е. 12 дѣленій ноніуса равны-ли 11 или 13 дѣленіямъ лимба. По приведеніи нулевой черты ноніуса въ совмѣщеніе съ какою нибудь чертою лимба, 12-я черта ноніуса должна совмѣститься съ какою либо чертою лимба, а между 0-вою и 12-ою чертами должно быть 11 или 13 дѣленій лимба. Для повѣрки дѣленій ноніуса, каждое его дѣленіе приводятъ въ совмѣщеніе съ однимъ и тѣмъ же дѣленіемъ лимба. Если при этомъ ближайшія дѣленія ноніуса, лежащія по обѣ стороны совмѣщеннаго дѣленія, находятся на равныхъ разстояніяхъ отъ ближайшихъ къ нимъ дѣленій лимба, то это служитъ признакомъ вѣрности дѣленій ноніуса.

Для этой же повѣрки можно употребить пріемъ, описанный въ параграфѣ 160-мъ.

174. Проходитъ ли ось вращенія алидады чрезъ центръ лимба астролябіи. Для повѣрки этого условія измѣряютъ какой нибудь уголъ ABC и замѣчаютъ отсчетъ ноніуса. Пусть онъ окажется равнымъ, напримѣръ, a. Потомъ, не измѣняя положенія лимба и алидады,

читаютъ показаніе второго ноніуса. Когда центръ вращенія алидады совмѣщается съ центромъ лимба, то новый отсчетъ ноніуса долженъ равняться $a + 180°$. Если же показаніе второго ноніуса окажется равнымъ, напр., $a_1 + 180°$, то центръ алидады не совпадаетъ съ центромъ лимба, и тогда необходимо при измѣреніи угловъ читать по обоимъ ноніусамъ. Полусумма показаній безъ 90° дастъ величину измѣреннаго угла, такъ какъ чтеніе по второму ноніусу должно отличаться отъ чтенія по первому ноніусу только на 180°.

175. Параллельна ли ось уровня плоскости лимба астролябіи. Если астролябія на баксѣ, то этой повѣрки можно и не дѣлать, такъ какъ ошибка отъ неточности установки можетъ быть больше, чѣмъ ошибка отъ невѣрности уровня. Если же астролябія съ подъемными винтами, то для этой повѣрки ставятъ уровень движеніемъ алидады по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ и ими устанавливаютъ пузырекъ уровня на середину трубки, затѣмъ поворачиваютъ алидаду такъ, чтобы уровень расположился по 3-му подъемному винту, и точно также приводятъ имъ пузырекъ уровня на середину, и наконецъ алидаду поворачиваютъ на 180°; если послѣ поворота на 180° пузырекъ останется на серединѣ, то это укажетъ, что ось уровня послѣ поворота сохранила свое мѣсто, т. е. что она параллельна плоскости лимба, относительно которой ее повернули на 180°, въ противномъ случаѣ, половина отклоненія пузырька укажетъ на величину наклоненія оси уровня къ лимбу, и на эту половину надо отклонить пузырекъ (§ 169) помощью повѣрительнаго винта уровня. Затѣмъ ось уровня надо привести въ горизонтальное положеніе подъемными винтами и повторить повѣрку вновь.

176. Перпендикулярна-ли визирная плоскость діоптровъ, подвижныхъ и неподвижныхъ, къ плоскости лимба астролябіи. Приведя лимбъ въ горизонтальное положеніе (§ 96), направляютъ неподвижные, а потомъ и подвижные, діоптры на какую нибудь вертикальную линію. Если затѣмъ визированіе, чрезъ глазные діоптры, покажетъ, что всѣ точки волосковъ предметныхъ діоптровъ лежатъ на замѣченной вертикальной прямой, то упомянутая перпендикулярность существуетъ. Въ противномъ случаѣ, должно исправить случившуюся погрѣшность перемѣщеніемъ волоска діоптра или самаго діоптра, прокладывая кусочекъ фольги между короткой полочкой діоптра и лимбомъ, если вывѣрялся неподвижный діоптръ, или между короткой полочкой и алидадой, если вывѣрялся подвижный діоптръ.

177. Совпадаютъ ли визирныя плоскости подвижныхъ и неподвижныхъ діоптровъ, при совмѣщеніи нулевой черты ноніуса съ нулевой чертой лимба астролябіи. Приведя обѣ визирныя плоскости въ совмѣщеніе, надо отвинтить неподвижный діоптръ, стоящій у нулеваго дѣленія лимба. Если окажется, что нулевое дѣленіе лимба сливается съ нулевою чертою ноніуса, то изслѣдуемое условіе выполнено. Если же этого не окажется, то лучше всего отвинтить неподвижные діоптры и, при измѣреніи угла, вмѣсто неподвижныхъ діоптровъ употреблять подвижные, приводя предварительно въ совпаденіе нуль ноніуса съ нулемъ лимба.

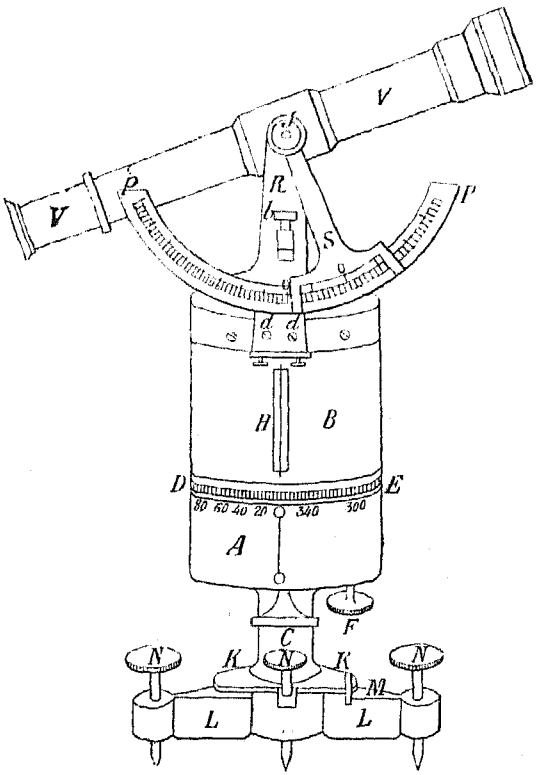
178. Совпадаетъ ли визирная плоскость подвижныхъ діоптровъ астролябіи съ линіей нулей буссоли. Повѣрка этого условія дѣлается такъ: направляютъ колимаціонную плоскость подвижныхъ діоптровъ на какой либо отдаленный предметъ, закрѣпивъ алидаду, читаютъ показаніе у нуля ноніуса алидады; отвинчиваютъ подвижные діоптры, снимаютъ стеклянную крышку съ буссоли астролябіи, наклеиваютъ воскъ у нулей буссоли и втыкаютъ въ него длинныя иглы или шпильки такъ, чтобы острія пришлись какъ разъ въ нулевыя дѣленія, а сами шпильки были отвѣсны; если послѣ этого шпильки покрываютъ тотъ же предметъ, который былъ покрытъ волоскомъ подвижнаго діоптра, то, значитъ, нѣтъ ошибки, если же шпильки не закрываютъ того же предмета, то поворачиваютъ алидаду до тѣхъ поръ, пока шпильки не покроютъ тотъ же предметъ. Читаютъ показаніе у нуля алидады. Разность двухъ полученныхъ отсчетовъ дастъ величину наклоненія линіи нулей буссоли съ колимаціонной плоскостью діоптровъ. Исправить эту ошибку въ астролябіяхъ, изображенныхъ на чертежахъ 215 и 216, нельзя. Въ гоніометрахъ же (черт. 218) для исправленія надо ослабить винтикъ у кольца буссоли, входящій въ овальную дыру, и затѣмъ коробку буссоли повернуть на величину найденнаго угла.

Всѣ эти повѣрки надо дѣлать до покупки астролябіи. Если результатъ изслѣдованія откроетъ значительныя неправильности, то инструментъ лучше не брать, такъ какъ надлежащихъ исправленій самъ съемщикъ сдѣлать не можетъ. Для съемокъ небольшихъ участковъ и когда не требуется большой точности, конечно, можетъ быть пригоденъ инструментъ и съ большими погрѣшностями. Но никогда не нужно требовать отъ инструмента болѣе того, что онъ можетъ дать, т. е. неточный инструментъ не слѣдуетъ употреблять для измѣреній болѣе точныхъ.

Глава XV.

О ПАНТОМЕТРАХЪ.

179. Описаніе пантометра. Гоніометръ (черт. 218*а*), снабженный зрительною трубою, называется *пантометромъ*. Пантометръ употребляется для измѣренія горизонтальныхъ и вертикальныхъ угловъ. Онъ состоитъ изъ двухъ полыхъ цилиндровъ A и B (черт. 222), каждый діаметромъ отъ $2^1/_2$ до 3 дюймовъ. Верхній цилиндръ имѣетъ два ноніуса. Точность ихъ дѣлается въ 1 или 2 минуты. На верхнемъ цилиндрѣ четыре діоптра H, поставленные черезъ каждые 90°; прорѣзы двухъ изъ нихъ приходятся противъ нулей ноніусовъ. На нижнемъ цилиндрѣ сдѣланъ высеребренный ободокъ ED, раздѣленный на градусы отъ 0° до 360°. Надписи идутъ, какъ видно изъ чертежа, влѣво отъ нуля. Но устраиваютъ также пантометры, у которыхъ надписи на лимбѣ идутъ не въ лѣвую, а въ правую сторону, какъ это видно изъ чертежа 223-го.



Черт. 222.

На этомъ чертежѣ, такъ же, какъ и на чертежѣ 222-мъ, одинаковыя части пантометра означены одинаковыми буквами. Верхній цилиндръ можетъ вращаться на нижнемъ около оси, общей обоимъ цилиндрамъ. Для этой цѣли невидный конецъ винта F снабженъ шестернею, отчего, при вращеніи винта F, шестерня зацѣпляется за зубчатку, укрѣпленную по всей внутренней поверхности цилиндра B. По направле-

нію діаметра, проходящаго черезъ 0° и 180°, на нижнемъ цилиндрѣ прорѣзаны два діоптра, играющіе роль *неподвижныхъ діоптровъ*; изъ нихъ глазной находится при нулѣ градусной надписи. Въ дно цилиндра A ввинченъ наглухо цилиндръ C, которымъ пантометръ надѣвается на ось трехконечной подставки LLL. Цилиндръ C оканчивается внизу кругомъ KK (черт. 222) и скрѣпляется съ подставкою LLL посредствомъ клещей и зажимательнаго винта, а по закрѣпленіи зажимательнымъ винтомъ, малое движеніе сообщается микрометреннымъ винтомъ M. Въ оконечности подставки LLL ввинчены подъемные винты NNN, устанавливаемые на треножникѣ обыкновеннаго устройства. Съ нижней стороны подставка LLL имѣетъ въ центрѣ гайку, въ нее ввинчивается становой винтъ треножника. Къ верхней части цилиндра B придѣлывается буссоль, раздѣленная на градусы отъ 0° до 360°. Дѣленія идутъ вправо отъ нуля, когда наблюдатель находится у подписи 180°. Слѣдовательно, по буссоли пантометра можно читать азимуты, считаемые чрезъ западъ, югъ и востокъ (§ 149). Дѣленія на буссоли съ подписями 0° и 180° находятся по направленію діоптровъ, совпадающихъ съ нулями ноніусовъ, такъ что нули буссоли и нули ноніусовъ цилиндра B находятся въ одной плоскости.

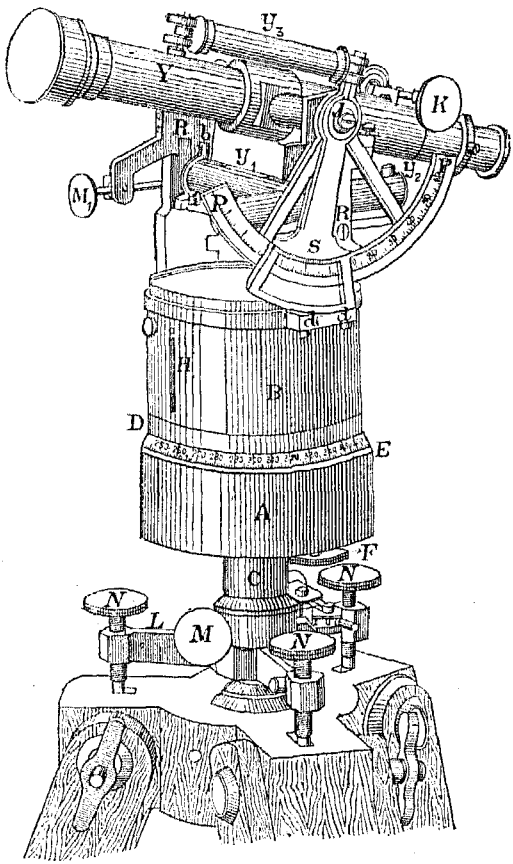
Къ буссоли привинчены двумя парами винтовъ dd подставки R съ подшипниками въ ихъ верхнихъ частяхъ; въ подшипники вкладывается горизонтальная ось вращенія J зрительной трубы V. Винты d и d входятъ въ подставки R, чрезъ овальныя дыры. Благодаря такому устройству, подставки вмѣстѣ съ трубою можно немного передвигать.

На одной изъ подставокъ R, изъ одного съ ней куска мѣди, сдѣлана дуга PP, раздѣленная на градусы. Нуль градусной подписи находится по серединѣ дуги, и подписи дѣленій отъ 0° увеличиваются въ обѣ стороны.

На оконечность горизонтальной оси трубы J надѣто наглухо кольцо съ алидадою S; имѣющей ноніусъ для отсчитыванія мелкихъ частей дѣленій вертикальнаго сектора. Алидада S, служащая для измѣренія по вертикальному сектору, вращается вмѣстѣ съ зрительной трубой VV. Иногда устраиваютъ пантометръ такъ, что, при вращеніи его трубы, вращается вмѣстѣ съ нею не алидада, а секторъ, служащій лимбомъ; алидада же для такого лимба прикрѣпляется наглухо къ подставкѣ R.

Другая подставка R состоитъ изъ двухъ частей, свинченныхъ повѣрительнымъ винтомъ. Ввинчивая или вывинчивая этотъ повѣрительный винтъ, можно удлинить немного или укоротить одну подставку и, слѣдовательно, измѣнить положеніе оси вращенія трубы.

Въ срединѣ подставокъ R сдѣланы прорѣзы, въ нихъ помѣщаются концы оправы уровня, и, посредствомъ повѣрительнаго винта b, конецъ уровня можетъ быть повышаемъ или понижаемъ. На чертежѣ 223-мъ уровень этотъ означенъ буквою $У_1$. Кромѣ него на этомъ пантометрѣ имѣется еще другой уровень $У_2$, прикрѣпленный къ подставкѣ R. Уровни эти служатъ для приведенія плоскости лимба въ горизонтальное положеніе подъемными винтами. Ось зрительной трубы $V\,V$ расположена по направленію нулей буссоли и нулей ноніусовъ цилиндра B. Окуляръ трубы приходится надъ дѣленіемъ буссоли, означеннымъ подписью 180. На чертежѣ 223-мъ къ трубѣ прикрѣпленъ уровень $У_3$, по концамъ его видны гайки, при помощи которыхъ, уровень $У_3$ можетъ быть немного приподнятъ или опущенъ и ось его можетъ быть сдѣлана параллельной оси визирной трубы. Труба можетъ быть въ этомъ инструментѣ закрѣплена особымъ зажимательнымъ винтомъ, который не виденъ за трубой. Малыя передвиженія трубы, по ея закрѣпленіи, могутъ быть сообщаемы ей микрометреннымъ винтомъ M_1.



Черт. 223.

Трубу въ описываемыхъ пантометрахъ нельзя вращать на всю окружность, такъ какъ концы трубы длиннѣе подставокъ, на которыхъ покоится горизонтальная ось вращенія.

При переноскѣ пантометра магнитная стрѣлка прижимается къ крышкѣ буссоли назначеннымъ для этой цѣли штифтикомъ.

Въ пантометрахъ иногда вмѣсто сектора ставятъ цѣлый вертикальный кругъ, и тогда трубу дѣлаютъ на столько короткою, чтобы можно было вращать ее на полную окружность или, какъ говорятъ, переводить чрезъ зенитъ. Надписи на дѣленіяхъ вертикальнаго круга пантометра, бо́льшею частью, дѣлаются отъ нуля до 360°, чрезъ каждые 10 градусовъ. Вертикальный кругъ вращается вмѣстѣ съ трубой, а алидада остается неподвижной.

Изъ устройства пантометра видно, что если ослабить зажимательный винтъ лимба, то втулка C, а вмѣстѣ съ нею и цилиндръ A могутъ быть вращаемы около вертикальной оси лимба. По закрѣпленіи же клещей, нижній цилиндръ дѣлается неподвижнымъ, и малое движеніе ему дается микрометреннымъ винтомъ M. Особый винтъ K (черт. 223) служитъ для передвиженія сѣточнаго колѣна трубы, два винта зажимаютъ кольцо сѣтки, кромѣ того, имѣется иногда зажимательный винтъ и микрометренный для алидады лимба.

180. Употребленіе пантометра для измѣренія угловъ въ горизонтальной плоскости. Для измѣренія горизонтальнаго угла на мѣстности ставятъ пантометръ такъ, чтобы отвѣсъ треножника приходился въ вершинѣ этого угла. Приводятъ подъемными винтами лимбъ въ горизонтальное положеніе (§ 96), для чего, не трогая лимба, вращеніемъ алидады, ставятъ уровень то по двумъ подъемнымъ винтамъ, то по 3-му, т. е. такъ, что всякій разъ поворачиваютъ алидаду приблизительно на 90°; затѣмъ приводятъ нулевое дѣленіе лимба или нижняго цилиндра въ совпаденіе съ 0 ноніуса верхняго цилиндра.

Если подписи на лимбѣ увеличиваются отъ 0° вправо, то наводятъ трубу сперва на правый предметъ и закрѣпляютъ зажимательный винтъ лимба, затѣмъ движеніемъ верхняго цилиндра наводятъ трубу на лѣвый предметъ. Отсчетъ, прочтенный по ноніусу, выразитъ величину горизонтальнаго угла между правымъ и лѣвымъ предметами. Пантометромъ можно дѣлать измѣреніе угла по способу повторенія, какъ описано въ § 171-мъ для астролябіи.

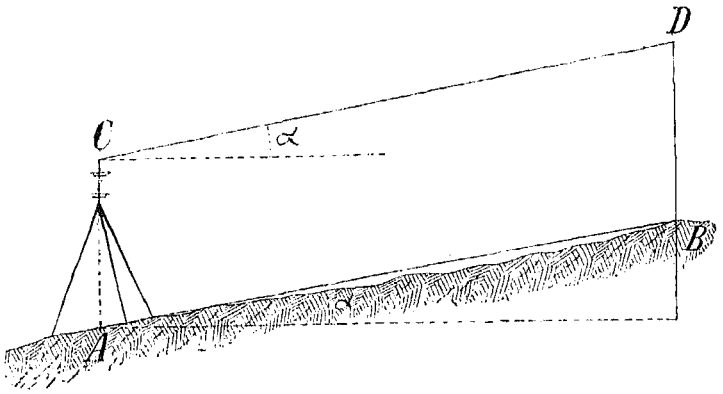
Показанія сѣвернаго конца магнитной стрѣлки буссоли, записан-

ныя при каждомъ визированіи, опредѣлять величину азимутовъ каждаго изъ направленій, потому что наблюдатель, находящійся у окуляра, въ тоже время находится у подписи 180° на буссоли (§ 179). Такъ какъ азимуты эти въ данномъ случаѣ прочтены въ точкѣ пересѣченія двухъ линій, то разность записанныхъ азимутовъ дастъ величину астролябическаго угла (§ 154). Величину эту слѣдуетъ сравнить съ прочтенной по лимбу, объ онѣ должны быть или равными между собою или дополнять другъ друга до 360°, и если окажется, что между ними есть небольшая разность, не превосходящая, напр., 1°, то можно считать, что по лимбу отсчеты сдѣланы вѣрно, а ошибка происходитъ отъ ошибокъ чтенія азимутовъ по буссоли.

181. Измѣреніе пантометромъ угловъ наклоненія линій къ горизонту. Для измѣренія угла наклоненія какой либо линіи земной поверхности къ горизонту, имѣющей одинаковый скатъ, на одномъ концѣ линіи ставятъ пантометръ, а на другомъ отвѣсно вѣху такой величины, чтобы длина ея отъ поверхности земли до верхушки была бы равна высотѣ оси вращенія трубы пантометра надъ точкою стоянія пантометра. Приведя инструментъ въ горизонтальное положеніе (§ 96), и установивъ трубы для визированія (§ 137) направляютъ, движеніемъ трубы въ отвѣсной плоскости, горизонтальный волосокъ на верхушку вѣхи. При этомъ положеніи трубы, читаютъ показаніе на вертикальномъ кругѣ или секторѣ, у нуля ноніуса. Найденный отсчетъ выразитъ уголъ наклоненія къ горизонту линіи, соединяющей точки стоянія инструмента и вѣхи, такъ какъ въ этомъ случаѣ (черт. 224) линіи AB и CD параллельны, слѣдовательно, углы, составленные ими съ горизонтомъ, равны между собою.

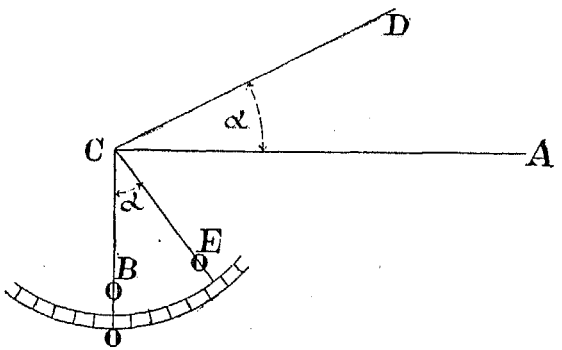
При этомъ необходимо оговориться: отсчетъ выразитъ собою уголъ наклоненія лишь въ томъ случаѣ, если, при горизонтальномъ положеніи визирной оси трубы, дѣленіе нуля алидады совпадаетъ съ дѣленіемъ нуля сектора. Дѣйствительно, изъ чертежа 225-го видно, что если визирная ось CA горизонтальна, и въ это время нули совпадаютъ, то при другомъ положеніи CD визирной оси, наклонномъ къ горизонту подъ угломъ α, нуль алидады займетъ положеніе на линіи CE. А такъ какъ углы BCE и DCA равны, какъ составленные линіями другъ къ другу перпендикулярными, то отсчетъ, прочтенный отъ нуля сектора до нуля алидады, выразитъ собою вѣрный уголъ наклоненія линіи CD къ горизонту.

Если пантометръ, вмѣсто вертикальнаго сектора, имѣетъ полный кругъ, то при помощи такого инструмента можно получить вѣрную величину угла наклоненія и въ томъ случаѣ, когда, при совпаденіи нулей лимба и алидады, визирная ось негоризонтальна. Для этого необ-



Черт. 224.

ходимо измѣрить уголъ, какъ описано выше; пусть онъ окажется равнымъ a, затѣмъ повернуть алидаду горизонтальнаго лимба приблизительно на 180°, перевести трубу чрезъ зенитъ, направить горизонтальный



Черт. 225.

волосокъ сѣтки трубы на верхушку рейки и, наконецъ, прочесть показаніе вертикальнаго круга у нуля алидады. Это показаніе вертикальнаго круга надо вычесть изъ 360°. Пусть полученная разность будетъ b. Тогда полусумма a и b выразитъ собою величину угла наклоненія визирной оси, а слѣдовательно, и угла наклоненія данной линіи, взятой на земной поверхности.

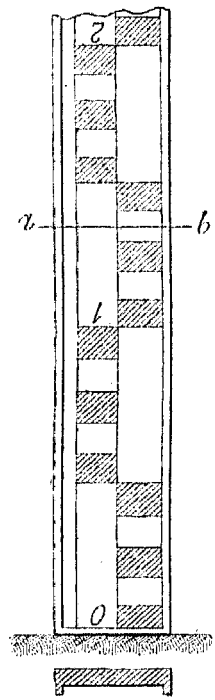
Полуразность же величинъ a и b выразитъ собою уголъ накло-

ненія визирной оси къ горизонту при совпаденіи между собою нулевыхъ дѣленій лимба и алидады, или уголъ ошибки отъ несовпаденія нулей при горизонтальномъ положеніи визирной оси.

Найдя полуразность величинъ a и b, опредѣлимъ вѣрное положеніе нуля лимба, или, какъ говорятъ, опредѣлимъ мѣсто нуля лимба.

Вмѣсто вѣхи, при измѣреніи угла наклоненія лучше употреблять рейку, раздѣленную на части сажени.

182. Рейка и измѣреніе угла наклоненія пантометромъ при помощи рейки. Рейкой называется деревянный брусокъ, отъ 1 до 2 саж. длины, имѣющій въ поперечномъ сѣченіи (черт. 226) ширину отъ 2 до $3^1/_2$ дюймовъ, а толщину $^1/_2$—$^3/_4$ дюйма. Концы рейки обдѣлываютъ желѣзной оправой, чтобы отъ употребленія они не стирались; одна широкая грань рейки по длинѣ раздѣляется на десятыя и сотыя части сажени. Сотыя части сажени попеременно окрашены въ черную и бѣлую краски или въ бѣлую и красную. Цифры поставлены на десятыхъ доляхъ сажени, и притомъ—въ обратномъ видѣ для того, чтобы въ трубѣ онѣ представлялись въ надлежащемъ положеніи, такъ какъ въ астрономическихъ трубахъ геодезическихъ инструментовъ изображенія получаются обратными.



Черт. 226.

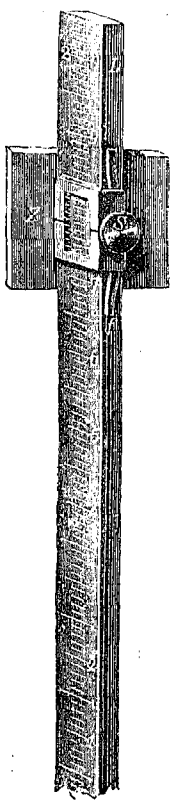
Если горизонтальный волосокъ покрываетъ, напримѣръ, линію ab (черт. 226), то на рейкѣ прочтутъ $13^1/_2$ сотыхъ частей сажени, или 0,135 саж. Дѣленія на рейкахъ дѣлаются не въ однѣхъ лишь сотыхъ сажени, но также въ футахъ и дюймахъ, метрахъ и сантиметрахъ. На многихъ рейкахъ сотыя сажени дѣлятся на двѣ или на пять частей.

Чтеніе по рейкѣ будетъ сдѣлано съ бо́льшею или меньшею точностью, смотря по тому, близко или далеко стоитъ рейка отъ инструмента,—велики или малы увеличиваніе и ясность трубы; такъ, напримѣръ, на разстояніи 50 саженъ можно читать пантометромъ по рейкѣ съ точностью отъ 0,001 до 0,005; на разстояніи 100 саженъ—съ точностью отъ 0,005 до 0,010.

Рейки бываютъ различныхъ устройствъ—складныя и нескладныя.

Складная рейка всегда скоро портится и, вслѣдствіе трудности устроить прочное скрѣпленіе, всегда колеблется на верхней части, когда ее ставятъ отвѣсно. Лучшею рейкою надо считать рейку нескладную, съ тавровымъ сѣченіемъ, длиною въ $1^1/_2$ саж. Удерживается рейка въ отвѣсномъ положеніи или треногой, или руками рабочаго. Послѣдній пріемъ болѣе употребителенъ.

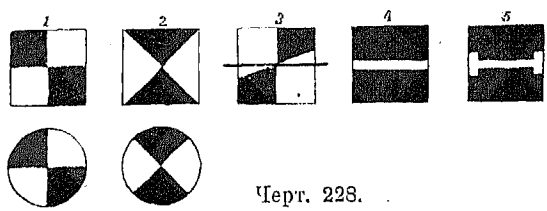
Къ задней грани рейки придѣлываютъ ручки, за которыя рабочій держитъ рейку, когда она установлена. Установку рейки производятъ на глазъ или по уровню, если таковой имѣется при рейкѣ.



Черт. 227.

Иногда употребляютъ *рейки съ цѣлью* (черт. 227), т. е. съ подвижною на рейкѣ маленькою дощечкою Z, прикрѣпляемою къ ней особымъ винтомъ S. Лицевая сторона цѣли раскрашивается въ черную и бѣлую краску, тѣмъ или другимъ образомъ, какъ показано на черт. 228-мъ.

Такимъ образомъ, имѣя рейку и желая при помощи ея измѣрить пантометромъ уголъ наклоненія



Черт. 228.

данной линіи къ горизонту, ставятъ въ одномъ концѣ данной линіи пантометръ и, установивъ его надлежащимъ образомъ въ горизонтальное положеніе измѣряютъ при помощи рейки высоту оси вращенія трубы пантометра. Если рейка имѣетъ цѣль, то эту цѣль передвигаютъ на высоту, равную высотѣ горизонтальной оси вращенія трубы, закрѣпляютъ ее винтомъ и посылаютъ рабочаго поставить рейку въ другую точку данной линіи. Установивъ окончательно лимбъ подъемными винтами въ горизонтальное положеніе, направляютъ трубу на рейку, выдвигаютъ окуляръ, чтобы видны были волоски, передвигаютъ сѣточное колѣно, чтобы уничтожить паралаксъ нитей трубы (§ 137), и, наконецъ, направляютъ трубу на рейку такъ,

чтобы горизонтальный волосокъ ея покрывалъ середину цѣли, если рейка съ цѣлью, если же рейка безъ цѣли, то горизонтальный волосокъ направляютъ на дѣленіе рейки, соотвѣтствующее высотѣ горизонтальной оси вращенія трубы. Уголъ, прочтенный на секторѣ или вертикальномъ кругѣ у нуля ноніуса, опредѣлитъ величину угла наклоненія данной линіи къ горизонту.

183. Условія, коимъ долженъ удовлетворять пантометръ. Пантометръ служитъ для измѣренія угловъ горизонтальныхъ и вертикальныхъ, поэтому вѣрно устроенный пантометръ долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1) *Дѣленія на поверхности нижняго цилиндра и на поверхности сектора должны быть назначены вѣрно.* Повѣрка этого условія дѣлается при помощи ноніуса, какъ было описано выше въ параграфѣ 173-мъ.

2) *Ось уровня должна быть параллельна плоскости лимба*, иначе, при помощи уровня нельзя привести лимбъ въ горизонтальное положеніе.

3) *Ось визирная должна описывать при вращеніи плоскость перпендикулярную къ плоскости лимба, или плоскость отвѣсную, когда лимбъ установленъ горизонтально*, иначе, при визированіи на сигналъ или вѣху, устанавливаемые отвѣсно, вертикальный волосокъ трубы не покроетъ вѣхи, а будетъ пересѣкать ее, и уголъ, измѣренный на горизонтальномъ лимбѣ, окажется невѣрнымъ.

4) *Плоскость, описываемая оптическою осью трубы, должна совпадать съ визирною плоскостью прорѣзовъ или діоптровъ цилиндра B*, иначе, при визированіи на одни и тѣ же сигналы трубою и діоптрами, вертикальные волоски трубы и діоптровъ не покроютъ однихъ и тѣхъ же сигналовъ или вѣхъ.

5) *При совпаденіи нуля вертикальнаго сектора или круга съ нулемъ ноніуса, визирная ось трубы должна имѣть положеніе горизонтальное, когда ось уровня приведена въ горизонтальное положеніе*, иначе, отсчетъ, прочтенный по вертикальному сектору или кругу, не будетъ выражать истинной величины угла наклоненія визирной оси къ горизонту.

184. Какъ узнать, параллельна ли ось уровня пантометра плоскости лимба. Чтобы убѣдиться въ этомъ, устанавливаютъ уровень, т. е. движеніемъ верхняго цилиндра ставятъ уровень по напра-

вленію двухъ подъемныхъ винтовъ NN и, дѣйствуя ими, приводятъ пузырекъ уровня на средину трубки; затѣмъ поворачиваютъ по 3-му винту и, повторивъ это дѣйствіе нѣсколько разъ, поворачиваютъ верхній цилиндръ B на 180° около вертикальной оси.

Если послѣ этого пузырекъ уровня останется попрежнему по срединѣ, то это укажетъ, что и до поворота и послѣ поворота ось уровня осталась въ одномъ и томъ же положеніи, а это возможно лишь тогда, когда ось уровня параллельна той плоскости, на которой было произведено вращеніе, т. е. параллельна плоскости лимба (§ 169).

Если же пузырекъ уровня отойдетъ отъ середины послѣ поворота алидады на 180°, то два положенія оси уровня, т. е. положеніе ея до поворота и послѣ поворота, составляютъ между собою уголъ. Половина его равна наклоненію оси уровня къ плоскости вращенія, или къ плоскости лимба, а потому для исправленія ошибки дѣйствуютъ винтомъ b до тѣхъ поръ, пока пузырекъ уровня не отойдетъ на половину отклоненія отъ середины трубки уровня. Описанный пріемъ повторяютъ до тѣхъ поръ, пока, при обращеніи цилиндра B на 180°, пузырекъ не перестанетъ измѣнять своего положенія. Тогда ось уровня параллельна плоскости лимба.

Ось вращенія лимба всегда должна быть перпендикулярна къ плоскости лимба, иначе, не можетъ происходить свободнаго вращенія алидады на лимбѣ. Если ось уровня параллельна плоскости лимба, то, слѣдовательно, она вмѣстѣ съ тѣмъ перпендикулярна и къ оси вращенія алидады.

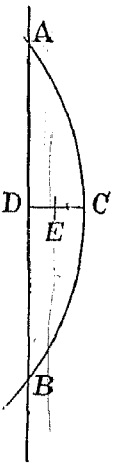
Когда ось уровня параллельна лимбу, то если, не трогая алидады, повернуть весь лимбъ на 180°, можетъ случиться, что пузырекъ уровня отойдетъ отъ середины. Это укажетъ, что ось уровня неперпендикулярна къ оси вращенія лимба, или, другими словами, что оси вращенія алидады и лимба не совпадаютъ. Исправить эту ошибку нельзя. Но инструментъ можно употреблять въ дѣло—стоитъ только, при измѣреніи нѣсколькихъ угловъ съ одной точки, не вращать лимба около его оси.

185. Какъ узнать, описываетъ ли визирная ось пантометра, при вращеніи трубы, плоскость, и притомъ плоскость отвѣсную, когда лимбъ установленъ горизонтально. Это требованіе необходимо въ виду того, что измѣряются углы горизонтальные между плоскостями отвѣсными, проходящими чрезъ данныя линіи на мѣстѣ, а потому и вѣхи устанавливаются въ отвѣсной плоскости; слѣдовательно,

если бы пантометръ не удовлетворялъ высказанному требованію, то при помощи его нельзя было бы и вѣшить линію.

Визирная ось не описываетъ плоскости, лишь вслѣдствіе того, что она неперпендикулярна къ своей оси вращенія, а слѣдовательно, при вращеніи около этой оси описываетъ коническую поверхность.

Чтобы узнать, описываетъ ли визирная ось при своемъ вращеніи около оси вращенія трубы плоскость или коническую поверхность, поступаютъ такъ: направляютъ центръ сѣтки на какую-либо точку отвѣсной линіи, напр., A (черт. 229) и затѣмъ трубу опускаютъ внизъ. Если при этомъ центръ сѣтки начнетъ отходить отъ отвѣсной линіи все болѣе и болѣе, а затѣмъ начнетъ приближаться къ отвѣсной линіи и, наконецъ, вновь покроетъ отвѣсную линію, напр., въ точкѣ B, то визирная ось описываетъ поверхность коническую, а это, въ свою очередь, укажетъ, что ось визирная неперпендикулярна къ оси вращенія трубы. Чтобы привести ихъ въ перпендикулярное другъ къ другу положеніе, надо измѣнить положеніе визирной оси, что можно сдѣлать, перемѣщая центръ сѣтки, такъ какъ визирная ось проходитъ чрезъ центръ сѣтки и центръ объектива. Для этого перемѣщенія служатъ боковые винты у наружнаго кольца сѣтки.

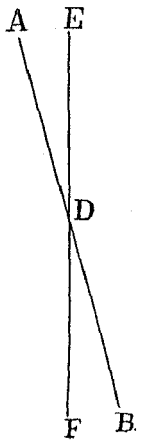


Черт. 229.

Исправленіе это производится ощупью и слѣдующимъ образомъ: наводятъ трубу на отвѣсъ, давая трубѣ наиболѣе наклонное положеніе, затѣмъ приблизительно ставятъ трубу въ горизонтальное положеніе, закрѣпляютъ ее и замѣчаютъ, на сколько отходитъ центръ сѣтки отъ отвѣса. Положимъ, онъ отойдетъ на разстояніе DC (черт. 229). На половину этой величины переводятъ центръ сѣтки боковыми винтами, т. е. такъ, чтобы центръ сѣтки покрылъ точку E. Причемъ одинъ винтъ немного вывинчиваютъ, а другой ввинчиваютъ. Затѣмъ повторяютъ такимъ же образомъ эту повѣрку вновь до тѣхъ поръ, пока центръ сѣтки при вращеніи трубы не будетъ пересѣкать отвѣса въ двухъ точкахъ. Конечно, совершенно точнаго исправленія сдѣлать нельзя, да и нѣтъ надобности, такъ какъ пантометръ не назначается для точныхъ съемокъ, а потому не слѣдуетъ отъ него требовать излишней точности. Здѣсь это имѣетъ мѣсто тѣмъ болѣе, что,

при передвиженіи винтовъ сѣтки, можно сдвинуть алидаду съ трубой, такъ какъ не во всѣхъ пантометрахъ имѣются зажимательные винты для скрѣпленія алидады съ лимбомъ. Ошибка неперпендикулярности визирной оси къ оси вращенія въ хорошемъ инструментѣ не бываетъ велика, и въ такомъ случаѣ можно работать имъ и безъ исправленія. Если же ошибка окажется значительною, то лучше такой инструментъ не употреблять въ дѣло.

Когда исправленіе произведено, направляютъ центръ сѣтки на отвѣсную линію и вращаютъ трубу сверху внизъ; если при этомъ центръ сѣтки не сходитъ съ отвѣса, то это показываетъ, что ось визирная описываетъ отвѣсную плоскость. Если же сходитъ, т. е., при движеніи вверхъ и внизъ, пересѣкаетъ отвѣсъ въ одной точкѣ, то визирная ось не описываетъ отвѣсной плоскости. На чертежѣ 230-мъ EDF отвѣсная линія; если центръ сѣтки при вращеніи трубы описываетъ прямую линію ADB, то визирная ось описываетъ плоскость, но не отвѣсную, а слѣдовательно, перпендикулярная къ ней ось вращенія трубы негоризонтальна. Чтобы сдѣлать ее горизонтальною, надо дѣйствовать винтомъ, помѣщеннымъ въ составной подставкѣ R трубы, до тѣхъ поръ, пока визирная ось не будетъ описывать отвѣсной плоскости.



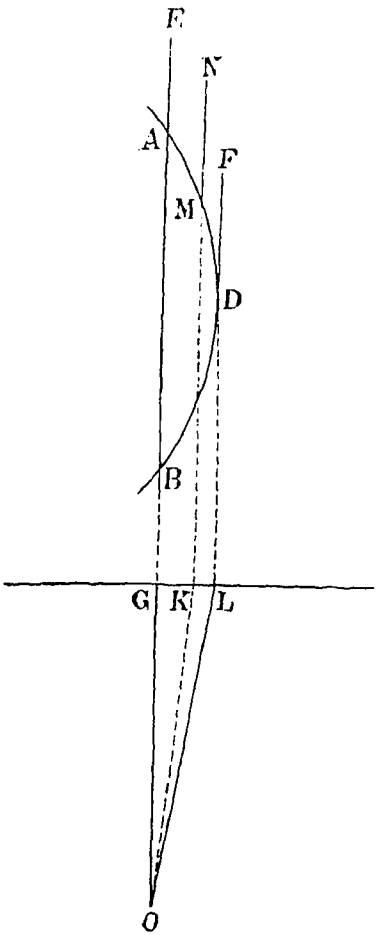
Черт. 230.

Если визирная ось описываетъ коническую поверхность, то центръ сѣтки движется не по прямой, а по кривой линіи, а вертикальный волосокъ, при движеніи трубы, закрываетъ, слѣдовательно, отвѣсные сигналы, находящіеся въ различныхъ отвѣсныхъ плоскостяхъ. При этомъ отсчетъ на горизонтальномъ лимбѣ, при всѣхъ этихъ покрытіяхъ, будетъ одинъ и тотъ же, хотя лучи, идущіе къ глазу отъ различныхъ сигналовъ, находящихся на разныхъ высотахъ, составляютъ между собою различные углы. Изъ этого видно, что если ось визирная не описываетъ плоскости, то углы между предметами, находящимися на различныхъ высотахъ, будутъ измѣряться пантометромъ съ нѣкоторою непостоянною ошибкою.

Лучше всего это видно изъ чертежа 231-го, который надо вообразить согнутымъ по линіи CL подъ прямымъ угломъ. Пусть точка O проекція точки стоянія инструмента на горизонтальной плоскости OCL;

линія AB—отвѣсная, дуга ADB—путь, пробѣгаемый центромъ сѣтки при вращеніи трубы, AE и DF—отвѣсно стоящія вѣхи на разныхъ высотахъ. Слѣды отвѣсныхъ плоскостей пересѣкаются въ точкѣ O. Такимъ образомъ, между вѣхами AE и DF образуется, на горизонтальной плоскости, уголъ GOL.

Углы COL не могутъ быть открыты пантометромъ, такъ какъ алидада не была отклоняема ни вправо, ни влѣво, и нуль нонiуса указывалъ одно и то же дѣленіе лимба. Если бы вмѣсто вѣхи DF взять вѣху MN, то уголъ между этою вѣхою и вѣхою AE равнялся бы GOK, т. е. былъ бы меньше угла GOL.



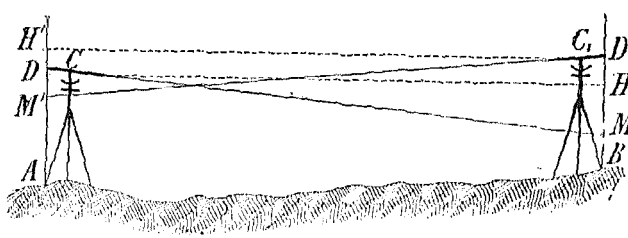
Черт. 231.

Изъ всего этого видно, что измѣряемый уголъ между вѣхами, находящимися на разныхъ высотахъ, всегда окажется ошибочнымъ, если визирная ось пантометра описываетъ коническую поверхность, причемъ уголъ ошибки будетъ имѣть различную величину, въ зависимости отъ высоты точекъ стоянія вѣхъ. Слѣд., кромѣ того, при вѣшеніи линіи такимъ пантометромъ легко можно свѣшиться.

186. Какъ узнать, совпадаетъ ли плоскость, описываемая визирною осью трубы пантометра, съ визирною плоскостью діоптровъ верхняго цилиндра. Чтобы узнать, совпадаетъ ли плоскость, описываемая визирною осью трубы, съ коллимаціонною плоскостью цилиндра B, поступаютъ такимъ образомъ: приводятъ ось вращенія алидады въ отвѣсное положеніе, т. е. ось уровня въ горизонтальное положеніе (§ 96); направляютъ визирную плоскость діоптровъ на вѣху, отвѣсно стоящую въ довольно далекомъ разстояніи отъ пантометра; смотрятъ въ трубу, вращая ее въ отвѣсной плоскости, и если

при этомъ пересѣченіе волосковъ не сходитъ съ той же вѣхи, на которую была направлена визирная плоскость діоптровъ, то сказанное условіе удовлетворено. Если пересѣченіе волосковъ не покрываетъ вѣхи, то условіе неудовлетворено, и трубу надо немного передвинуть вправо или влѣво винтами d (черт. 221 и 223), для чего, отвинтивъ ихъ, медленно поворачиваютъ трубу въ плоскости горизонтальной до тѣхъ поръ, пока центръ сѣтки не покроетъ вѣхи; затѣмъ завинчиваютъ винты d. Отверстія для винтовъ d въ подставкахъ R сдѣланы, съ цѣлью этого исправленія, овальными.

187. Какъ узнать, имѣетъ ли визирная ось трубы пантометра горизонтальное положеніе при совпаденіи нуля вертикальнаго сектора или круга съ нулемъ нонiуса, когда ось уровня приведена въ горизонтальное положеніе. Пользуясь рейкой, эту повѣрку пантометра, называемую также опредѣленіемъ мѣста нуля вертикальнаго круга, производятъ такъ: на покатой мѣстности выби-



Черт. 232.

раютъ двѣ точки, въ разстояніи 30 — 40 саж. другъ отъ друга, и обозначаютъ ихъ вбитыми въ землю кольями, верхушки которыхъ должны быть горизонтальны. Ставятъ въ точкѣ A (черт. 232) пантометръ такъ, чтобы окуляръ трубы, при визированіи на рейку стоящую въ точкѣ B, находился отвѣсно надъ A. Дѣлаютъ установку пантометра по правиламъ, описаннымъ выше, и затѣмъ сводятъ нуль нонiуса алидады съ нулемъ сектора, а на колѣ въ точкѣ B ставятъ другую рейку въ отвѣсномъ положеніи. Если при трубѣ имѣется зажимательный и микрометренный винты, то окончательное совпаденіе нулей сектора и нонiуса производится движеніемъ микрометреннаго винта; послѣ этого измѣряютъ высоту AD центра окуляра. Направляютъ трубу на рейку въ B и замѣчаютъ на послѣдней дѣленіе, покрываемое горизонтальнымъ волоскомъ. Если бы изслѣдуемое условіе было выполнено, то визирная линія имѣла бы горизонтальное направленіе DH,

поэтому, смотря въ трубу, на горизонтальномъ волоскѣ прочли бы показаніе рейки BH. Перенеся инструментъ въ B и установивъ его точно такъ же, какъ онъ былъ установленъ въ A, прочли бы, по горизонтальному волоску, смотря въ трубу на рейку, стоящую въ A, показаніе AH'; послѣ этого измѣряется высота центра окуляра, равная BD'. Измѣреніе высоты центра окуляра въ обѣихъ точкахъ A и B дѣлается такъ: поставивъ рейку отвѣсно на колышекъ, забитый въ землю въ точкѣ A или B, читаютъ показанія на рейкѣ у верхняго и нижняго края діафрагмы окуляра; полусумма прочтенныхъ на рейкѣ показаній выразитъ собою высоту центра окуляра.

Линіи DH' и HD', какъ параллельныя, лежащія между параллельными, равны между собой, т. е. $DH' = HD'$; вставляя сюда равныя вмѣсто равныхъ, найдемъ:

$$AH' - AD = BD' - BH,$$

или

$$AH' + BH = BD' + AD,$$

Изъ этого видно, что если, при совпаденіи нуля ноніуса съ нулемъ сектора или нулемъ вертикальнаго круга, визирная ось горизонтальна, то всегда окажется, что сумма высотъ центра окуляра надъ двумя точками земной поверхности равна суммѣ показаній, прочтенныхъ на рейкахъ, установленныхъ въ тѣхъ же точкахъ. Можетъ, впрочемъ, случиться, что разница между этими суммами окажется ничтожною, напр., не будетъ превосходить 0,003 сажени. Такою величиною разности можно пренебречь, разсматривая ее, какъ происшедшую отъ неточности чтенія на рейкахъ.

Положимъ теперь, что, при совпаденіи нулей сектора и ноніуса, визирная ось занимаетъ наклонное положеніе. Такъ что, когда инструментъ поставленъ надъ точкою A, на горизонтальномъ волоскѣ трубы установленнаго инструмента будетъ прочтена на рейкѣ, стоящей въ B, величина $BM = h$. Высота центра окуляра надъ точкою A пусть будетъ $AD = i$. Перенеся инструментъ въ точку B, установивъ его горизонтально и сведя нули ноніуса и сектора, измѣримъ высоту центра окуляра надъ точкою B и прочтемъ на горизонтальномъ волоскѣ трубы показаніе рейки, стоящей въ A. Пусть $BD' = i_1$, а $BM = h_1$.

Когда инструментъ установленъ въ точкѣ B, то оптическая ось

трубы уклонится отъ горизонтальнаго направленія $D'H'$ на тотъ же уголъ, какъ и при нахожденіи инструмента въ точкѣ A, и встрѣтитъ рейку въ точкѣ M', такъ что треугольники DHM и $D'H'M'$ будутъ равны, а слѣдовательно, $M'H' = MH$; назовемъ эти величины черезъ u. Изъ чертежа видно, что $DH' = D'H$, или

$$AH' - AD = BD' - BH;$$

но

$$AH' = AM' + M'H' = h_1 + u;$$

$$BH = BM + MH = h + u,$$

слѣдовательно:

$$h_1 + u - i_1 = i - (h + u)$$

уравненіе первой степени, изъ котораго найдемъ:

$$u = \frac{i + i_1}{2} - \frac{h + h_1}{2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

Если u получится равнымъ нулю, то визирная ось трубы горизонтальна, при совпаденіи нуля ноніуса съ нулемъ сектора или вертикальнаго круга. Если u не равняется нулю, то оптическая ось трубы, при совпаденіи нуля сектора съ нулемъ ноніуса, уклоняется отъ горизонтальнаго направленія вверхъ или внизъ. Если u получится со знакомъ $+$, то оптическая ось трубы уклоняется внизъ, какъ представлено на чертежѣ 232-мъ, если же со знакомъ $-$, то оптическая ось трубы отклоняется вверхъ.

Положимъ, будетъ имѣть мѣсто 1-й случай. Для уничтоженія погрѣшности, трубу надо поднять на столько, чтобы центръ сѣтки покрывалъ бы не точку M', а точку H'. Для этого къ прочтенному раньше показанію h_1 прибавляютъ вычисленную величину u и подымаютъ трубу на столько, чтобы горизонтальный волосокъ покрывалъ бы на рейкѣ полученное такимъ образомъ дѣленіе, соотвѣтствующее высотѣ $h_1 + u$. Послѣ этого нуль ноніуса отойдетъ отъ нуля лимба на нѣкоторый уголъ. Величину этого угла можно прочесть по ноніусу. Очевидно, онъ будетъ равенъ углу наклоненія визирной оси къ горизонту, при совпаденіи нулей ноніуса и лимба. Этотъ уголъ наклоненія, или, лучше сказать, уголъ ошибки, при измѣреніи вертикальныхъ угловъ, увеличиваетъ ихъ, когда они направлены

внизъ отъ горизонтальной линіи, и уменьшаетъ, когда они направлены вверхъ отъ горизонта.

Все сказанное прилагается и ко второму случаю, т. е. когда величина u получится изъ формулы (a) отрицательною. Разница только та, что тамъ, гдѣ въ 1-мъ случаѣ величина ошибки должна прикладываться, во второмъ случаѣ она вычитается, и обратно.

Если ошибка u окажется значительною, то можно ее исправить, передвинувъ или секторъ, или алидаду, смотря по тому, при какой изъ этихъ частей находятся повѣрительные винты. Сдѣлавъ это исправленіе, необходимо вновь повторить повѣрку.

Если при трубѣ пантометра имѣется уровень (черт. 223), то ось уровня должна быть горизонтальна при горизонтальномъ положеніи визирной оси, поэтому послѣ того, какъ труба была приподнята на столько, чтобы горизонтальный волосокъ $\frac{F}{m}$ сѣтки покрывалъ дѣленіе рейки $h_1 + u$, пузырекъ уровня, прикрѣпленнаго къ трубѣ, долженъ находиться на серединѣ трубки уровня. Если пузырекъ не находится на серединѣ трубки, то его надо привести въ это положеніе повѣрительными винтами уровня. Когда такое исправленіе сдѣлано, то визирную ось, если въ томъ представится надобность, можно приводить въ горизонтальное положеніе при помощи уровня, съ ней скрѣпленнаго, причемъ для точной установки трубу надо закрѣпить зажимательнымъ ея винтомъ, а затѣмъ привести пузырекъ уровня окончательно на середину трубки микрометреннымъ винтомъ M_1.

Изложенную повѣрку необходимо дѣлать такъ, какъ здѣсь описано, въ томъ случаѣ, когда пантометръ имѣетъ секторъ. Когда же пантометръ снабженъ полнымъ вертикальнымъ кругомъ, то повѣрки можно не дѣлать, такъ какъ два показанія вертикальнаго круга *до* и *послѣ* перевода трубы черезъ зенитъ даютъ вѣрный уголъ наклоненія визирной оси къ горизонту, какъ было сказано въ § 181-мъ.

Если же углы наклоненія визирной оси къ горизонту, для бо́льшей скорости, хотя бы и съ меньшею точностью, желаютъ измѣрять не двумя отсчетами, при правомъ и лѣвомъ положеніи вертикальнаго круга, а однимъ отсчетомъ, то надо опредѣлить, какъ сказано въ § 181-мъ, мѣсто нуля лимба, т. е. направить горизонтальный волосокъ трубы на какую нибудь точку, отдаленную, но ясно видимую въ трубу и, при двухъ положеніяхъ круга справа и слѣва, прочесть показанія вертикальнаго круга; если показанія эти равны a и $360—b$, то $\frac{a-b}{2}$

выразить собою поправку, опредѣляющую мѣсто нуля вертикальнаго круга, и на полученную величину надо передвинуть алидаду, для чего надо освободить немного винтъ, прикрѣпляющій ее и проходящій чрезъ овальную дыру, и передвинуть алидаду на величину $\frac{a-b}{2}$ вправо или влѣво, въ зависимости отъ знака $\frac{a-b}{2}$.

Глава XVI.

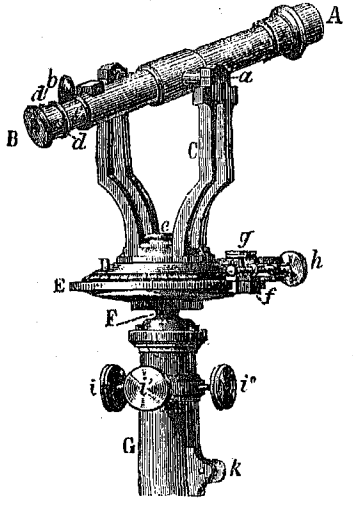
О ТЕОДОЛИТАХЪ.

188. Описаніе теодолитовъ разныхъ устройствъ. Теодолитъ такъ же, какъ астролябія и пантометръ, предназначается для измѣренія угловъ въ плоскостяхъ горизонтальной и отвѣсной или въ одной только горизонтальной. Теодолитъ — болѣе совершенный изъ угломѣрныхъ инструментовъ; имъ можно измѣрять углы съ точностью до долей минуты. Устройство теодолитовъ, будучи одинаково въ главныхъ частяхъ, очень разнообразно въ подробностяхъ.

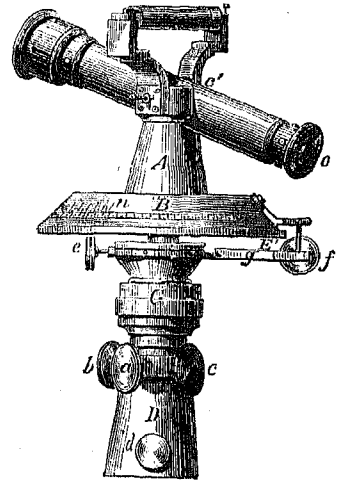
На чертежѣ 233 изображенъ теодолитъ безъ вертикальнаго круга. G—полый мѣдный цилиндръ, надѣваемый на цилиндръ меньшаго діаметра, придѣланный къ треножнику. Цилиндръ G укрѣпляется на цилиндрѣ треножника помощью винта k. Отъ лимба E тамъ, гдѣ поставлена буква F, внутрь конуса G проходитъ стержень, на который надавливаютъ четыре подъемные винта i, i', i'' и i''', послѣдній не виденъ для читателя. Дѣйствуя этими винтами попарно, можно давать лимбу E то или другое наклоненіе и приводить его въ горизонтальное положеніе при помощи круглаго уровня e, придѣланнаго къ алидадѣ D. Алидада D можетъ быть скрѣплена съ лимбомъ E при помощи зажимательнаго винта g и колодки f. Малыя перемѣщенія на лимбѣ алидада можетъ получать при помощи микрометреннаго винта h. Лимбъ же въ этомъ инструментѣ вращаться около своей вертикальной оси не можетъ. Дѣленія на немъ идутъ отъ нуля до 360°. На алидадѣ помѣщено два ноніуса. Къ алидадѣ D придѣланы двѣ подставки C, на верхнихъ концахъ которыхъ a и b помѣщены подшипники для горизонтальной оси вращенія трубы AB, имѣющей у A объективъ, а у B окуляръ; d и d'—винтики, удерживающіе кольцо сѣтки. Трубу можно

вращать около ея горизонтальной оси и переводить чрезъ зенитъ. При этомъ визирная ея ось (§ 185) можетъ описывать плоскость, и притомъ плоскость отвѣсную въ томъ случаѣ, когда ось вращенія трубы горизонтальна.

На чертежѣ 234 изображенъ теодолитъ также безъ вертикальнаго круга. *D*—усѣченный полый конусъ, которымъ теодолитъ надѣвается на усѣченный конусъ меньшихъ размѣровъ, придѣланный къ столику треножника. Эти два конуса скрѣпляются при помощи винта *d*. Винты *a*, *b*, *c*—уравнительные или подъемные винты, при по-



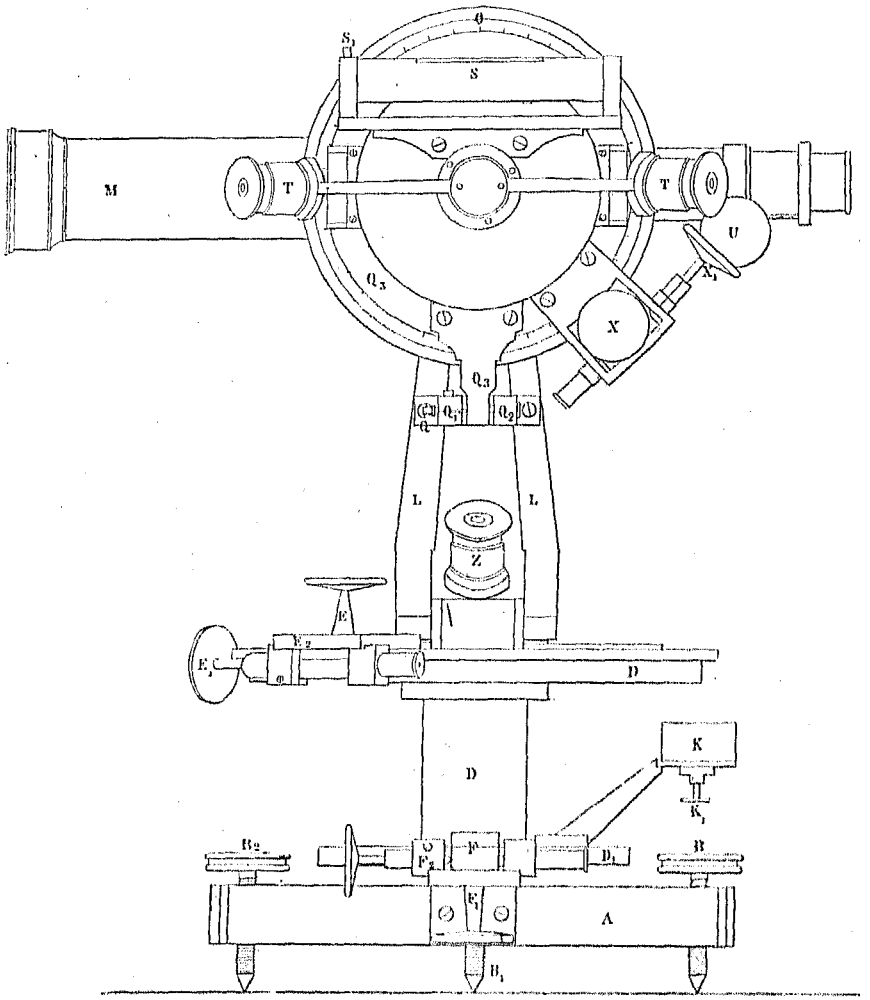
Черт. 233.



Черт. 234.

мощи которыхъ лимбъ *E* можетъ быть приведенъ въ горизонтальное положеніе. Лимбъ раздѣленъ на 360 градусовъ. Діаметръ лимба до 4-хъ дюймовъ. Алидада *B* имѣетъ два нонiуса. Алидада съ лимбомъ скрѣпляется при помощи зажимательнаго винта *e* и можетъ получать малыя перемѣщенія при помощи микрометреннаго винта *f*, дѣйствующаго на приливокъ алидады, зажатый между отвѣтвленіями *g*, идущими отъ кольца зажимательнаго винта *e*, подобно тому, какъ это показано на чертежѣ 126, описанномъ въ § 99-мъ. Къ алидадѣ, въ центрѣ ея, придѣланъ конусообразный приливъ *A*, въ верхней части своей имѣющій раструбъ, въ которомъ можетъ вращаться труба на своей горизонтальной оси, помѣщенной въ под-

шипникахъ, находящихся съ двухъ сторонъ верхней части конусообразнаго прилива A. Въ верхней части прилива A надъ подшипниками придѣланы двѣ подставочки, на которыхъ покоится уровень.

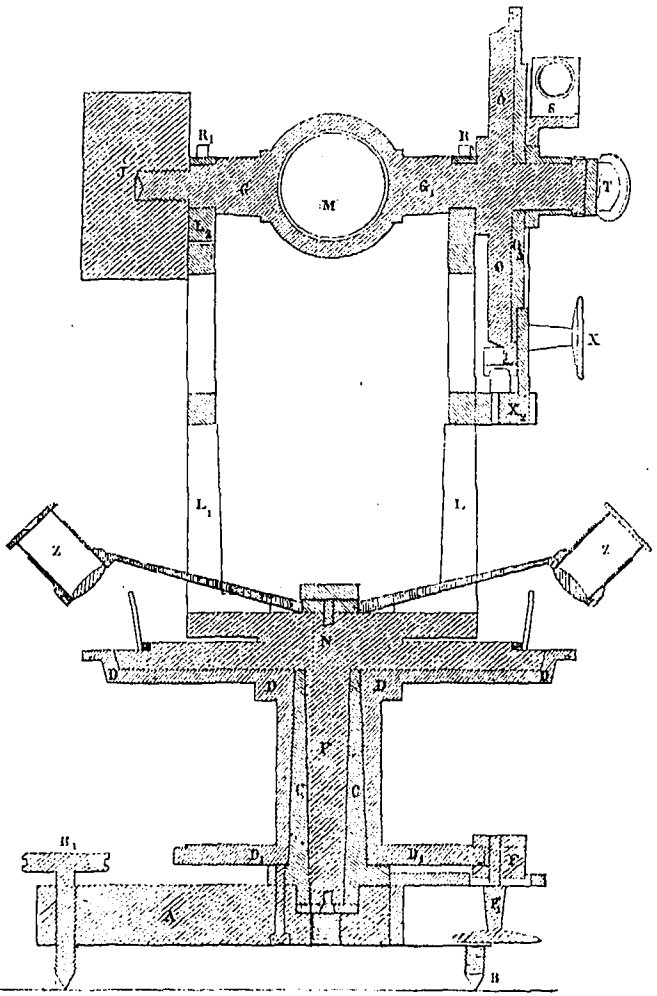


Черт. 235.

Чертежи 235, 236 и 237 изображаютъ теодолитъ фабрики Ришара въ Парижѣ въ фасадѣ, разрѣзѣ и планѣ.

Къ трехконечнику A, поддерживаемому тремя подъемными винтами B, B_1 и B_2, привинченъ полый усѣченный конусъ C (черт. 235 и 236). Онъ служитъ осью вращенія лимба D, скрѣпляемаго нижнимъ

кругомъ D_1D_1 съ трехконечникомъ A, при помощи зажимательнаго винта F_1, клещей F и микрометреннаго винта, имѣющаго гнѣздо въ пластинкѣ F_1. N—кругъ алидадный, къ нему прикрѣплены под-

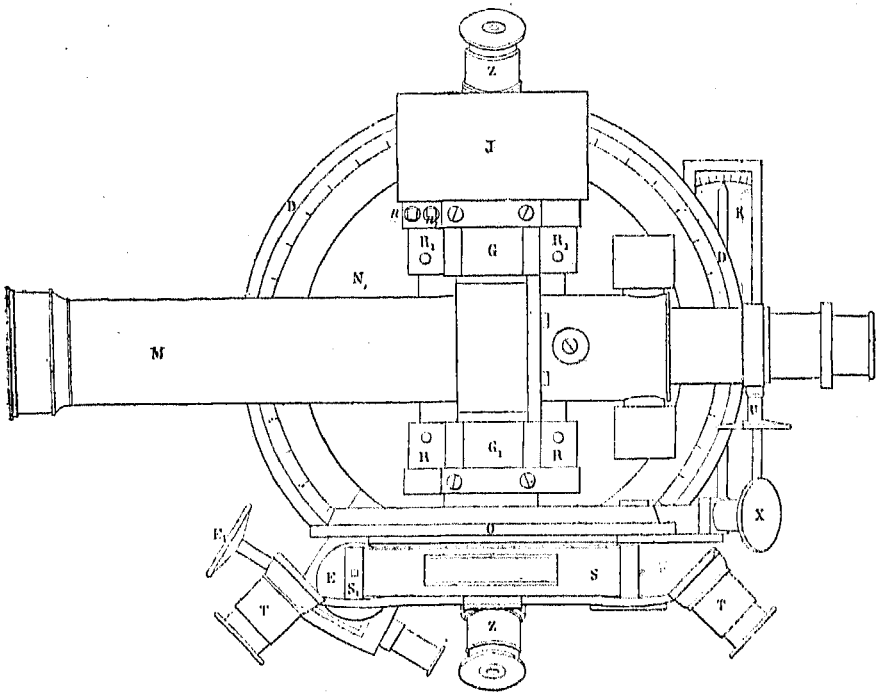


Черт. 236.

ставки L, L_1, поддерживающія трубу M. Алидадный кругъ и все, что къ нему прикрѣплено, можетъ вращаться на лимбѣ, вокругъ оси P, входящей внутрь конуса C (черт. 236).

Нажимательнымъ винтомъ E можно соединить алидадный кругъ N, а слѣдовательно, и трубу, неизмѣняемымъ образомъ съ лимбомъ D и трехконечникомъ A.

Каждая изъ подставокъ L и L_1 имѣетъ гнѣздо, или подшипникъ, для горизонтальной оси вращенія трубы GG_1. Накладки съ винтами R и R_1 плотно прижимаютъ ось вращенія въ гнѣздахъ. Подставка L_1 состоитъ изъ двухъ частей L_1 и L_2, скрѣпленныхъ винтами n и n_1, но такъ, что между этими частями находится продольная щель; при помощи этого приспособленія можно, въ случаѣ нужды, измѣнять положеніе горизонтальной оси вращенія трубы.



Черт. 287.

Съ подставками L_1 и L_2 соединены цилиндры Q_1 и Q_2, задерживающіе алидадный кругъ Q_3, имѣющій два нонiуса для вертикальнаго лимба O, вращающагося вмѣстѣ съ осью GG_1.

Цилиндръ Q_2, прикрѣпленный къ L_1, — полый; внутри его находится пружина со штифтикомъ, нажимающимъ на выступъ Q_3; Q головка винта, проходящаго чрезъ Q_1 и также надавливающаго съ другой стороны на выступъ Q_3. Слѣдовательно, винтъ Q допускаетъ небольшое передвиженіе нулей нонiусовъ относительно лимба. На алидадномъ кругѣ Q_3 укрѣпленъ уровень S; повѣрительный винтъ уровня означенъ буквой S_1.

Съ осью вращенія GG_1 трубы M неизмѣнно соединенъ вертикальный лимбъ O. Зажимательный, микрометренный винтъ и клещи означены буквами X, X_1, X_2; ими кругъ O скрѣпляется неизмѣнно съ алидаднымъ кругомъ Q_3 и можетъ получать микрометренное передвиженіе относительно этого послѣдняго. K—буссоль, линія нулей буссоли сдѣлана параллельно линіи нулей лимба.

Цилиндръ J служитъ противовѣсомъ вертикальнаго лимба.

Винтъ U служитъ для точной установки сѣтки въ плоскости изображенія. Z и Z—лупы для ноніуса горизонтальнаго круга. T и T—лупы для ноніусовъ вертикальнаго круга.

Горизонтальный, а также и вертикальный круги раздѣлены на 360°, а каждый градусъ раздѣленъ еще на нѣсколько частей, такъ, напр., на однихъ теодолитахъ онъ раздѣленъ на 2 части, на другихъ на три, на третьихъ на шесть и на самыхъ точныхъ—на 12 частей.

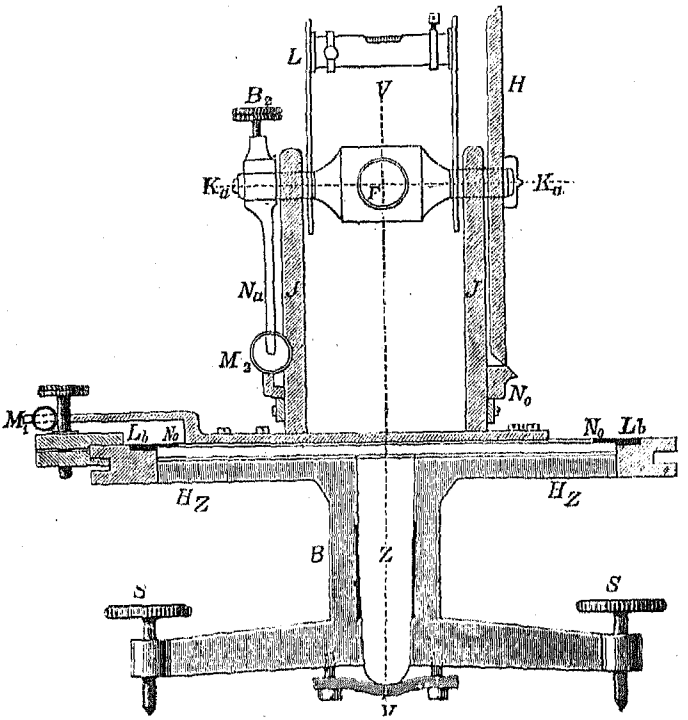
Уголъ, составленный какимъ либо направленіемъ съ отвѣсною линіей, называется зенитнымъ разстояніемъ этого направленія, такъ какъ продолженіе отвѣсной линіи пересѣкаетъ небесный сводъ въ точкѣ, называемой *зенитомъ*. Поэтому, если желаютъ измѣрять теодолитомъ непосредственно зенитныя разстоянія, то онъ долженъ быть устроенъ такъ, чтобы, при горизонтальномъ положеніи оптической оси трубы, надписи 90° и 270° вертикальнаго лимба совпадали съ нулями ноніусовъ; поэтому, если окуляръ трубы находится съ той стороны, гдѣ на лимбѣ стоитъ 90°, то отсчетъ по вертикальному кругу, читаемый по ноніусу, ближайшему къ окуляру трубы, даетъ величину угла, составленнаго визирною осью съ вертикальною линіею.

Окуляръ трубы можетъ находиться въ сторонѣ 270° вертикальнаго круга, потому что труба переводится черезъ зенитъ, и, при такомъ положеніи окуляра, показаніе на вертикальномъ кругѣ представляетъ не зенитное разстояніе той точки, на которую направленъ центръ сѣтки, а дополненіе зенитнаго разстоянія до 360°, т. е. въ этомъ случаѣ показаніе вертикальнаго круга надо вычесть изъ 360°, чтобы получить зенитное разстояніе.

Теодолиты, подобные описанному, у которыхъ можетъ вращаться не только алидада, но и лимбъ, называются *повторительными*.

Теодолиты же, у которыхъ можетъ вращаться одна алидада, называются *простыми* теодолитами. Чертежъ 238 изображаетъ разрѣзъ

такого теодолита, какъ ихъ устраивалъ Эртель. Въ немъ къ втулкѣ B прикрѣпленъ наглухо горизонтальный кругъ H_z, а къ этому послѣднему придѣланъ также наглухо лимбъ L_b. Къ той же втулкѣ B придѣланы наглухо три отростка съ гайками, чрезъ которыя проходятъ подъемные винты S; алидада N_a скрѣплена неразрывно съ своею осью вращенія Z, входящею во втулку B; для того, чтобы между

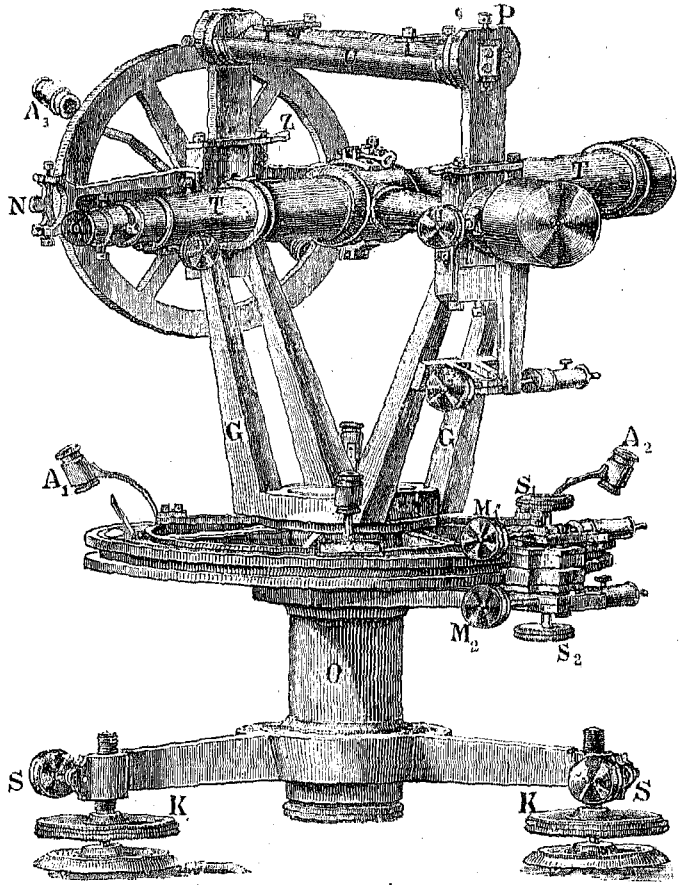


Черт. 238.

алидадою и кругомъ H_z не образовалось большого тренія, ось Z поддерживается пружиною Y. Алидада скрѣпляется съ лимбомъ посредствомъ зажимательнаго винта, клещей и микрометреннаго винта M_1. Къ алидадѣ же придѣланы двѣ вертикальныхъ стойки J, J, на которыхъ покоится ось вращенія K_a K_a трубы F. Ось вращенія трубы снабжена вертикальнымъ кругомъ H, а къ одной изъ стоекъ J придѣланъ нонiусъ для вертикальнаго круга. Ось вращенія трубы можетъ быть закрѣплена при помощи зажимательнаго винта B_2, а малыя передвиженія могутъ быть даваемы ей микрометреннымъ винтомъ M_2.

На ось вращенія трубы накладывается уровень *L*. Такого рода теодолиты, у которыхъ лимбъ не вращается, въ настоящее время рѣдко употребляются.

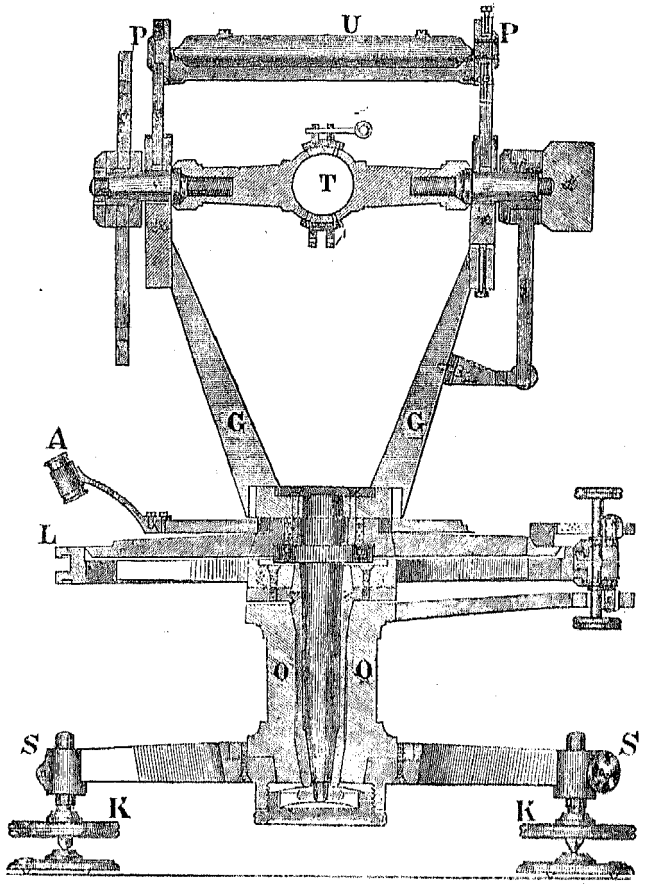
На чертежѣ 239 представленъ перспективный видъ повторительнаго теодолита фабрики Эртеля, а на чертежѣ 240—разрѣзъ того же



Черт. 239.

теодолита. *K*, *K*—винты подъемные, третій изъ нихъ не виденъ за осью *O*. *S*, *S*—винты для зажима гаекъ подъемныхъ винтовъ. *O*—ось лимба, S_2—зажимательный винтъ лимба, M_2—микрометренный винтъ лимба, S_1 и M_1—зажимательный и микрометренный винты алидады; A_1 и A_2—лупы для ноніусовъ, такихъ лупъ четыре по числу ноніусовъ; *G* и *G*—подставки, придѣланныя къ алидадѣ, на этихъ под-

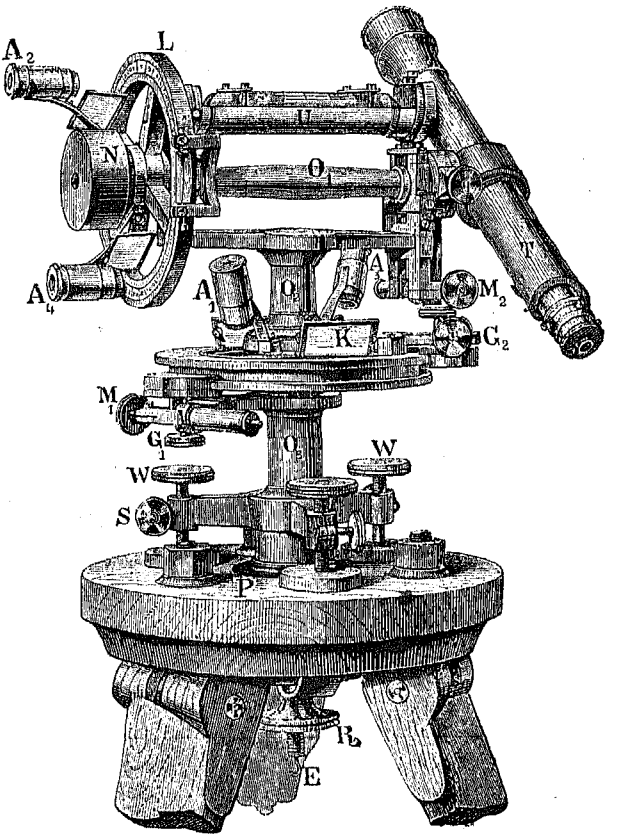
ставкахъ покоится горизонтальная ось вращенія трубы T; на одномъ концѣ оси вращенія трубы прикрѣпленъ вертикальный кругъ, а на другомъ—противовѣсъ. Зажимательный и микрометренный винты для оси вращенія трубы помѣщены со стороны противовѣса вертикальнаго круга; ниже противовѣса видны маленькіе повѣрительные винты для



Черт. 240.

подъема или опусканія (черт. 239) горизонтальной оси вращенія; N—ноніусъ вертикальнаго круга: A_3—луна для ноніусовъ вертикальнаго круга. Уровень U съемный; чтобы его снять съ оси вращенія надо открыть защелки Z (черт. 239) P и P—повѣрительные винты уровня. Труба можетъ переводиться черезъ зенитъ, для чего предварительно надо снять уровень.

На чертежѣ 241-мъ изображенъ также теодолитъ Эртеля, отличающійся отъ предыдущаго, главнымъ образомъ, тѣмъ, что труба не въ центрѣ, а съ боку, и, при поворачиваніи трубы черезъ зенитъ, нѣтъ надобности снимать уровень. *P*—столикъ треножника, *R*—становой винтъ для скрѣпленія инструмента съ треножникомъ, *E* — крючекъ

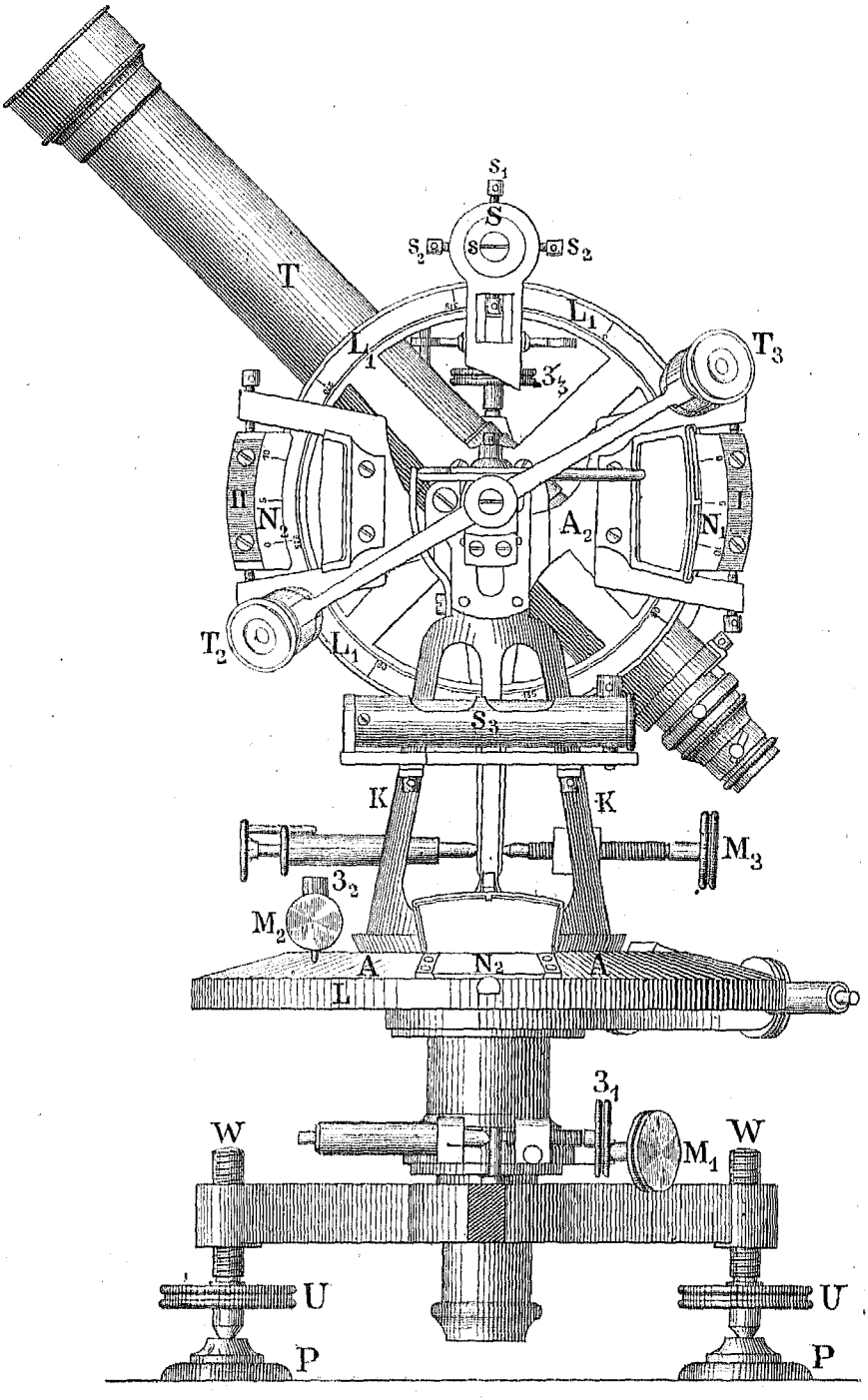


Черт. 241.

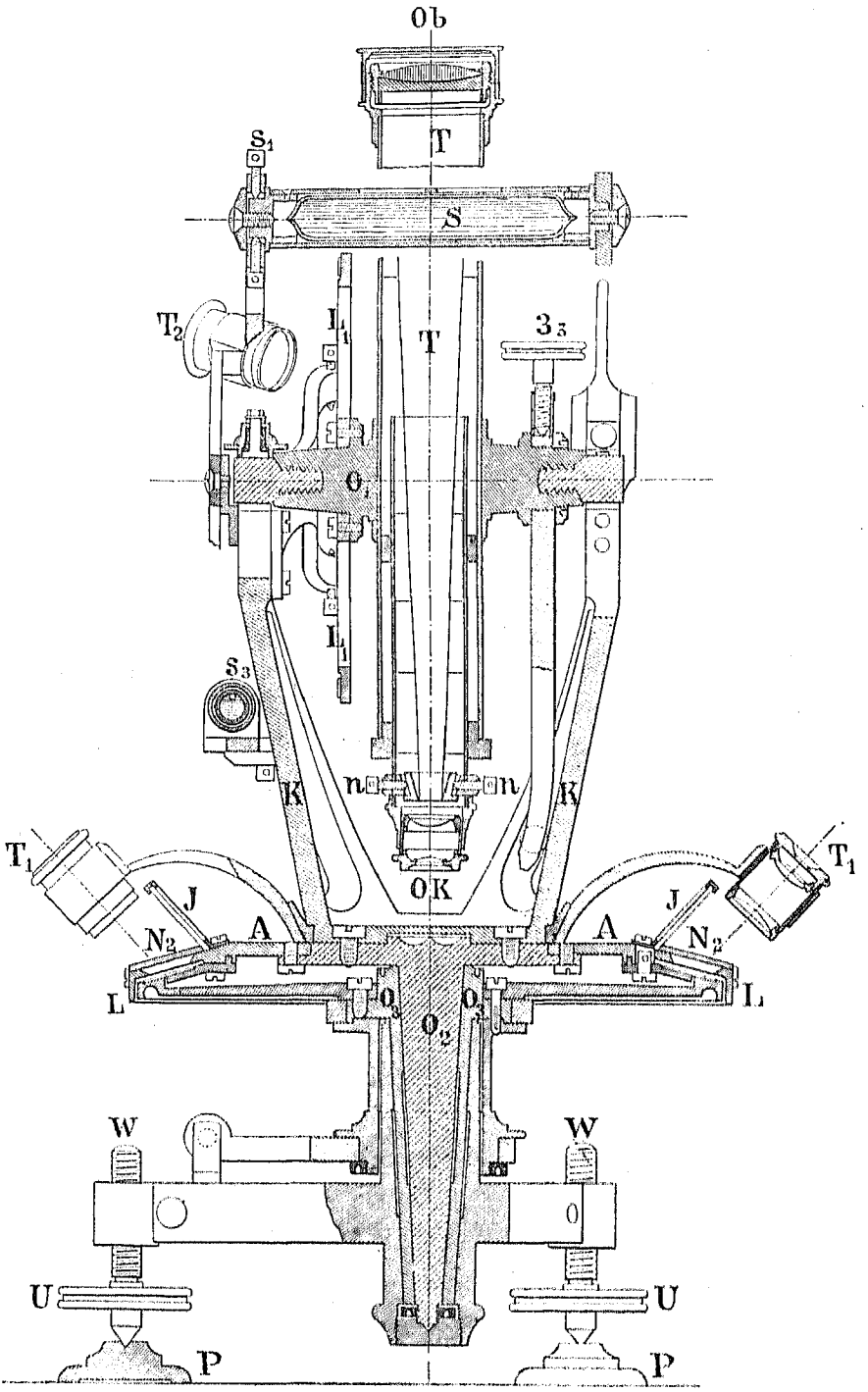
для подвѣшиванія отвѣса, *W*, *W*—подъемные, или уравнительные, винты, *S*—винты для зажима гаекъ подъемныхъ винтовъ, O_3 — ось вращенія лимба, G_1—зажимательный, M_1—микрометренный винты лимба. G_2—зажимательный и микрометренный винты алидады горизонтальнаго лимба, A_1 и A_3—лупы для ноніусовъ алидады, *K*—люминаторъ для освѣщенія ноніуса, это — бѣлое матовое стекло въ оправѣ. O_2—ось вращенія алидады; къ ней придѣлано горизонтальное

коромысло, а къ этому послѣднему двѣ вертикальныхъ подставки; въ верхнихъ частяхъ подставки эти имѣютъ лагери (или обоймицы) для горизонтальной оси вращенія трубы, означенной буквою O_1. Зажимательный винтъ для оси вращенія виденъ съ лѣвой стороны отъ трубы M_2—ея микрометренный винтъ. На ось O_1 насажена съ одного конца труба T, а съ другого—алидадный кругъ со спицами для вертикальнаго лимба L, удерживаемаго особыми приспособленіями, придѣланными къ лѣвой подставкѣ; поверхъ алидаднаго круга на концѣ горизонтальной оси, оканчивающейся винтомъ, надѣвается вилка съ двумя илюминаторами и оправами для лупъ A_2 и A_4, а на конецъ оси вращенія трубы навинчивается маленькій противовѣсъ N, прижимающій, такимъ образомъ, алидаду къ лимбу. При вращеніи трубы вращается алидада, а лимбъ остается неподвижнымъ. Поверхъ лагерей, надъ осью вращенія трубы, накладывается съемный уровень U.

На чертежахъ 242 и 243 изображенъ теодолитъ Гильдебрандта (въ Берлинѣ) въ фасадѣ и разрѣзѣ. Одинаковыя части на этихъ двухъ чертежахъ означены одинаковыми буквами. P—подставки для подъемныхъ винтовъ, скрѣпленныя со столикомъ треножника; W и W—подъемные винты, UU — шляпки для вращенія этихъ винтовъ. $З_1$—зажимательный, M_1 — микрометренный винты лимба, O_3 — ось вращенія лимба, O_2 — ось вращенія алидады, L — горизонтальный лимбъ, A—его алидада, $З_2$—зажимательный, M_2 — микрометренный винты алидады; N_2, N_2 — ноніусы алидады; I и I — илюминаторы для ноніусовъ; T_1 и T_2—лупы къ тѣмъ же ноніусамъ; K и K— постаментъ для горизонтальной оси вращенія трубы, скрѣпленный съ алидадою; съ нимъ соединенъ уровень S_3, служащій для приведенія лимба въ горизонтальное положеніе. O_1 — горизонтальная ось вращенія трубы T; $З_3$ — зажимательный, а M_3 — микрометренный ея винты. Съ горизонтальною осью трубы наглухо соединенъ вертикальный лимбъ L_1 L_1; къ одной изъ подставокъ K придѣлана наглухо алидада A_2, для вертикальнаго лимба, съ двумя ноніусами N_1 и N_1. Къ оси вращенія трубы привинчена вилка съ двумя оправами для лупъ T_2 и T_3 для ноніусовъ вертикальнаго лимба. Въ разрѣзѣ трубы видны окуляръ (OK), апланатическій объективъ (Ob) и сѣточное колѣно съ сѣточнымъ кольцомъ, удерживаемымъ винтиками n и n. Поверхъ оси вращенія трубы накладывается уровень S, служащій для опредѣленія горизонтальности оси вращенія трубы; винтъ s_1


T
S_1
S
S_2
S_2
L_1
L_1
T_3
3_3
N_2
A_2
N_1
T_2
L_1
S_3
K
K
M_3
3_2
M_2
A
N_2
A
L
3_1
W
M_1
W
U
U
P
P

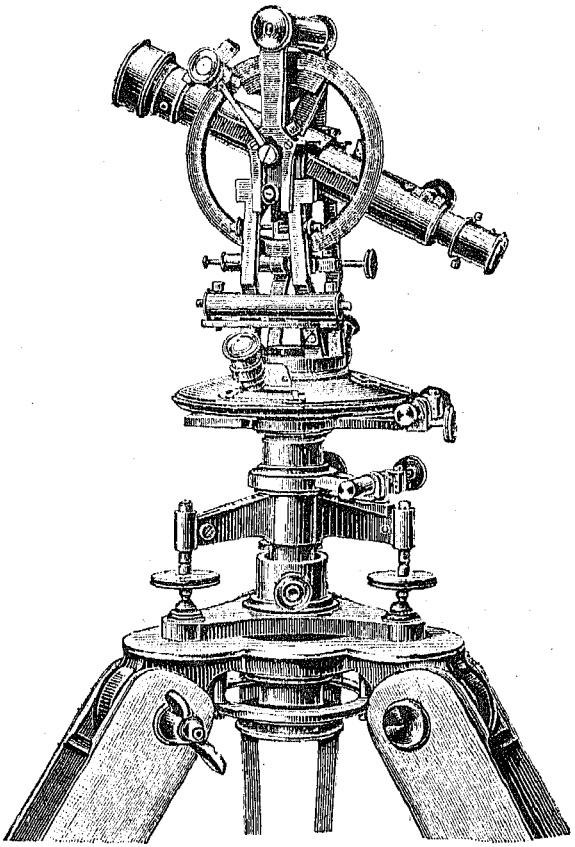
Черт. 242.



Черт. 248.

повѣрительный винтъ уровня для повышенія или пониженія оси уровня, s_2 и s_2—повѣрительные винты уровня для бокового передвиженія оси уровня. Для того, чтобы можно было переводить трубу черезъ зенитъ, уровень S надо снять.

На слѣдующихъ чертежахъ теодолитовъ не поставлено буквъ съ



Черт. 244.

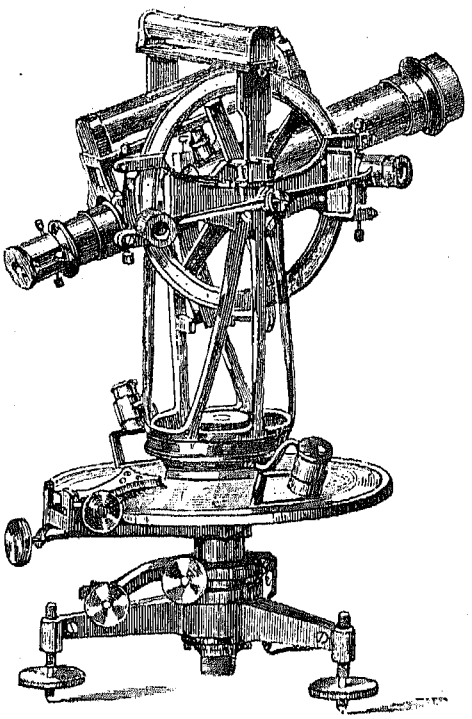
тою цѣлью, чтобы изучающій самъ назвалъ себѣ каждую часть инструмента, изображаемаго тѣмъ или другимъ чертежемъ.

Чертежъ 244 изображаетъ теодолитъ, отличающійся отъ предыдущаго лишь тѣмъ, что къ алидадѣ придѣлана круглая коробка для буссоли и для вертикальнаго лимба имѣется одна лупа.

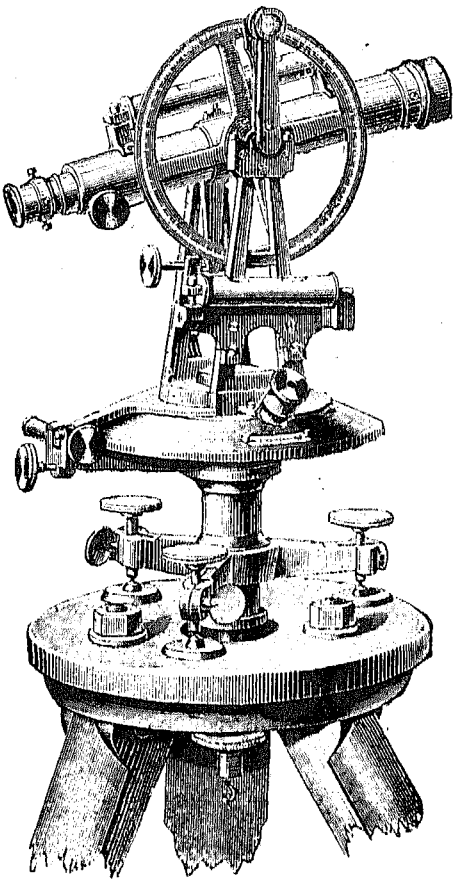
Теодолитъ, изображенный на чертежѣ 245-мъ, имѣетъ трубу не перекладную, но переводимую чрезъ зенитъ. Кромѣ съемнаго уровня,

расположеннаго надъ осью вращенія трубы, къ ней придѣланъ еще другой уровень. Алидада же горизонтальнаго лимба снабжена круглымъ уровнемъ.

Теодолитъ, изображенный на чертежѣ 246-мъ, отличается отъ предыдущихъ очень немногимъ: онъ не имѣетъ съемнаго уровня на оси



Черт. 245.



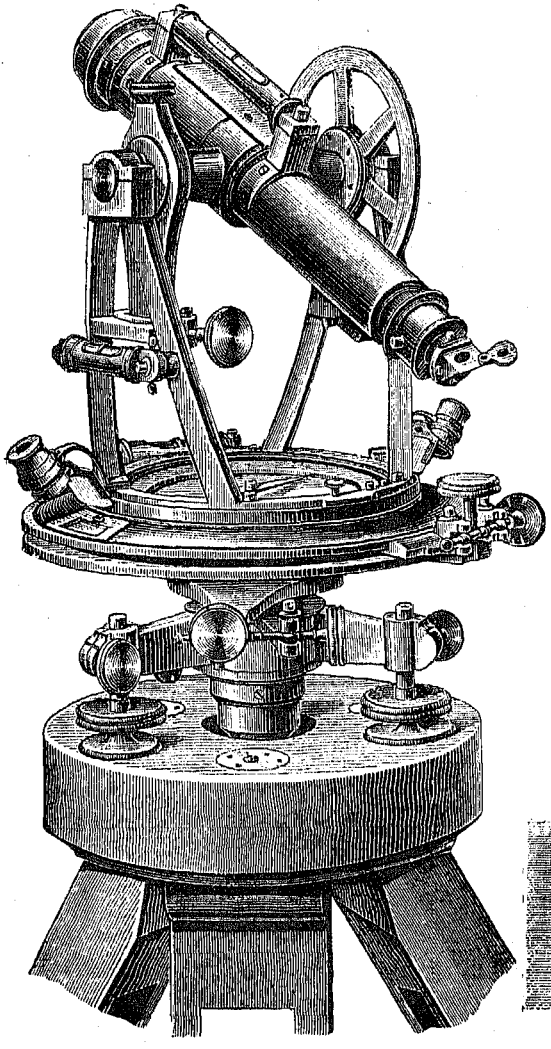
Черт. 246.

вращенія трубы, а для приведенія лимба въ горизонтальное положеніе на этомъ теодолитѣ имѣется особый уровень, придѣланный къ подставкамъ, поддерживающимъ трубу, какъ и на чертежѣ 244-мъ. Труба переводится чрезъ зенитъ.

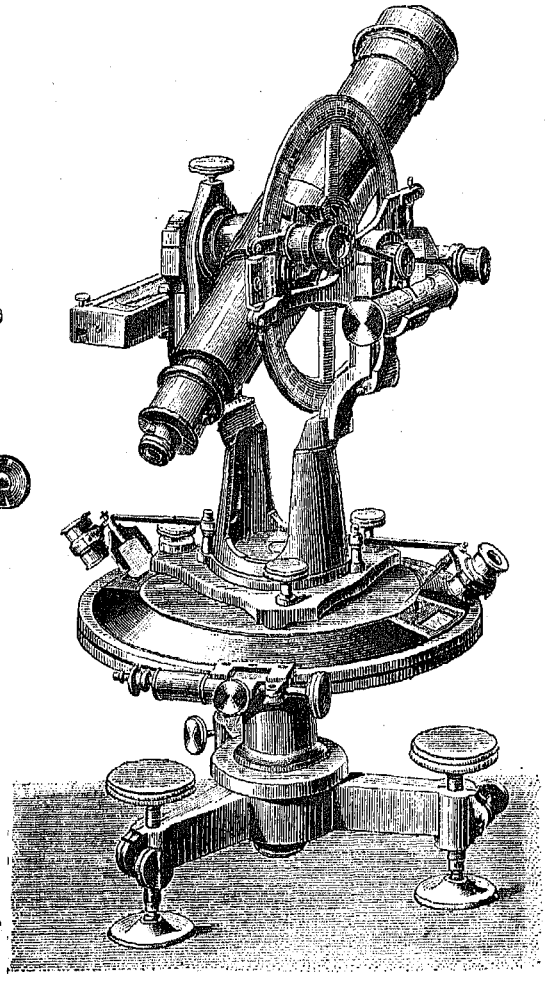
Теодолитъ, изображенный на черт. 247, имѣетъ трубу не перекладную, но переводимую чрезъ зенитъ; уровень—при трубѣ, а буссоль

придѣлана къ алидадному кругу. Для приведенія лимба въ горизонтальное положеніе служитъ уровень, придѣланный къ подставкамъ, служащимъ лагерями для оси вращенія трубы.

Теодолитъ, изображенный на чертежѣ 248-омъ, отличается отъ



Черт. 247.

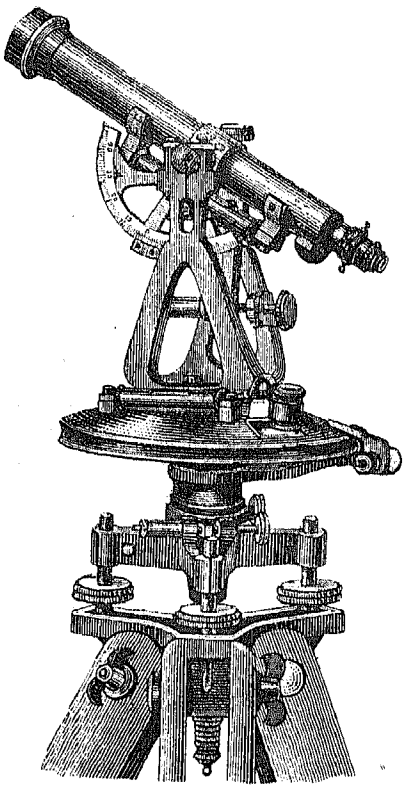


Черт. 248.

предыдущаго тѣмъ, что буссоль, въ видѣ продолговатой коробки, придѣлана къ одной изъ подставокъ горизонтальной оси трубы, а на противоположной подставкѣ помѣщенъ для равновѣсія уровень, коимъ

лимбъ приводится въ горизонтальное положеніе. Для приведенія оси вращенія трубы въ горизонтальное положеніе служатъ особые винты, видные на алидадномъ кругѣ у подставокъ, поддерживающихъ ось вращенія трубы.

Теодолитъ, изображенный на чертежѣ 249-мъ, имѣетъ секторъ вмѣсто полнаго вертикальнаго круга. Труба въ немъ не переводится чрезъ зенитъ.



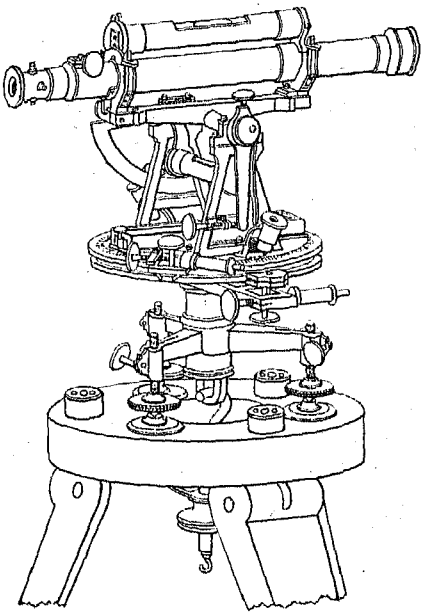
Черт. 249.

Наконецъ, черт. 250 представляетъ теодолитъ, у котораго горизонтальная ось трубы не перекладывается въ лагеряхъ, и труба не переводится чрезъ зенитъ, но можетъ быть вынута изъ своихъ обоймицъ и въ нихъ переложена. На теодолитахъ подобнаго устройства на одной сторонѣ вертикальнаго сектора имѣются градусныя дѣленія, а съ другой стороны надписаны величины тангенсовъ, соотвѣтствующихъ различнымъ угламъ. Примѣненіе этого приспособленія увидимъ ниже.

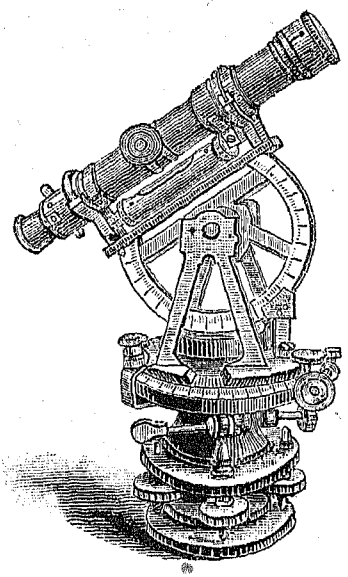
На чертежѣ 251-мъ изображенъ теодолитъ такого же устройства, какъ и предыдущіе, только онъ имѣетъ четыре подъемныхъ винта и нижнимъ кругомъ навинчивается на треножникъ. Такой способъ прикрѣпленія инструмента къ треножнику нельзя считать раціональнымъ, такъ какъ инструментъ, легко отвинчиваясь отъ треножника, часто вводитъ ошибку при измѣреніи горизонтальныхъ угловъ. Между тѣмъ теодолиты такого устройства въ большомъ употребленіи у русскихъ инженеровъ путей сообщенія.

Такимъ образомъ, изъ сказаннаго видно, что изготовляемые фабрикантами теодолиты бываютъ или съ полнымъ вертикальнымъ кругомъ, или съ секторомъ. Первые изъ нихъ бываютъ трехъ родовъ: въ однихъ

трубы переводятся чрезъ зенитъ, въ другихъ не переводятся, въ третьихъ трубы перекладываются въ лагеряхъ вмѣстѣ съ осью и вертикальнымъ кругомъ. Въ теодолитахъ съ вертикальнымъ секторомъ трубы или вовсе не перекладываются и не переводятся чрезъ зенитъ, или же только перекладываются въ обоймицахъ, причемъ ось вращенія ихъ и секторъ остаются на прежнемъ мѣстѣ. Уровни придѣлываются къ алидадѣ горизонтальнаго лимба или къ алидадѣ вер-



Черт. 250.



Черт. 251.

тикальнаго круга, или къ подставкамъ, на коихъ покоится ось вращенія трубы. Буссоли придѣлываются къ алидадѣ или къ другимъ частямъ, неразрывно связаннымъ съ алидадою.

189. Измѣреніе теодолитомъ горизонтальныхъ угловъ. Измѣреніе горизонтальныхъ угловъ теодолитомъ производится такъ: установивъ инструментъ надъ вершиной измѣряемаго угла при помощи отвѣса, закрѣпляютъ лимбъ зажимательнымъ винтомъ и приводятъ лимбъ подъемными винтами въ горизонтальное положеніе, поворачивая алидаду на лимбѣ, а не самый лимбъ (§ 96), закрѣпляютъ алидаду, дѣлаютъ отсчетъ у нуля алидады и вращеніемъ лимба направляютъ трубу по одной изъ данныхъ линій. Когда отвѣсная нить сѣтки

трубы покроетъ сигналы, стоящіе на этой линіи, тогда закрѣпляютъ лимбъ зажимательнымъ винтомъ, микрометреннымъ же винтомъ въ точности приводятъ отвѣсную нить на середину сигнала. Провѣривъ вновь отсчеты по ноніусамъ и записавъ ихъ въ журналъ, не трогая лимба, ослабляютъ зажимательный винтъ алидады и, поворачивая осторожно алидаду, направляютъ трубу по второй линіи. Когда отвѣсный волосокъ покроетъ сигналы, стоящіе на этой линіи, тогда закрѣпляютъ алидаду и приводятъ микрометреннымъ ея винтомъ отвѣсный волосокъ въ точности на середину сигнала. Сдѣлавъ это, читаютъ показаніе ноніусовъ и записываютъ отсчеты, причемъ по одному ноніусу, напр., по тому, на которомъ поставлена римская цифра I, дѣлается отсчетъ полностью, т. е. читаются градусы, минуты и секунды, а по остальнымъ ноніусамъ только минуты и секунды.

Разность между отсчетами, записанными въ 1-й и во 2-й разъ, выразитъ величину горизонтальнаго угла. Очевидно, такихъ разностей для даннаго угла будетъ или двѣ, или четыре,—по числу ноніусовъ. Разности эти будутъ свободны отъ ошибокъ чтенія, если ошибки чтенія одинаковы въ обоихъ отсчетахъ (§ 154). Если же ошибки чтенія разныя, то полученныя величины угловъ будутъ заключать въ себѣ разности этихъ ошибокъ положительныхъ или отрицательныхъ. Средняя ариѳметическая всѣхъ разностей, — двухъ или четырехъ, дастъ наиболѣе вѣроятную величину измѣреннаго угла.

Иногда дѣлаютъ измѣреніе одного угла нѣсколько разъ, и тогда лучше такое измѣреніе исполнять на разныхъ частяхъ лимба. Если желаютъ измѣрить уголъ, напр., три раза, а при первомъ измѣреніи первый отсчетъ по лимбу былъ около 40 градусовъ, то, при измѣреніи во 2-й разъ, нуль алидады ставятъ около 160°, при измѣреніи въ третій разъ нуль алидады ставятъ около 280°, т. е. прибавляютъ къ первому отсчету третью часть 360°. Если бы желали измѣрить одинъ и тотъ же уголъ 4 раза, то послѣдовательно прибавляютъ къ первому отсчету 90°, 180° и 270°.

Средняя ариѳметическая величина изъ этихъ нѣсколькихъ измѣреній угла будетъ заключать въ себѣ среднюю ошибку отъ неточности дѣленій лимба и ошибокъ чтенія, а потому ее можно считать болѣе вѣрною, чѣмъ измѣренную одинъ разъ.

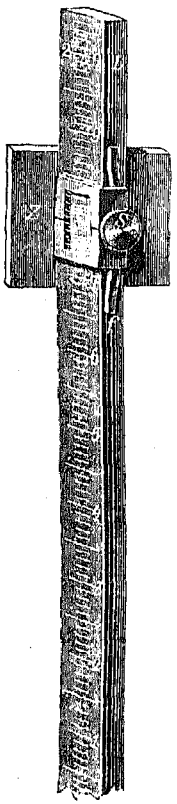
Иногда къ оси лимба придѣлываютъ 2-ю трубу, называемую *повторительной*. Она можетъ вращаться въ плоскостяхъ вертикальной

и горизонтальной. Когда на плоскости горизонтальнаго лимба опредѣляется съ одной точки много угловъ, то, при вращеніи алидады, лимбъ можетъ отойти отъ первоначальнаго положенія. Чтобъ убѣдиться въ томъ, что этого не случилось, направляютъ въ началѣ измѣренія вертикальный волосокъ повѣрительной трубы на какую-нибудь отдаленную, но ясно видимую въ трубѣ точку. Если, по окончаніи измѣренія, вертикальный волосокъ находится на той же точкѣ, то, слѣдовательно, и труба, и лимбъ, съ которымъ она связана неразрывно, сохранили свое первоначальное положеніе. Иначе, измѣреніе надо произвести вновь. Объ этомъ предметѣ болѣе подробно изложено въ главѣ о съемкѣ треугольниками.

190. Измѣреніе теодолитомъ вертикальныхъ угловъ. Если теодолитъ имѣетъ вертикальный секторъ, а не кругъ, то измѣреніе угловъ наклоненія визирной оси трубы производится ординарнымъ отсчетомъ такъ же, какъ и пантометромъ (§§ 181 и 182). Если же теодолитъ имѣетъ полный вертикальный кругъ, и труба переводится черезъ зенитъ, то измѣреніе надо производить два раза: при положеніи вертикальнаго круга справа и слѣва, или до перевода трубы и послѣ перевода ея черезъ зенитъ. Если надписи на дѣленіяхъ идутъ отъ нуля до 360°, и полученные отсчеты окажутся равными, напримѣръ, a и c, причемъ $c > a$, слѣдовательно, $c = 360 - b$, то величина вертикальнаго угла равна $\frac{a + b}{2}$.

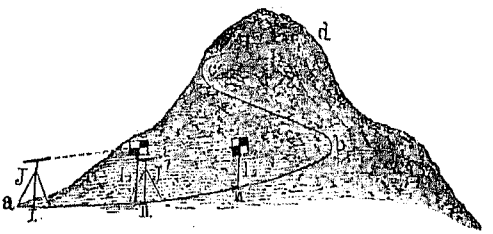
191. Назначеніе на земной поверхности линіи даннаго уклона при помощи теодолита и рейки. Гипотенуза прямоугольнаго треугольника можетъ быть наклонена къ одному изъ своихъ катетовъ больше или меньше, смотря по тому, какъ великъ другой катетъ; такъ, если катеты равны между собою, то говорятъ, что на каждую единицу основанія высота равна той же единицѣ мѣры, и такое наклоненіе гипотенузы называется одиночнымъ, или говорятъ, уклонъ ея равенъ единицѣ, т. е. уклонъ ея ничто другое, какъ тангенсъ угла, образуемаго гипотенузой съ катетомъ, составляющимъ основаніе. И вообще, *уклономъ всякой линіи называютъ тангенсъ угла, образуемаго этою линіею съ горизонтомъ*; такъ, если говорятъ, что линія имѣетъ уклонъ 0,005, то это значитъ, что эта линія есть гипотенуза треугольника, у котораго основаніе равно 1000 единицамъ, а высота 5 такимъ же единицамъ; если уклонъ равенъ 0,01, то это значитъ, что линія подымается или опускается надъ горизон-

томъ на каждыя сто единицъ горизонтальнаго разстоянія на одну единицу высоты; если линія имѣетъ уклонъ равный 0,012, то такая линія на 1000 саженъ, на 1000 метровъ горизонтальнаго разстоянія подымается или опускается на 12 саженъ или на 12 метровъ и т. д.



Черт. 252.

При помощи теодолита и рейки съ цѣлью (черт. 252) можно назначить на земной поверхности линію опредѣленнаго уклона; для этого надо установить въ горизонтальномъ положеніи надлежащимъ образомъ теодолитъ, затѣмъ поставить нуль вертикальнаго круга вблизи нуля нонiуса, закрѣпить трубу и микрометреннымъ винтомъ въ точности поставить нуль нонiуса такъ, чтобы отсчетъ по кругу и нонiусу былъ равенъ углу, соотвѣтствующему опредѣленному уклону, или тангенсу. Когда нуль нонiуса вертикальнаго круга поставленъ на соотвѣтствующее мѣсто, то измѣряютъ, при помощи рейки, высоту оси вращенія инструмента надъ точкою, въ которой стоитъ теодолитъ, устанавливаютъ цѣль рейки точно на эту высоту и посылаютъ рабочаго поставить рейку въ нѣкоторой точкѣ мѣстности въ разстояніи ста или болѣе саженъ отъ теодолита, затѣмъ, направивъ трубу теодолита на рейку вращеніемъ алидады или лимба, смотрятъ на горизонтальный волосокъ трубы; если онъ приходится выше горизонтальной черты цѣли рейки, то реечнику даютъ сигналъ перейти въ точку, лежащую ниже; если горизонтальный волосокъ приходится ниже горизонтальной черты цѣли, то реечникъ долженъ перейти въ точку болѣе возвышенную; такими перестановками реечника можно достигнуть того, что, наконецъ, рейка будетъ поставлена въ такую точку, при нахожденіи въ которой горизонтальная черта цѣли



Черт. 253.

рейки покроется горизонтальнымъ волоскомъ трубы; тогда, очевидно, рейка стоитъ въ искомой точкѣ, т. е. линія, соединяющая эту точку съ точкой стоянія теодолита, имѣетъ уклонъ, соотвѣтствующій углу наклоненія визирной оси. Конечно, для этого необходимо, чтобы теодолитъ былъ вполнѣ вѣренъ, относительно уровня и относительно мѣста нуля вертикальнаго круга. Чертежъ 253 изображаетъ производство описанной здѣсь полевой работы. Переставивъ теодолитъ въ точку, гдѣ стояла рейка, можно продолжать работу попрежнему и назначить линію *abc* даннаго уклона до вершины *d* горы.

Чтобы не искать тангенсовъ въ таблицахъ логариѳмовъ, полезно составить табличку соотвѣтственно тѣмъ уклонамъ, какіе придется разбивать на мѣстѣ, напр., такую:

Величина уклона	Величина угла.	Величина уклона.	Величина угла.	Величина уклона.	Величина угла.	Величина уклона.	Величина угла.
	° ′ ″		° ′ ″		° ′ ″		° ′ ″
0,0001	0 0 20	0,0009	0 3 10	**0,008**	**0 27 30**	0,020	1 8 40
0,0002	0 0 40	0,001	0 3 30	0,009	0 31 0	0,025	1 26 0
0,0003	0 1 0	0,002	0 6 50	**0,01**	**0 34 20**	0,030	1 43 10
0,0004	0 1 20	0,003	0 10 20	0,011	0 37 50	0,035	2 0 20
0,0005	0 1 40	0,004	0 13 50	0,012	0 41 10	0,040	2 17 30
0,0006	0 2 0	**0,005**	**0 17 10**	0,013	0 44 40	0,045	2 34 40
0,0007	0 2 20	0,006	0 20 40	0,014	0 48 10	0,050	2 51 40
0,0008	0 2 50	0,007	0 24 0	0,015	0 51 30		

Здѣсь величины меньшія 5 секундъ отброшены, а вмѣсто бо́льшихъ 5 сек. взято 10 сек. Изъ этой таблички видно, что *для назначенія на землѣ линій даннаго уклона точность контуса вертикальнаго круга должна быть не менѣе 10 секундъ*. Напечатанные жирнымъ шрифтомъ углы и уклоны, какъ наиболѣе употребительные на желѣзнодорожныхъ путяхъ, полезно запомнить.

192. Условія, коимъ долженъ удовлетворять вѣрный теодолитъ. Такъ какъ теодолитомъ измѣряются углы въ плоскостяхъ горизонтальной и вертикальной, то вѣрный теодолитъ долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1) *Уровень, придѣланный къ алидадѣ, коимъ плоскость горизон-*

тальнаго лимба приводится въ горизонтальное положеніе, долженъ быть вѣренъ, т. е. ось его параллельна плоскости лимба или перпендикулярна оси вращенія алидады и оси вращенія лимба.

2) *Визирная ось трубы должна описывать плоскость, и плоскость, перпендикулярную къ лимбу, при вращеніи трубы около горизонтальной ея оси вращенія.*

3) *При совпаденіи нулей нонІусовъ въ 90° и 270° или съ нулями вертикальнаго круга, или съ нулемъ сектора визирная ось должна быть горизонтальна.* Въ теодолитахъ, имѣющихъ при трубѣ уровень, при указанномъ совпаденіи нулей, пузырекъ уровня трубы долженъ быть на серединѣ.

4) *Дѣленія на лимбахъ должны быть сдѣланы вѣрно.*

5) *Центры алидадныхъ круговъ должны совпадать съ центрами лимбовъ.*

193. Повѣрка параллельности оси уровня теодолита плоскости лимба или перпендикулярности оси вращенія алидады. Уровень, которымъ лимбъ теодолита приводится въ горизонтальное положеніе, долженъ имѣть ось, параллельную плоскости лимба, иначе, углы астролябическіе не будутъ измѣряться на плоскости горизонтальной.

Чтобы узнать, параллельна ли ось уровня плоскости лимба, надо привести ось уровня подъемными винтами по двумъ направленіямъ въ горизонтальное положеніе, т. е. дать оси уровня опредѣленное положеніе; повторивъ эту операцію нѣсколько разъ и закрѣпивъ зажимательный винтъ лимба, повертываютъ алидаду на полуокружность; если при этомъ пузырекъ уровня, приведенный раньше на середину, не отойдетъ отъ этого положенія, то два положенія оси уровня — до поворота и послѣ поворота — совпадаютъ, а это значитъ, что ось уровня параллельна плоскости лимба (§ 169) и въ то же время перпендикулярна оси вращенія алидады. Если же, послѣ поворота алидады на полуокружность, пузырекъ уровня отойдетъ отъ середины трубки, то это укажетъ, что ось уровня не заняла первоначальнаго положенія, имѣвшаго мѣсто до поворота; а изъ этого заключимъ, что она непараллельна той плоскости, относительно которой ее повернули, т. е. непараллельна плоскости лимба.

Слѣдовательно, чтобъ исправить эту непараллельность, необходимо одинъ конецъ уровня приподнять или опустить, что дѣлается при помощи повѣрительнаго винта S_1 (черт. 235), и дѣйствовать

этимъ винтомъ надо до тѣхъ поръ, пока середина пузырька не приблизится къ серединѣ трубки на половину отклоненія; напр., если середина пузырька отойдетъ отъ середины трубки на 4 дѣленія, то винтомъ S_1 середину пузырька надо приблизить къ серединѣ трубки на 2 дѣленія. Это потому, что уголъ, составленный двумя положеніями оси уровня, соотвѣтствуетъ 4 дѣленіямъ, слѣдовательно, уголъ ошибки, равный половинѣ угла между двумя положеніями оси уровня, соотвѣтствуетъ 2 дѣленіямъ. Послѣ этого пузырекъ уровня надо привести подъемными винтами на середину и повторить повѣрку во 2-й, 3-й и т. д. разъ, пока, наконецъ, пузырекъ уровня, разъ приведенный на середину, уже не отходитъ отъ этого положенія при поворотахъ алидады на полуокружность.

Если, послѣ всякаго поворота и исправленія, пузырекъ все-таки отклоняется отъ середины, сколько бы разъ это исправленіе ни производилось, то это укажетъ, что плоскости вращенія алидады и лимба стерлись настолько, что въ нѣкоторыхъ своихъ частяхъ не прилегаютъ другъ къ другу. Инструментъ съ такимъ недостаткомъ нельзя употреблять для точныхъ измѣреній, такъ какъ плоскость лимба нельзя привести точно въ горизонтальное положеніе.

194. Повѣрка перпендикулярности оси уровня къ оси вращенія лимба. Чтобы узнать, перпендикулярна ли ось уровня къ оси вращенія лимба, надо закрѣпить алидаду и ослабить становой винтъ лимба, а затѣмъ, приведя уровень въ горизонтальное положеніе, не ослабляя алидады, надо повернуть лимбъ на 180°. Сохраненіе пузырькомъ уровня своего мѣста или отклоненіе отъ середины послѣ поворота на 180° приведетъ къ убѣжденію, — перпендикулярна ли ось вращенія лимба оси уровня, или нѣтъ.

Если бы оказалась неперпендикулярность этихъ осей, то произвести исправленіе нѣтъ возможности, такъ какъ для такого исправленія въ теодолитахъ не имѣется повѣрительныхъ винтовъ, вслѣдствіе невозможности измѣнить положеніе оси вращенія лимба относительно плоскости лимба.

Поэтому, при измѣреніи угловъ съ одной вершины, лимбъ не вращаютъ, а берутъ отсчеты при первомъ положеніи алидады и при 2-мъ, разность отсчетовъ даетъ величину измѣряемаго угла. Если при визированіи на пройденную линію, или при визированіи назадъ, желаютъ ставить нуль алидады въ совпаденіе съ нулемъ лимба,

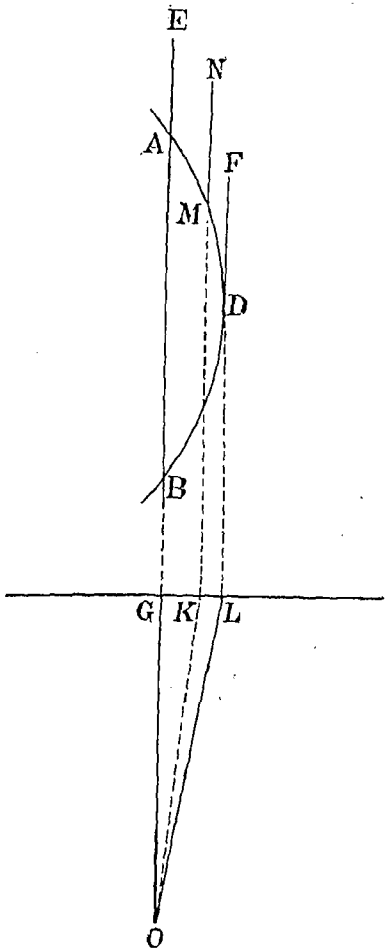
то дѣйствуютъ такъ: приведя плоскость лимба въ горизонтальное положеніе поворотами алидады, приводятъ нули алидады и лимба въ совпаденіе, закрѣпивъ предварительно алидаду. Движеніемъ лимба относительно его оси вращенія приводятъ вертикальный волосокъ трубы на задній предметъ и закрѣпляютъ становой винтъ лимба. Такимъ образомъ перемѣщаютъ ось уровня относительно оси вращенія, которой она неперпендикулярна. Вслѣдствіе этого пузырекъ отойдетъ отъ середины. Тогда, ослабивъ алидаду, устанавливаютъ уровень надлежащимъ образомъ, затѣмъ, приведя нули алидады и лимба въ совпаденіе, направляютъ вертикальный волосокъ въ точности на задній предметъ микрометреннымъ винтомъ лимба. Если и послѣ этого пузырекъ отойдетъ, то повторяютъ установку уровня вновь.

195. Повѣрка въ теодолитѣ перпендикулярности визирной оси къ оси вращенія, или повѣрка колимаціонной ошибки. Такъ какъ теодолитомъ приходится измѣрять углы въ плоскостяхъ горизонтальныхъ и вертикальныхъ, то необходимо поэтому, чтобъ визирная ось теодолита описывала, во 1-хъ, плоскость и, во 2-хъ, плоскость перпендикулярную къ плоскости лимба. Визирная ось, при вращеніи трубы, не описываетъ плоскости въ томъ случаѣ, когда она неперпендикулярна къ оси вращенія трубы. Конечно, въ этомъ случаѣ она описываетъ часть поверхности конуса около горизонтальной оси вращенія трубы, которая, слѣдовательно, играетъ роль оси конуса, а визирная ось— производящей этого конуса. Неперпендикулярность этихъ осей называется *колимаціей* или *колимаціонной ошибкой*.

Если визирная ось неперпендикулярна къ оси вращенія трубы, то она описываетъ коническую поверхность, т. е. центръ сѣтки движется не по прямой, а по кривой линіи; а слѣдовательно, вертикальный волосокъ при движеніи трубы закрываетъ отвѣсные сигналы, находящіеся въ различныхъ отвѣсныхъ плоскостяхъ. При этомъ отсчетъ на горизонтальномъ лимбѣ, при всѣхъ этихъ покрытіяхъ, одинъ и тотъ же, хотя лучи, идущіе къ глазу отъ различныхъ сигналовъ, находящихся на разныхъ высотахъ, составляютъ между собою уголъ (черт. 254). Изъ этого видно, что углы между предметами, находящимися на разныхъ высотахъ, при существованіи колимаціи трубы, измѣряются съ нѣкоторою непостоянною ошибкою.

Чтобы узнать,—перпендикулярна ли визирная линія къ горизонтальной оси вращенія, надо, какъ выяснено въ теоріи повѣрокъ

(глава XIII), повернуть одну изъ осей около другой на полуокружность, и если поворачиваемая ось займетъ прежнее положеніе, то оси перпендикулярны, если же поворачиваемая ось не займетъ того же положенія, то оси неперпендикулярны. Примемъ визирную линію за ось постоянную, а горизонтальную ось вращенія трубы за поворачиваемую. Направимъ центръ сѣтки на какую-нибудь постоянную отдаленную, но ясно видимую, точку, т. е. опредѣлимъ направленіе визирной оси, и, замѣтивъ показаніе на горизонтальномъ лимбѣ, повернемъ алидаду приблизительно на полуокружность и, переведя трубу чрезъ зенитъ, направимъ ее такъ, чтобы центръ сѣтки покрывалъ бы ту же точку, т. е. чтобы визирная ось занимала прежнее мѣсто. Горизонтальная ось вращенія трубы займетъ тогда такое положеніе, какъ если бы она описала полуокружность въ плоскости отвѣсной относительно визирной оси.



Черт. 254.

Теперь надо убѣдиться, сохраняетъ ли при этомъ новомъ положеніи трубы горизонтальная ось вращенія прежнее свое положеніе, или нѣтъ. Если показанія горизонтальнаго лимба тѣ же самыя, какъ и до поворота, то изъ этого заключимъ, что линія нулей алидады заняла прежнее положеніе, а слѣдовательно, и горизонтальная ось вращенія, неизмѣнно соединенная съ алидадою, заняла то же положеніе. Если же показанія ноніусовъ алидады горизонтальнаго лимба будутъ другія, то разность первыхъ и вторыхъ показаній дастъ величину угла, составленнаго двумя положеніями горизонтальной оси вращенія, — до поворота и послѣ поворота. Половина этого угла будетъ мѣрою ошибки отъ неперпендикулярности горизонтальной оси вращенія къ визирной линіи. Если эта ошибка довольно значи-

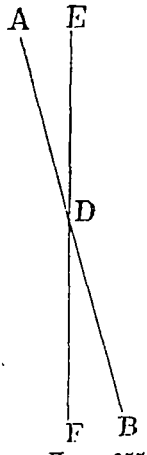
тельна, то инструмента не слѣдуетъ употреблять въ дѣло; если же ошибка незначительна, то ее можно поправить слѣдующимъ образомъ: передвинуть микрометреннымъ винтомъ нуль алидады на величину этой ошибки въ сторону положенія алидады до поворота, — тогда, очевидно, визирная ось отойдетъ отъ прежняго положенія, и отойдетъ на величину ошибки неперпендикулярности визирной и горизонтальной осей вращенія; если же боковыми винтами сѣтки передвинуть центръ ея настолько, чтобъ онъ опять покрывалъ ту же точку, то уничтожится неперпендикулярность между осями, и, слѣдовательно, визирная ось послѣ этого исправленія будетъ описывать плоскость, а не коническую поверхность. Винтамъ сѣтки можно давать лишь малое перемѣщеніе, слѣдовательно, исправленіе возможно только при малой величинѣ ошибки. А чтобъ и малая ошибка могла быть открыта, надо визировать, по возможности, на точку отдаленную, которая казалась бы совершенно покрытою центромъ сѣтки.

196. Повѣрка параллельности оси вращенія трубы горизонтальному лимбу. Когда визирная ось перпендикулярна къ оси вращенія, то, при горизонтальномъ положеніи послѣдней, первая описываетъ плоскость отвѣсную, а при наклонномъ положеніи горизонтальной оси вращенія, визирная ось описываетъ плоскость наклонную при условіи, что лимбъ установленъ горизонтально. Если окажется, что визирная ось описываетъ плоскость наклонную, то помощью такого теодолита нельзя провѣшить линію, т. е. установить рядъ вѣхъ въ одной отвѣсной плоскости, нельзя убѣдиться имѣетъ ли та или другая часть какого нибудь сооруженія отвѣсное положеніе. Въ такомъ теодалитѣ надо исправить положеніе горизонтальной оси вращенія, приподнявъ или опустивъ одинъ конецъ ея настолько, чтобы ось вращенія трубы сдѣлалась параллельною лимбу, что выполняется при помощи повѣрительныхъ винтовъ, находящихся у одной изъ подставокъ, поддерживающихъ ось вращенія трубы.

Чтобы узнать, описываетъ ли визирная ось отвѣсную плоскость, наводятъ центръ сѣтки на нить спокойно висящаго отвѣса AB, предварительно установивъ теодолитъ (§ 96 и 137), и если, при вращеніи трубы, центръ сѣтки не отходитъ отъ нити отвѣса, то визирная ось описываетъ плоскость отвѣсную; если же при движеніи трубы вверхъ отходитъ (черт. 255) по линіи DA, а при движеніи трубы внизъ по линіи DB, то визирная ось описываетъ плоскость наклонную; чтобы

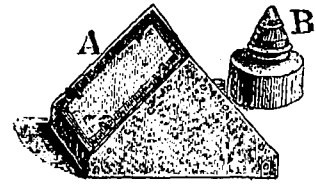
исправить ошибку, дѣйствуютъ повѣрительными винтами, упомянутыми сейчасъ, до тѣхъ поръ, пока, при вращеніи трубы, центръ сѣтки болѣе не отходитъ уже отъ отвѣса.

Отвѣсъ всегда немного колеблется, слѣдовательно, исправленіе при его помощи можетъ быть сдѣлано только грубо, поэтому надо указать на другой способъ этой повѣрки, именно при помощи искусственнаго горизонта. Если тарелку или блюдце наполнить масломъ или ртутью, то когда жидкость придетъ въ покойное состояніе, а поверхность ея сдѣлается горизонтальною, зеркальною, сосудъ съ жидкостью будетъ представлять собою *искусственный горизонтъ*. Для искусственныхъ горизонтовъ устраиваютъ также особаго рода небольшіе продолговатые ящики съ покрышками, въ которыя съ двухъ наклонныхъ сторонъ вставлены стекла. Эта покрышка на чертежѣ 256-мъ означена буквою *A*. Ртуть держатъ въ особой деревянной баночкѣ *B*. Какъ искусственный горизонтъ, такъ и баночка съ ртутью помѣщаются въ особомъ ящикѣ.



Черт. 255.

Всякая точка и изображеніе ея въ искусственномъ горизонтѣ, очевидно, находятся на отвѣсной линіи; на этомъ основаніи, повѣрка горизонтальности оси вращенія, при помощи искусственнаго горизонта, дѣлается такъ: ставятъ ящикъ искусственнаго горизонта на землю, предъ объективомъ трубы, отвинчиваютъ крышку въ деревянной баночкѣ *B* (черт. 256), осторожно выливаютъ ртуть изъ баночки въ продолговатый ящикъ, покрываютъ его стеклянной крышкой, поворачиваютъ крышку съ ящикомъ осторожно такъ, чтобы со сторонъ треугольныхъ боковъ крышки не было тѣни. Направляютъ вертикальный волосокъ на какую либо точку, по возможности отдаленную, изображеніе которой въ искусственномъ горизонтѣ видно въ трубу, опускаютъ трубу внизъ, и если при этомъ вертикальный волосокъ покроетъ изображеніе выбранной точки, то визирная плоскость совпадаетъ съ отвѣсною линіей. Если этого не окажется, то надо приподнять или опустить одинъ конецъ горизонтальной оси вращенія



Черт. 256.

трубы, имѣющимися для этой цѣли, при одной изъ сторонъ ея, повѣрительными винтами.

Въ теодолитахъ, подобныхъ изображенному на чертежѣ 239-мъ, т. е. въ тѣхъ, у которыхъ уровень расположенъ надъ горизонтальною осью вращенія трубы, повѣрки относительно уровня, горизонтальности оси вращенія трубы и колимаціонной ошибки производятся въ иномъ порядкѣ. Именно въ такомъ: 1) параллельна ли ось уровня оси вращенія трубы, 2) параллельна ли ось уровня плоскости лимба и 3) нѣтъ ли колимаціонной ошибки.

Повѣрка параллельности оси уровня и оси вращенія трубы производится перекладываніемъ уровня на оси вращенія, исправленіе—винтомъ P (черт. 239). Если ось уровня параллельна оси вращенія, и ось уровня приведена подъемными винтами въ горизонтальное положеніе, то ось вращенія будетъ горизонтальна; слѣдовательно, если нѣтъ колимаціонной ошибки, то визирная ось описываетъ при этомъ отвѣсную плоскость.

Повѣрка параллельности оси уровня плоскости лимба производится поворотомъ алидады на 180°, а исправленіе—винтами, расположенными на подставкахъ G, G (черт. 239), видными на чертежѣ ниже противовѣса.

Для повѣрки колимаціонной ошибки въ такихъ теодолитахъ снимаютъ уровень съ горизонтальной оси вращенія трубы, направляютъ центръ сѣтки трубы на какую-нибудь отдаленную, но ясно видимую въ трубу, точку; затѣмъ поворачиваютъ трубу чрезъ зенитъ. Если послѣ этого увидятъ, что центръ сѣтки покрываетъ ту же точку, то колимаціи нѣтъ, въ противномъ случаѣ, исправленіе производится винтами при сѣткѣ, какъ было описано раньше (§ 195).

197. Повѣрка горизонтальности визирной оси теодолита при совпаденіи линіи нулей ноніусовъ и вертикальнаго круга или сектора, или нахожденіе мѣста нуля лимба. Разберемъ теперь, какъ узнать,—горизонтальна ли визирная линія при совпаденіи линій нулей ноніусовъ и вертикальнаго круга или сектора, или—какъ узнать мѣсто нуля вертикальнаго круга.

Въ теодолитахъ съ трубами, непереводимыми чрезъ зенитъ, повѣрка эта производится такъ же, какъ и въ пантометрахъ (§ 187).

Въ теодолитахъ съ перекладными трубами или переводимыми чрезъ зенитъ, повѣрку эту можно и не дѣлать, если измѣрять уголъ

вертикальный при двухъ положеніяхъ вертикальнаго круга, справа и слѣва или до поворота и послѣ поворота трубы чрезъ зенитъ (§ 190).

Если же измѣреніе вертикальнаго угла желаютъ дѣлать при одномъ положеніи вертикальнаго лимба для бо́льшей скорости въ работѣ или по какимъ либо другимъ причинамъ, напримѣръ, при назначеніи линіи даннаго уклона, то повѣрку эту необходимо сдѣлать такъ: навести трубу на постоянную точку при какомъ угодно положеніи линіи нулей вертикальнаго лимба. Прочтенное число градусовъ, минутъ и секундъ будетъ въ точности равно зенитному разстоянію постоянной точки, или угловой ея высотѣ надъ горизонтомъ, лишь тогда, когда, при совпаденіи линіи нулей лимба и алидаднаго круга, визирная ось горизонтальна. Во всякомъ случаѣ, прочтенный отсчетъ окажется равнымъ зенитному разстоянію, или наклоненію къ горизонту нѣкотораго опредѣленнаго направленія, съ которымъ визирная ось совпадаетъ или не совпадаетъ.

Визирная ось совпадаетъ съ этимъ направленіемъ, когда она горизонтальна при совпаденіи линій нулей вертикальнаго лимба и алидады, и не совпадаетъ въ случаѣ противномъ.

Слѣдовательно, чтобы рѣшить заданный вопросъ, надо одно изъ упомянутыхъ направленій повернуть около другого на 180°, для чего слѣдуетъ направить центръ сѣтки на какую-нибудь постоянную точку и, замѣтивъ показаніе вертикальнаго круга, повернуть трубу черезъ зенитъ или переложить ее въ обоймицахъ, затѣмъ повернуть алидаду на горизонтальномъ кругѣ, чтобы можно было вновь визировать на постоянную точку, и центръ сѣтки въ точности навести на эту точку. Если отсчетъ по вертикальному кругу въ точности равенъ прочтенному раньше или дополняетъ его до 360°, то оба сказанныя направленія совпадаютъ, и, слѣдовательно, ось визирная горизонтальна, при совпаденіи нулей алидады и вертикальнаго лимба.

Если, послѣ поворота трубы черезъ зенитъ и направленія центра сѣтки на прежнюю точку поворотомъ алидады на горизонтальномъ лимбѣ, показаніе на вертикальномъ кругѣ не будетъ въ точности дополнять прочтеннаго раньше показанія до 360°, то изъ этого должны заключить, что визирная линія негоризонтальна, при совпаденіи нулей нонiуса и вертикальнаго лимба.

Половина разности между 1-мъ показаніемъ и дополненіемъ 2-го показанія до 360° выразитъ уголъ ошибки отъ несовпаденія нулей

ноніусовъ и вертикальнаго лимба при горизонтальномъ положеніи визирной оси.

Если инструментъ имѣетъ вывѣряемую ошибку, то при измѣреніи зенитныхъ разстояній будетъ дѣлаема ошибка, равная найденной величинѣ. Ошибка эта можетъ быть либо положительная, либо отрицательная. Она будетъ положительная, когда величина вертикальнаго угла, прочтенная въ 1-й разъ, менѣе дополненія до 360° величины, прочтенной во 2-й разъ, и отрицательная въ обратномъ случаѣ.

1-й примѣръ: вертикальный кругъ направо показываетъ 82°, кругъ налѣво показываетъ 279°. Вычтя 279° изъ 360° найдемъ 81°. Разность между 82° и 81° равна + 1°. Слѣдовательно, ошибка равна + $^1/_2$°, т. е. ко всѣмъ вертикальнымъ угламъ надо прибавлять $^1/_2$ градуса. То же самое получилось бы, если къ 82° прибавили бы 279° и изъ суммы вычли 360°, а разность раздѣлили бы пополамъ.

2-й примѣръ: вертикальный кругъ направо даетъ отсчетъ равный 72°, кругъ налѣво 287°. Дополненіе 2-го показанія до 360° равно 73°; вычитая 73° изъ 72° найдемъ, что разность = —1°. Слѣдовательно, ошибка равна—$^1/_2$°, т. е. отъ всѣхъ вертикальныхъ угловъ надо отнимать $^1/_2$°. Та же самая разность получилась бы, если бы къ 72° прибавили 287° и отняли 360°, а разность раздѣлилъ бы пополамъ.

Такимъ образомъ, чтобы узнать ошибку отъ несовпаденія нуля вертикальнаго лимба съ нулемъ ноніуса при горизонтальности визирной оси трубы, въ теодолитахъ съ трубами, переводимыми чрезъ зенитъ, и съ полными вертикальными кругами, на которыхъ дѣленія идутъ отъ 0° до 360°, надо измѣрить зенитное разстояніе какой либо точки, повернуть трубу чрезъ зенитъ, повернуть алидаду на 180°, измѣрить вновь зенитное разстояніе той же точки, изъ полусуммы обоихъ показаній вычесть 180°,—полученная величина будетъ равна величинѣ ошибки.

Найденную ошибку въ теодолитѣ, изображенномъ на черт. 235, можно уничтожить винтомъ Q, но такъ какъ послѣ этого уровень при алидадѣ вертикальнаго круга или при трубѣ сдѣлается невѣрнымъ, то его слѣдуетъ исправить.

Винтомъ Q дѣйствуютъ при ошибкѣ значительной; если же ошибка мала, то лучше ее вводить въ вычисленіе, а не уничтожать винтомъ Q.

Если надписи на вертикальномъ кругѣ идутъ въ обѣ стороны отъ нуля, то оба отсчета вертикальнаго круга—до и послѣ поворота чрезъ зенитъ,—менѣе 90°, а потому величина ошибки будетъ равна полуразности, а вѣрный отсчетъ равенъ полусуммѣ показаній.

Глава XVII.

О ДАЛЬНОМѢРАХЪ СЪ РАЗСТОЯНІЕМЪ МЕЖДУ ВОЛОСКАМИ НЕИЗМѢНЯЕМЫМЪ.

198. Дальномѣръ Рейхенбаха и Эртеля. Часто въ геодезическихъ инструментахъ, кромѣ двухъ перекрестныхъ нитей сѣтки, какъ было сказано раньше, дѣлаютъ еще двѣ горизонтальныхъ нити, отстоящихъ на равномъ разстояніи отъ средней нити. Такое простое устройство даетъ возможность опредѣлять длины линій на земной поверхности, безъ непосредственнаго ихъ измѣренія цѣпью или другими инструментами, служащими для той же цѣли.

Геодезическій инструментъ съ трубой, имѣющей сѣтку съ тремя или, по крайней мѣрѣ, съ двумя горизонтальными волосками, кромѣ своего названія, носитъ еще названіе *дальномѣра*; такъ, пантометръ можетъ быть *пантометромъ-дальномѣромъ*. Теодолиты, снабженные трубами, имѣющими дальномѣры, называются *теодолитами-дальномѣрами*, а также *тахеометрами*.

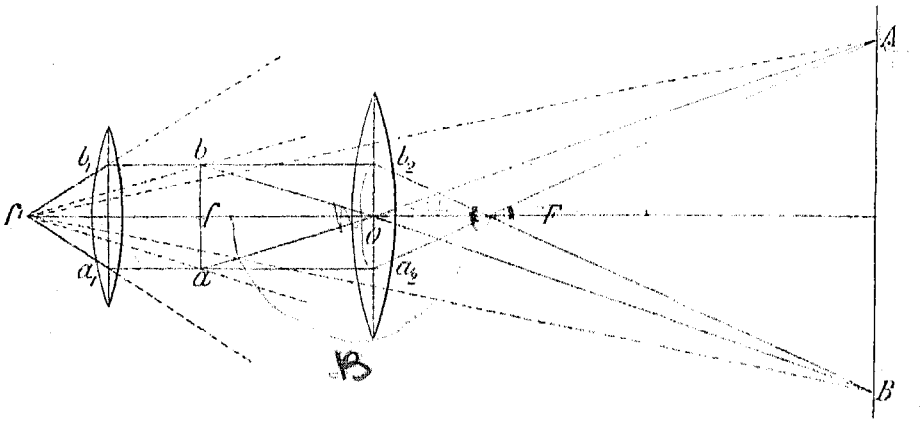
Для измѣренія линіи, помощью дальномѣра, ставятъ, обыкновенно, въ одномъ концѣ ея дальномѣръ, а въ другомъ рейку.

Положимъ, что въ одномъ концѣ данной линіи поставлена рейка, а въ другомъ инструментъ, имѣющій дальномѣръ, такъ что центръ лимба инструмента находится надъ данной точкой. Приведемъ визирную ось въ положеніе горизонтальное.

Пусть O — центръ объектива (черт. 257), фокусное разстояніе его F, разстояніе отъ внѣшняго фокуса объектива до рейки, стоящей въ B, назовемъ d.

Лучи, идущіе отъ точекъ A и B рейки и проходящіе черезъ центръ объектива, пойдутъ, не преломляясь; лучи, идущіе отъ тѣхъ же точекъ и проходящіе чрезъ внѣшній фокусъ объектива, упавъ на стекло, преломятся и пойдутъ параллельно главной оси. Такимъ

образомъ, точка b будетъ изображеніемъ точки B; a—изображеніемъ точки A. Если точки a и b находятся на крайнихъ горизонтальныхъ нитяхъ, натянутыхъ въ трубѣ, то, смотря на эти нити, увидимъ между ними часть рейки AB. Часть рейки, видимую между крайними волосками, обозначимъ буквою g, разстояніе между крайними горизонтальными нитями чрезъ n, слѣдовательно, $ab = a_2b_2 = n$.



Черт. 257.

Треугольники b_2Fa_2 и FAB подобны. Въ подобныхъ же треугольникахъ основанія относятся, какъ высоты, слѣдовательно:

$$\frac{F}{a_2b_2} = \frac{d}{AB} .$$

Откуда

$$d = \frac{F}{n} g .$$

Чтобы получить разстояніе до рейки отъ центральной точки дальномѣра, находящейся по направленію вертикальной оси вращенія инструмента, необходимо къ обѣимъ частямъ написаннаго уравненія прибавить разстояніе отъ центра инструмента до внѣшняго фокуса объектива, которое назовемъ чрезъ B. Разстояніе отъ центра инструмента удобнѣе брать, потому что середина инструмента всегда устанавливается надъ точкой, отъ которой опредѣляется разстояніе до рейки. Разстояніе это означимъ буквою D, тогда:

$$D = \frac{F}{n} g + B .$$

Назвавъ $\frac{F}{n}$ буквою A, формулу напишемъ такъ:

$$D = Ag + B \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Величина A есть число отвлеченное, такъ какъ оно равно отношенію двухъ линейныхъ величинъ F и n. Разстояніе между волосками n можно взять такимъ, чтобы $\frac{F}{n}$ равнялась числу 100. Величина B около $1^1/_2$ фута. *Если пренебречь малою величиною B, то можно сказать, что разстояніе отъ центра инструмента до рейки пропорціонально части g, усматриваемой между волосками a и b.*

Чѣмъ дальше рейка отъ инструмента, тѣмъ g больше, и обратно, чѣмъ меньше удалена рейка отъ инструмента, тѣмъ g меньше.

Числа A и B въ формулѣ (1) называются *коэффиціентами дальномѣра*. Для разныхъ дальномѣровъ коэффиціенты эти могутъ быть величинами различными. Но, во всякомъ случѣ, зная A и B, всегда можно опредѣлять горизонтальныя разстоянія. *Необходимо только прочесть показаніе крайнихъ волосковъ на рейкѣ, вычесть одно изъ другого, полученную разность умножить на 1-й коэффиціентъ дальномѣра и къ произведенію прибавить 2-й коэффиціентъ.* Правило это имѣетъ мѣсто лишь при горизонтальномъ положеніи визирной оси, такъ какъ на чертежѣ 257 визирная ось взята горизонтальною.

199. Опредѣленіе коэффиціентовъ дальномѣра. Опредѣленіе коэффиціентовъ A и B дѣлается слѣдующимъ образомъ: на мѣстности, подходящей, какъ можно ближе, къ горизонтальной плоскости, устанавливаютъ инструментъ горизонтально (§ 96). Визирную ось трубы ставятъ тоже горизонтально. Въ нѣкоторомъ разстояніи отъ инструмента, саженяхъ отъ 50 до 100, ставятъ отвѣсно рейку. Визируютъ на нее въ трубу и читаютъ показанія крайнихъ волосковъ. Переносятъ рейку въ другое мѣсто и, точно также визируя на нее въ трубу, читаютъ показанія крайнихъ волосковъ. Положимъ, что разность чтеній на горизонтальныхъ волоскахъ въ 1-мъ случаѣ—g_1, а во 2-мъ—g_2.

Измѣряютъ самымъ тщательнымъ образомъ разстоянія отъ центра инструмента до мѣстъ, гдѣ стояла рейка, по нѣсколько разъ цѣпью или лентою, и изъ нѣсколькихъ измѣреній берутъ среднюю ариѳметическую. Пусть эти среднія ариѳметическія равны D_1 и D_2, тогда, на основаніи выведенной формулы, можемъ написать:

$$D_1 = Ag_1 + B, \quad D_2 = Ag_2 + B,$$

и, рѣшая эти уравненія относительно A и B, найдемъ:

$$A = \frac{D_1 - D_2}{g_1 - g_2} \text{ и } B = \frac{D_2 g_1 - D_1 g_2}{g_1 - g_2}.$$

Такъ какъ g_1 и g_2 прочтены между волосками, а D_2 и D_1 измѣрены цѣпью или лентою, то онѣ величины извѣстныя, поэтому для A и B получатся, по выше выведеннымъ формуламъ, вполнѣ опредѣленныя величины.

Въ практическомъ отношеніи очень важно, чтобы коэффиціентъ A дальномѣра былъ числомъ цѣлымъ, даже лучше, если $A = 100$. Такъ какъ $A = \frac{F}{n}$, то для того, чтобы A равнялась 100, надо n взять равнымъ $\frac{F}{100}$. Коэффиціентъ B не болѣе $1^1/_2$ фута, или 0,20 саж., поэтому безъ большой погрѣшности имъ можно пренебрегать, если съемка дѣлается не въ крупномъ масштабѣ. Напр., если масштабъ съемки 50 саженъ въ одномъ дюймѣ, то ошибку въ измѣреніи линіи можно считать при этомъ масштабѣ равною 0,25 сажени. Если масштабъ еще крупнѣе, то ошибка еще больше, а потому при такихъ масштабахъ, отбрасывая B, равное около 0,20 сажени, мы не выйдемъ изъ предѣловъ возможной ошибки въ разстояніи.

200. Опредѣленіе дальномѣромъ горизонтальнаго разстоянія, когда визирная ось наклонна. Замѣтимъ сначала слѣдующее: если уголъ (черт. 257) AFB назовемъ чрезъ δ, то изъ треугольника ABF, можемъ написать:

$$\frac{g}{2} = O\,tg\,\frac{\delta}{2},$$

или

$$D = \frac{g}{2\,tg\,\frac{\delta}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Но въ то же время

$$D = Ag.$$

Поэтому, исключая D и g изъ этихъ двухъ уравненій, найдемъ:

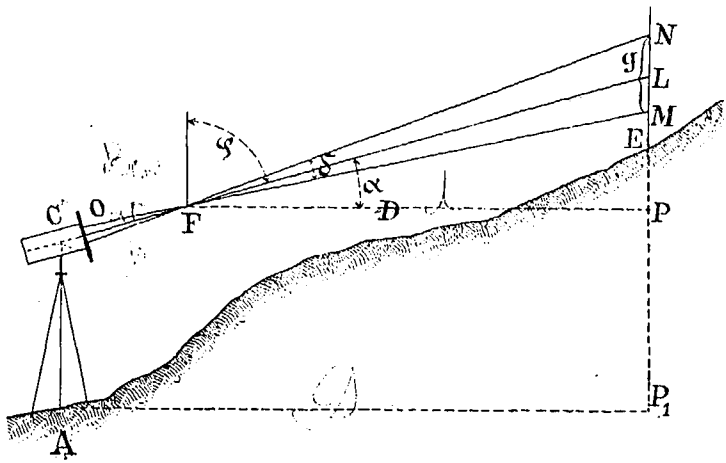
$$tg\,\frac{\delta}{2} = \frac{1}{2A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

На какомъ бы разстояніи рейка ни отстояла отъ инструмента, всегда получимъ ту же самую формулу, и такъ какъ A есть величина постоянная для одного и того же инструмента, то уголъ δ есть

тоже величина постоянная, что, впрочемъ, видно и изъ чертежа, гдѣ треугольникъ Fa_2b_2 не измѣняется съ измѣненіемъ разстоянія до рейки.

Такъ какъ горизонтальное разстояніе можетъ быть найдено при помощи величины δ (1), то поэтому уголъ δ называется *діастомометрическимъ*.

Формула $D = Ag + B$ даетъ возможность находить горизонтальное разстояніе между инструментомъ и рейкою, когда оптическая ось горизонтальна: стоитъ только, какъ видѣли выше, число, прочтен-



Черт. 258.

ное на рейкѣ между крайними волосками, умножить на число A, дѣлаемое равнымъ 100, и прибавить коэффиціентъ B.

Опредѣлимъ теперь горизонтальное разстояніе между центромъ инструмента и рейкою въ томъ случаѣ, когда, при визированіи на рейку, оптическая ось занимаетъ наклонное положеніе (черт. 258), что имѣетъ мѣсто, когда точки, между которыми желаютъ опредѣлить разстояніе, имѣютъ разность высотъ, настолько значительную, что, при визированіи на рейку трубой, горизонтально установленной, рейка въ трубѣ не видна.

Положимъ, что оптическая ось OL составляетъ съ горизонтальною линіею уголъ α, средняя нить сѣтки покрываетъ на рейкѣ точку L, крайнія нити покрываютъ точки N и M; часть рейки NM назовемъ чрезъ g, діастамометрическій уголъ, — δ, горизонтальное разстояніе FP между подошвой рейки и внѣшнимъ фокусомъ трубы назовемъ буквою D.

Тогда изъ прямоугольныхъ треугольниковъ NPF и MPF, получимъ:

$$MP = D\,tg\left(\alpha - \frac{\delta}{2}\right).$$

$$NP = D\,tg\left(\alpha + \frac{\delta}{2}\right).$$

Вычитая верхнее равенство изъ нижняго, найдемъ:

$$g = D\left\{tg\left(\alpha + \frac{\delta}{2}\right) - tg\left(\alpha - \frac{\delta}{2}\right)\right\}.$$

Преобразуемъ величину, стоящую въ скобкахъ:

$$tg\left(\alpha + \frac{\alpha}{2}\right) - tg\left(\alpha - \frac{\delta}{2}\right) = \frac{tg\,\alpha + tg\,\frac{\delta}{2}}{1 - tg\,\alpha\,tg\,\frac{\delta}{2}} - \frac{tg\,\alpha - tg\,\frac{\delta}{2}}{1 + tg\,\alpha\,tg\,\frac{\delta}{2}} =$$

$$= \frac{tg\,\alpha + tg\,\frac{\delta}{2} + tg^2\alpha\,tg\,\frac{\delta}{2} + tg\,\alpha\,tg^2\frac{\delta}{2}}{1 - tg^2\,\alpha\,tg^2\frac{\delta}{2}} +$$

$$+ \frac{-tg\,\alpha + tg\,\frac{\delta}{2} + tg^2\alpha\,tg\,\frac{\delta}{2} - tg\,\alpha\,tg^2\,\frac{\delta}{2}}{1 - tg^2\,\alpha\,tg^2\,\frac{\delta}{2}} =$$

$$= \frac{2\,tg\,\frac{\delta}{2}\,(1 + tg^2\,\alpha)}{1 - tg^2\,\alpha\,tg^2\frac{\delta}{2}},$$

слѣдовательно:

$$g = \frac{2D\,tg\,\frac{\delta}{2}\,(1 + tg^2\,\alpha)}{1 - tg^2\,\alpha\,tg^2\,\frac{\delta}{2}}.$$

Изъ этого уравненія, при помощи формулы $tg\,\frac{\delta}{2} = \frac{1}{2A}$ (формула 2), исключимъ $tg\,\frac{\delta}{2}$ и получимъ:

$$g = \frac{D\,\frac{1}{A}\,(1 + tg^2\,\alpha)}{1 - \frac{1}{4A^2}\,tg^2\,\alpha}.$$

Такъ какъ $1 + tg^2\alpha = \frac{1}{\cos^2\alpha}$, то умножая числителя и знаменателя на $A\cos^2\alpha$, найдемъ:

$$g = D \frac{1}{A\cos^2\alpha \cdot \frac{1}{4A}\sin^2\alpha}.$$

Откуда

$$D = Ag\cos^2\alpha - \frac{g}{4A}\sin^2\alpha \quad \ldots\ldots (3)$$

или

$$D = Ag\cos^2\alpha\left(1 - \frac{tg^2\alpha}{4A^2}\right) \quad \ldots\ldots (4)$$

Если уголъ, составленный визирною линіей съ вертикальной, назовемъ φ, то, очевидно, $\varphi = 90 - \alpha$, а слѣдовательно, также будемъ имѣть:

$$D = Ag\sin^2\varphi - \frac{g}{4A}\cos^2\varphi \quad \ldots\ldots (5)$$

или

$$D = Ag\sin^2\varphi\left(1 - \frac{cotg^2\varphi}{4A^2}\right) \quad \ldots\ldots (6)$$

Синусы малыхъ угловъ близки къ нулю, а потому, при малыхъ углахъ наклоненія, 2-й членъ формулъ (3) и (5) можно считать равнымъ нулю. Съ увеличеніемъ угла наклоненія величина 2-го члена увеличивается, и при самомъ большомъ углѣ наклоненія, при визированіи на рейку, — какимъ можно считать 45°, — величина этого члена обратится въ $\frac{g}{8A}$. Наибольшая величина написанной дроби будетъ при самой большой возможной величинѣ для g; а такъ какъ эта послѣдняя въ полной зависимости отъ длины рейки, не дѣлаемой никогда болѣе 2 саженъ, то наибольшее значеніе величины $\frac{g}{8A}$ равно $\frac{2}{800}$ саж., или $\frac{1}{400}$ саж., при разстояніяхъ близкихъ къ 200 саж. Во всѣхъ другихъ случаяхъ оно значительно меньше $\frac{1}{400}$ саж. Поэтому, по незначительности, $\frac{g}{4A}\cos^2\varphi$ можно отбросить, и формулу для опредѣленія горизонтальныхъ разстояній при наклонномъ положеніи визирной оси написать такъ:

$$D = Ag\cos^2\alpha,$$

или

$$D = Ag\sin^2\varphi.$$

Называя все разстояніе отъ центра инструмента до рейки (черт. 258), буквою D_1, можемъ сказать, что, при наклонномъ положеніи визирной оси трубы, оно выразится такъ:

$$D_1 = Ag\cos^2\alpha + B\cos\alpha,$$

или

$$D_1 = Ag\sin^2\varphi + B\sin\varphi,$$

потому что $CF = B$.

Такимъ образомъ, чтобы получить горизонтальное разстояніе между точками стоянія инструмента и рейки, надо установить горизонтально инструментъ (§ 96), направить трубу на рейку, установить трубу (§ 137), прочесть показанія на крайнихъ волоскахъ сѣтки по рейкѣ, вычтя одно показаніе изъ другого, найдемъ число g. Прочесть показаніе на вертикальномъ кругѣ. Это будетъ или уголъ наклоненія визирной оси, означенной буквой α, или зенитальное разстояніе визирной оси, означенное буквою φ. Зная величины коэффиціентовъ дальномѣра A и B, надо первый коэффиціентъ умножить на $g\cos^2\alpha$ и прибавить $B\cos\alpha$; *или* первый коэффиціентъ умножить на $g\sin^2\varphi$ и прибавить $B\sin\varphi$.

201. Величина разстоянія, опредѣляемаго дальномѣромъ. Разстоянія, опредѣляемыя дальномѣромъ, не могутъ быть произвольно большими. Посмотримъ же, какими они могутъ быть. Первый коэффиціентъ дальномѣра A, въ большинствѣ случаевъ, равенъ 100, очень рѣдко онъ бываетъ равнымъ 200. Длина рейки не дѣлается болѣе 2 саж., слѣдовательно, самое большое разстояніе, какое можно опредѣлять дальномѣромъ, въ 1-мъ случаѣ, равно 200 саженямъ, а во 2-мъ, равно 400 саж.

Если при коэффиціентѣ дальномѣра, равномъ 100, брать показаніе на рейкѣ не между крайними горизонтальными волосками, а между однимъ крайнимъ и среднимъ, то разстояніе, опредѣляемое такимъ дальномѣромъ, можетъ быть увеличено тоже до 400 саженъ.

Величина разстоянія, измѣряемая дальномѣромъ, находится также въ полной зависимости отъ увеличенія трубы. Если въ трубу можно хорошо различать дѣленія рейки, то такимъ дальномѣромъ можно опредѣлять большія разстоянія, нежели дальномѣромъ съ менѣе сильною трубою.

Вообще при топографическихъ работахъ 200 саженъ слѣдуетъ счи-

тать предѣломъ при опредѣленіи разстояній дальномѣромъ и только въ рѣдкихъ случаяхъ можно переходить за этотъ предѣлъ.

202. Объ ошибкахъ при измѣреніи разстояній дальномѣромъ. Здѣсь будемъ говорить не о грубыхъ ошибкахъ на нѣсколько дѣленій, а о тѣхъ ошибкахъ, какія вкрадываются, несмотря на всю тщательность работы.

Ошибки въ чтеніи по рейкѣ могутъ быть вслѣдствіе слабости трубы, или дальности разстоянія, или невертикальности рейки. Во всякомъ случаѣ, при разстояніи, не превосходящемъ двухсотъ саженъ и при положеніи рейки, близкомъ къ вертикальному положенію, ошибку эту можно считать доходящею до 0,01 сажени въ ту или другую сторону.

Если сдѣлана ошибка въ чтеніи на обоихъ волоскахъ, и при этомъ одинаковая и по величинѣ, и по знаку, то, очевидно, при вычитаніи одного показанія изъ другого, полученная разность между двумя невѣрными показаніями, невѣрными на одинаковую величину, не будетъ уже заключать ошибки, а дастъ точную величину разстоянія (§ 173).

Если ошибки, сдѣланныя въ чтеніи на крайнихъ волоскахъ, неодинаковы по величинѣ, но одинаковы по знаку, то разность чтеній будетъ ошибочна на величину разности ошибокъ, слѣдовательно,—въ нашемъ предположеніи, на величину меньшую 0,01 сажени.

Наконецъ, если ошибки, сдѣланныя въ чтеніи на крайнихъ волоскахъ, будутъ одинаковы, но разныхъ знаковъ, то максимумъ ошибки, въ разности чтеній по рейкѣ, можно считать равнымъ суммѣ ошибокъ т. е. 0,02 сажени.

При горизонтальномъ направленіи визирной оси разстояніе опредѣляется формулою:

$$D = Ag + B. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Если g опредѣлено безошибочно точно, то по этой формулѣ опредѣлится и D также точно. Если же, вмѣсто точной величины g, внести величину съ ошибкой, равной, напр., $\pm 0{,}02$, то и D получится съ ошибкой. Назовемъ эту ошибку въ D буквою Δ, тогда:

$$D \pm \Delta = A\,(g \pm 0{,}02) + B.$$

Вычтя изъ этого равенства (1), найдемъ:

$$\pm \Delta = \pm A \times 0{,}02 \text{ саж.} = 100 \times 0{,}02 \text{ саж.} = \pm 2 \text{ саж.}$$

Такую значительную ошибку можно сдѣлать при очень большихъ

разстояніяхъ, не менѣе 200 саж.,—когда въ трубѣ съ слабымъ увеличеніемъ волосокъ покрываетъ цѣлое дѣленіе рейки, и когда рейка удерживается не на треногѣ, а потому отступаетъ отъ отвѣснаго положенія.

Изъ практики выведено, что въ большинствѣ случаевъ ошибка при измѣреніи разстояній дальномѣромъ менѣе ошибки при измѣреніи цѣпью, въ особенности, при измѣреніи линій, пролегающихъ въ мѣстности, пересѣченной углубленіями и возвышенностями.

Измѣреніе разстояній дальномѣромъ, кромѣ того, производится скорѣй измѣренія цѣпью или лентою, а слѣдовательно, обходится дешевле.

203. Примѣчаніе о дальномѣрахъ. Есть, впрочемъ, дальномѣры для опредѣленія значительно бо́льшихъ разстояній, чѣмъ 200 саженъ, употребляемые для цѣлей военныхъ, — причемъ ошибки въ опредѣленіи разстояній доходятъ до $10^0/_0$ разстоянія. Вмѣсто реекъ, употребленіе которыхъ на полѣ сраженія неудобно, служитъ высота пѣхотнаго или каваллерійскаго строя, величина которыхъ должна быть извѣстна. Считаютъ въ такихъ случаяхъ, что пѣхотный строй имѣетъ высоту 1,8 метра, а конный 2,5 метра. На оправахъ трубъ такого рода дальномѣровъ нарѣзаны параллельныя линіи, и между ними помѣщены изображенія пѣшаго и коннаго солдата, линіи эти соотвѣтствуютъ дециметрамъ. Замѣтивъ, какія части тѣла солдата покрываютъ горизонтальные волоски, по фигурѣ, изображенной на оправѣ трубы, судятъ, какую величину въ дециметрахъ видятъ между волосками.

204. Дальномѣръ Порро. Этимъ дальномѣромъ разстояніе отъ центра инструмента до рейки опредѣляется формулою: $D = Ag$, когда ось визирная горизонтальна. Здѣсь g—число, прочтенное на рейкѣ между постоянными крайними волосками, A—постоянный коэффиціентъ, равный, напримѣръ, 100 или 200-мъ.

Чтобы возможно было опредѣлить разстояніе по указанной выше формулѣ, не прибавляя второго коэффиціента B, Порро устроилъ въ своемъ дальномѣрѣ объективную систему, изъ двухъ стеколъ (черт. 259). O—центръ 1-го стекла, фокусное разстояніе его F, рейка установлена отъ стекла O на разстояніи d. Лучи, падающіе на стекло O отъ точки M, идутъ такимъ образомъ: одинъ изъ нихъ, проходящій чрезъ внѣшній фокусъ F объектива, подойдя къ стеклу, преломится и пойдетъ параллельно оптической оси, другой пройдетъ чрезъ центръ стекла, не преломляясь, всѣ другіе лучи, подойдя къ стеклу, преломятся въ

немъ и пересѣкутся съ прежними двумя въ одной точкѣ b_1, одинъ изъ такихъ лучей проведенъ чрезъ точку F'_1. Точно такъ же построятся лучи, идущіе отъ точки N, они всѣ пересѣкутся въ точкѣ a_1. Изображеніе части рейки NM находилось бы въ a_1b_1, если бы не было помѣщено 2-го стекла O', фокусное разстояніе котораго F_1. Теперь же изображеніе это будетъ въ ab, такъ какъ лучи, проходящіе чрезъ фокусъ F_1, преломятся въ стеклѣ O' и пойдутъ параллельно оптической оси обоихъ стеколъ, всѣ же прочіе, преломившись, пойдутъ къ лѣвому фокусу стекла O', т. е. къ точкѣ f. Если разстояніе между крайними волосками сѣтки равно $ab = \alpha\beta$ и равно величинѣ постоянной n, то, установивъ сѣтку въ плоскости изображенія, увидимъ между волосками величину рейки, равную MN.

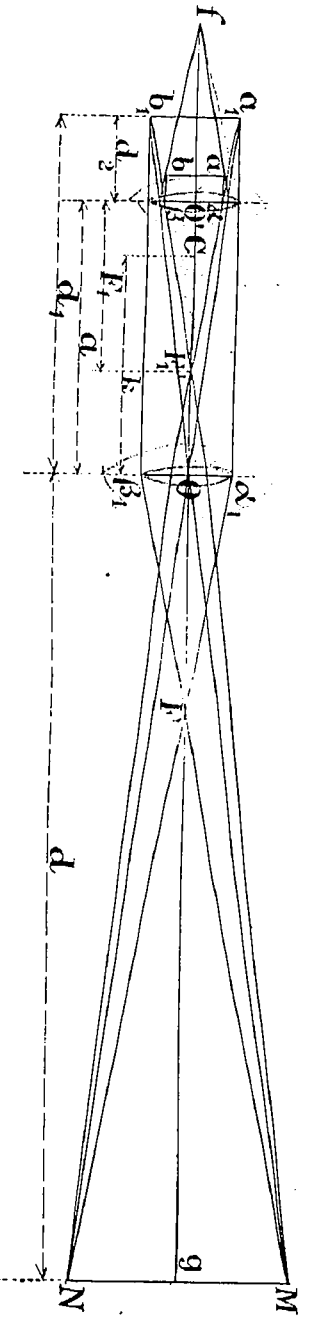
Назовемъ разстояніе между O и O' буквою a, разстояніе отъ O до центра инструмента буквою k, разстояніе отъ O' до a_1b_1 буквою d_2. Разстояніе отъ стекла O до a_1b_1 назовемъ d_1. На основаніи законовъ оптики (§ 109), а также изъ чертежа, гдѣ между прочимъ имѣемъ двѣ пары подобныхъ треугольниковъ a_1b_1O и MNO, $a_1b_1F'_1$ и $\alpha_1\beta_1F'_1$, можемъ написать слѣдующія четыре уравненія:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d_1}, \quad d_2 = d_1 - a,$$

$$\frac{d}{d_1} = \frac{f}{a_1b_1}, \quad \frac{d_2 + F_1}{F_1} = \frac{a_1b_1}{n}.$$

Исключивъ a_1b_1, изъ 3-го и 4-го уравненій умноженіемъ другъ на друга найдемъ:

$$\frac{d(d_2 + F_1)}{d_1F_1} = \frac{f}{n}.$$



Черт. 259.

Изъ полученнаго такимъ образомъ равенства исключимъ d_2, при помощи 2-го уравненія, и найдемъ:

$$\frac{d(d_1 - a + F_1)}{d_1 F_1} = \frac{g}{n}.$$

И, наконецъ, изъ этого равенства и перваго уравненія:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{d_1},$$

результатъ исключенія d_1 будетъ таковъ:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{gF_1 - nd}{nd(F_1 - a)},$$

откуда можно опредѣлить d:

$$d = \frac{FF_1}{n(F + F_1 - a)} g + \frac{F(F_1 - a)}{F + F_1 - a}.$$

Если C, точка пересѣченія визирной оси съ вертикальною осью вращенія инструмента, или, говоря кратко, центръ инструмента, то прибавивъ къ обѣимъ частямъ послѣдняго равенства по k, и $d + k$ назвавъ чрезъ D, для разстоянія отъ центра инструмента до рейки получимъ слѣдующую формулу:

$$D = \frac{FF_1}{n(F + F_1 - a)} g + \frac{F(F_1 - a)}{F + F_1 - a} + k.$$

Такъ какъ a, разстояніе между стеклами O и O' остается произвольнымъ въ довольно широкихъ предѣлахъ, то можно выбрать его такимъ, чтобы оно удовлетворяло слѣдующему уравненію:

$$\frac{F(F_1 - a)}{F + F_1 - a} + k = 0, \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

а тогда

$$D = \frac{FF_1}{n(F + F_1 - a)} g \ldots\ldots\ldots (2)$$

коэффиціентъ g будемъ обозначать буквой A и, слѣдовательно,

$$A = \frac{FF_1}{n(F + F_1 - a)} \ldots\ldots\ldots (3)$$

и

$$D = Ag \ldots\ldots\ldots (4)$$

Такъ какъ F, F_1 и k величины вполнѣ опредѣленныя, то для разстоянія a между стеклами O и O' найдется слѣдующее выраженіе изъ формулы (1):

$$a = \frac{FF_1 + k(F + F_1)}{F + k}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Если длина a въ точности равна величинѣ, вычисленной по этой формулѣ, то горизонтальное разстояніе между центромъ инструмента и рейкою равно величинѣ, усматриваемой въ трубѣ между волосками и умноженной на A. Величина A число отвлеченное, такъ какъ числитель и знаменатель формулы (3) величины одного измѣренія, именно 2-го измѣренія нѣкоторыхъ длинъ.

Въ дальномѣрахъ Порро второе стекло можетъ быть немного передвигаемо вдоль оси трубы при помощи особаго винта. Передвиженіемъ этимъ можно достигнуть того условія, чтобы A въ точности равнялось 100.

При наклонномъ положеніи визирной оси горизонтальное разстояніе отъ инструмента до подошвы рейки, при дальномѣрѣ Порро, на основаніи § 200-го выражается такъ:

$$D = Ag\ cos^2\alpha - \frac{g}{4A}\ sin^2\alpha = Ag\ cos^2\alpha\left(1 - \frac{tg^2\alpha}{4A^2}\right); \quad . \quad (6)$$

а по малости величины $\frac{g}{4A}\ sin^2\alpha$, формулу для горизонтальнаго разстоянія, можно считать такою:

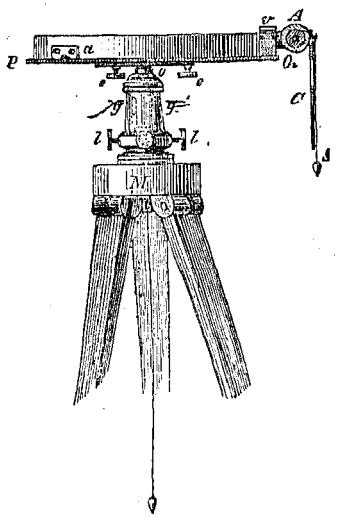
$$D = Ag\ cos^2\alpha, \text{ или } D = Ag\ sin^2\varphi.$$

Если $A = 100$, и рейка раздѣлена на сотыя части сажени или метра, тогда въ показаніи по рейкѣ, прочтенномъ между волосками въ тысячныхъ доляхъ, надо только запятую перенести и два знака направо, полученная величина, при горизонтальномъ положеніи, дастъ разстояніе отъ центра инструмента до рейки. Напр., если $g = 0{,}865$ саж., то разстояніе равно 86,5 сажени. При наклонномъ положеніи визирной оси, эту величину надо еще умножить на квадратъ косинуса угла наклоненія или на квадратъ синуса зенитальнаго разстоянія точки, на которую направленъ средній волосокъ трубы.

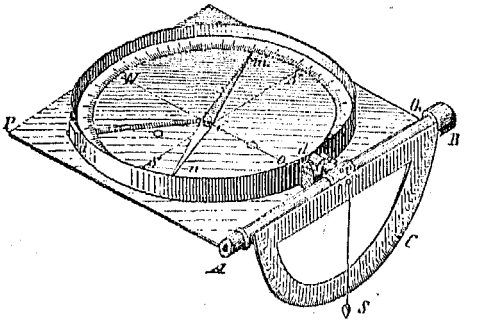
Глава XVIII.

О ВЫСОТОМѢРАХЪ И ТОПОГРАФИЧЕСКОМЪ НИВЕЛЛИРОВАНІИ.

205. Общее описаніе высотомѣра. Если угломѣрный инструментъ имѣетъ вертикальный кругъ, то его называютъ *высотомѣромъ*, будетъ ли то пантометръ, или теодолитъ, или другой какой-либо подобный инструментъ. Напр., буссоль, изображенная на чертежахъ 260-мъ



Черт. 260.

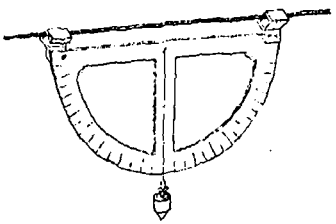


Черт. 261.

и 261-мъ, тоже представляетъ собою высотомѣръ, такъ какъ при помощи ея можно мѣрить не только азимуты, но и углы вертикальные.

Для того, чтобы можно было мѣрить углы вертикальные при помощи этого инструмента, къ кольцу буссоли придѣлана горизонтальная ось вращенія v трубы AB, а съ трубою неразрывно соединенъ мѣдный полукругъ C, въ центрѣ котораго повѣшенъ отвѣсъ s. Полукругъ въ видѣ транспортира, раздѣленаго на градусы. Для измѣренія угловъ, инструментъ этотъ устанавливаютъ на треножникѣ (черт. 260), на столикъ M котораго навинчивается бакса gg', имѣющая внизу четыре подъемныхъ винта $l_1 l_4$, а въ верхней части у O кружокъ, привинчиваемый тремя винтами $b\,b$ къ нижней квадратной плоскости буссоли PQ. Когда подъемными винтами буссоль приведена по магнитной стрѣлкѣ (§ 170) въ горизонтальное положеніе, тогда труба, при вращеніи около ея оси, будетъ описывать плоскость отвѣсную. Для того, чтобы

можно было вѣрно измѣрять углы наклоненія къ горизонту, нить отвѣса должна покрывать нуль вертикальнаго круга при горизонтальномъ положеніи визирной оси. Такъ что, если это условіе соблюдено, и, послѣ установки инструмента (§ 96 и 137), центръ сѣтки направленъ на какую-либо точку или дѣленіе рейки, то число градусовъ, прочтенное у нити отвѣса на вертикальномъ секторѣ, выразитъ собою уголъ наклоненія визирной оси къ горизонту. Труба такого высотомѣра можетъ имѣть и дальномѣръ.



Черт. 262.

Чертежъ 262-й представляетъ собою *наипростѣйшій высотомѣръ*, называемый *квадрантомъ*. При измѣреніи угла наклоненія, инструментъ этотъ держатъ въ рукѣ такъ, чтобы полукругъ прикасался къ нити отвѣса, визируютъ же при помощи линеечки, придѣланной къ верхней части полукруга по направленію его діаметра. Квадранты устраиваются очень разнообразно. Къ числу ихъ принадлежитъ, иногда употребляемый, высотомѣръ Шмалькадера, имѣющій такой же видъ, какъ и буссоль Шмалькадера (черт. 267), но только вмѣсто магнитной стрѣлки съ кружкомъ въ немъ на оси, находящейся въ центрѣ, можетъ вращаться тяжелый секторъ, имѣющій градусныя дѣленія.

206. Опредѣленіе разности высотъ точекъ помощью высотомѣра. Положимъ сначала, что труба высотомѣра имѣетъ одинъ изъ описанныхъ выше дальномѣровъ. Поставимъ въ одной точкѣ земной *поверхности* высотомѣръ, а въ другой точкѣ отвѣсно рейку. Напримѣръ (черт. 263), въ точкѣ A высотомѣръ, а въ точкѣ B или B_1 рейку; установимъ инструментъ горизонтально по уровню и направимъ визирную ось трубы на рейку, такъ что на ней прочтемъ на горизонтальномъ волоскѣ трубы нѣкоторое дѣленіе у точки L или у точки L_1. На вертикальномъ кругѣ прочтемъ у нуля нониуса уголъ α, слѣдовательно, линія CP на чертежѣ линія горизонтальная. Назвавъ катетъ прямоугольнаго треугольника LP буквою i, горизонтальное разстояніе CP буквою D, число, прочтенное на рейкѣ между крайними волосками трубы, буквою g; и если труба высотомѣра имѣетъ дальномѣръ Рейхенбаха найдемъ:

$$D = Ag\cos^2\alpha + B\cos\alpha \quad \text{и} \quad i = D\,tg\,\alpha.$$

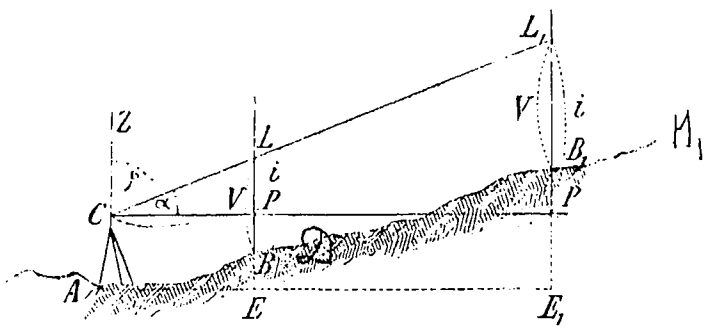
Если труба высотомѣра имѣетъ дальномѣръ Порро, формулы для D и i будутъ таковы:

$$D = Ag\cos^2\alpha$$

и

$$i = A\frac{1}{2}tg\,\alpha \quad =$$

Величины BL и B_1L_1 читаются по рейкѣ на среднемъ волоскѣ, слѣдова-



Черт. 263.

тельно, онѣ величины извѣстныя; будемъ ихъ называть для краткости буквою V, а потому изъ чертежа 263-го можно написать равенства:

$$PB_1 = PL_1 - L_1B_1 = i - V$$

и

$$PB = BL - LP = V - i,$$

откуда опредѣлится PB_1 либо PB.

Высота инструмента CA извѣстна, ее для краткости назовемъ буквою J, если AEE_1 линія горизонтальная, то повышеніе точки B_1 надъ A выразится такой формулой:

$$B_1E_1 = J + (i - V).$$

Точно также повышеніе точки B надъ A выразится такъ:

$$BE = J + (V - i) = J + (i - V).$$

Вертикальное разстояніе отъ какой либо точки земной поверхности до поверхности моря называется *отмѣткой точки относительно уровня моря*. Вертикальное разстояніе отъ точки земной поверхности до какой либо произвольной горизонтальной плоскости называется *условною отмѣткою*.

Если извѣстна отмѣтка точки земной *поверхности и высота инструмента* въ этой точкѣ, то извѣстна *отмѣтка* оптической оси при горизонтальномъ ея положеніи. Точка, въ которой находилась рейка, можетъ быть выше или ниже горизонтальной оптической оси; зная, на сколько эта точка выше или ниже горизонтальной оптической оси, будемъ знать отмѣтку точки, въ которой находилась рейка.

Если отмѣтку точки A назовемъ буквою H, а точки B стоянія рейки буквою H_1, то:

$$H_1 = H + J + (i - V)$$

т. е. *когда труба направлена вверхъ, то отмѣтка точки стоянія рейки равна отмѣткѣ точки, въ которой находится высотомѣръ, сложенной съ высотой оси вращенія трубы надъ этой точкой, плюсъ разность между числомъ i, равнымъ $D\,tg\,\alpha$, и показаніемъ горизонтальнаго волоска на рейкѣ.*

Подобнымъ же образомъ, если приходится визировать на рейку не вверхъ, а внизъ, то, какъ видно изъ чертежа 264-го, формула для опредѣленія отмѣтки точки стоянія рейки найдется такимъ образомъ:

$$EA + J = i + V,$$

но

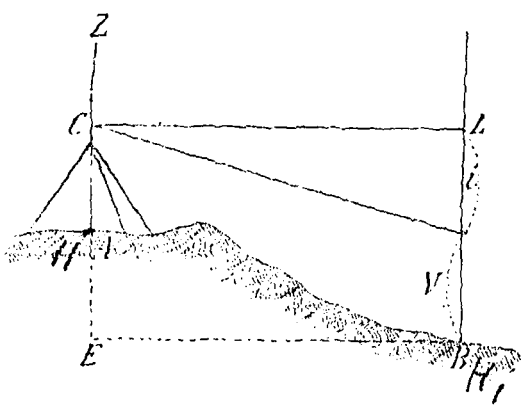
$$EA = H - H_1,$$

слѣдовательно,

$$H - H_1 + J = i + V,$$

откуда

$$H_1 = H + J - (i + V)$$



Черт. 264.

т. е. *когда труба направлена внизъ, то отмѣтка точки стоянія рейки равна отмѣткѣ точки, въ которой находится высотомѣръ, сложенной съ высотою инструмента безъ суммы показанія средняго волоска трубы на рейкѣ и числа i равнаго $D\,tg\,\alpha$.*

Опредѣленіе отмѣтокъ точекъ высотомѣрами называется *топографическимъ нивеллированіемъ.*

207. Ошибки въ высотахъ, опредѣленныхъ высотомѣромъ-дальномѣромъ. Въ формулахъ предыдущаго параграфа величина V опредѣляется съ точностью до сотыхъ сажени. Опредѣленіе же величины $i = D\,tg\,\alpha$ зависитъ отъ вѣрнаго опредѣленія угла наклоненія визирной оси къ горизонту. Ошибка въ каждой изъ этихъ величинъ влечетъ за собою болѣе или менѣе значительную ошибку въ высотѣ.

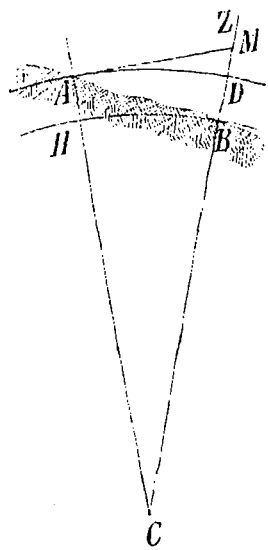
α°	i при вѣрно опредѣленномъ α	i при α опредѣленномъ съ точностью до				
		10′	20′	30′	40′	50′
1°	1,74 с.	2,00	2,32	2,61	2,91	3,20
5°	8,74 —	9,04	9,33	9,62	9,92	10,21
10°	17,63 —	17,93	18,33	18,53	18,83	19,13
15°	26,79 —	27,10	27,41	27,73	28,04	28,36
20°	36,39 —	36,72	37,05	37,38	37,72	38,05

Приведенная выше табличка показываетъ, какъ растутъ ошибки въ опредѣленіи i, при точности измѣренія угла наклоненія въ 10, 20, 30, 40, 50 минутъ и при горизонтальномъ разстояніи D, равномъ 100 саж. Изъ этой таблицы видно, что ошибка въ опредѣленіи i при ошибкѣ угла α въ 10′, въ среднемъ, равна 0,3 сажени. Это при горизонтальномъ разстояніи между инструментомъ и рейкой, равномъ 100 саженямъ. При разстояніи вдвое большемъ, ошибка эта вдвое больше и т. д., словомъ, ошибка пропорціональна разстоянію D.

Съ увеличеніемъ ошибки въ углѣ α, ошибка въ величинѣ i сильно увеличивается. Поэтому, когда угломѣрный инструментъ употребляется какъ высотомѣръ, необходимо обращать большое вниманіе на то, совпадалъ-ли нуль нонiуса съ нулемъ вертикальнаго круга или сектора при горизонтальномъ положеніи визирной оси. Если условіе это выполнено, то высоты опредѣлятся съ точностью, зависящею отъ точности нонiуса вертикальнаго круга и отъ увеличенія трубы.

208. Ошибка въ разности высотъ двухъ точекъ, зависящая отъ сферичности земли. Кромѣ указанныхъ выше ошибокъ, зависящихъ отъ силы трубы и отъ ошибокъ высотомѣра, при опредѣленіи высоты по изложеннымъ выше способамъ вкрадываются еще ошибки, независимыя отъ инструмента.

Пусть A и B двѣ точки земной поверхности (черт. 265), C центръ земли, AD и BB, шаровыя поверхности, описанныя радіусами AC и BC. Всѣ точки, находящіяся на каждой изъ нихъ, называются *точками одного уровня*, а самыя поверхности—поверхностями уровней данныхъ точекъ. Разность радіусовъ AC и CB, равная BD, представляетъ собою *разность уровней точекъ A и B, или разность ихъ высотъ*.



Черт. 265.

Опредѣленіе разности высотъ точекъ можетъ быть достигнуто посредственнымъ измѣреніемъ линіи BD. Такъ какъ нѣтъ возможности визировать по направленію дуги, сливающейся съ дугою большого круга земного шара, а приходится визировать по линіи горизонтальной, то, вслѣдствіе этого, вводится нѣкоторая ошибка въ разности уровней двухъ точекъ. Посмотримъ же, какъ велика эта ошибка. Если по направленію MB будетъ поставлена отвѣсно въ B рейка, и на ней замѣчена точка M,—пересѣченіе рейки съ горизонтальною линіею, идущею отъ глаза наблюдателя, расположеннаго въ точкѣ A,—то величина BM не выразитъ еще разности уровней данныхъ точекъ. Для полученія этой разности отъ длины MB надо отнять величину MD, называемую, обыкновенно, *поправкою отъ сферичности земли*.

Опредѣлимъ величину этой ошибки. MD представляетъ собой внѣшнюю часть сѣкущей, AM касательную. Касательная же есть средняя пропорціональная величина между всею сѣкущею и внѣшнимъ ея отрѣзкомъ; слѣдовательно, можно написать такую пропорцію:

$$(2DC + MD) : AM = AM : DM;$$

обозначивъ для краткости AM буквой h, DC буквой R и MD буквой m, получимъ:

$$(2R + m) : h = h : m,$$

откуда

$$2Rm + m^2 = h^2,$$

или $$m = \frac{h^2 - m^2}{2R} = \frac{h^2}{2R} - \frac{m^2}{2R}.$$

Такъ какъ R равно 6000 верстъ (§ 3), а m—величина, выражающаяся въ доляхъ сажени, то по незначительности величины $\frac{m^2}{2R}$, ее можно отбросить, и тогда найдемъ:

$$m = \frac{h^2}{2R}.$$

Касательную h, почти безъ всякой погрѣшности, можно принять равною длинѣ хорды AD, или горизонтальному проложенію данной линіи AB, которую, для краткости, обозначимъ чрезъ D, тогда окончательно найдемъ:

$$m = \frac{D^2}{2R};$$

формула эта указываетъ, что *поправка отъ сферическаго вида земли пропорціональна квадрату разстоянія отъ наблюдателя до рейки.*

Такъ что, если $D = 200$ саж., то

$$m = \frac{40000}{12000.500} = \frac{1}{150} = 0{,}007 \text{ саж.},$$

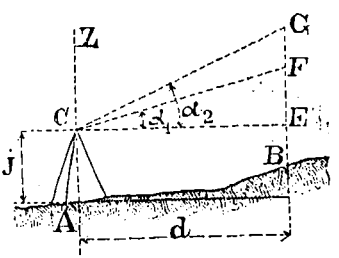
т. е. ошибка отъ сферичности на 200 саженяхъ равна около 7-ми тысячныхъ саж. Ошибку эту надо отнимать отъ показанія, противнаго по рейкѣ. При выводѣ формулы для этой ошибки высота инструмента предполагалась равной нулю, такъ какъ она мала сравнительно съ радіусомъ земли. Но выводъ былъ бы такимъ же, если бы на чертежѣ была назначена и высота инструмента.

209. Поправка въ разности высотъ двухъ точекъ, зависящая отъ преломленія свѣта въ атмосферѣ, или отъ рефракціи. Извѣстно также, что лучи, идущіе отъ земныхъ предметовъ, переходя изъ болѣе плотныхъ слоевъ воздуха въ менѣе плотные, преломляются и идутъ къ глазу наблюдателя не прямолинейно, а по нѣкоторой кривой, поэтому наблюдатель усматриваетъ предметы повышенными сравнительно съ ихъ дѣйствительнымъ положеніемъ. Въ разсматриваемомъ случаѣ наблюдатель увидитъ по направленію линіи AM нѣкоторую точку рейки, расположенную ниже точки M (черт. 265). Происходящая отъ этого погрѣшность называется *погрѣшностью отъ рефракціи.*

Изъ этого видно, что отмѣтки точекъ опредѣленныя топографическимъ нивеллированіемъ, всегда будутъ заключать неправильности зави-

сящія не только отъ ошибокъ инструментальныхъ и отъ ошибокъ наблюденія, но и сверхъ того еще отъ ошибокъ сферичности земли и рефракціи. *Но для ускоренія работы, обыкновенно, исправленій за всѣ эти ошибки не дѣлаютъ; вслѣдствіе чего способъ топографическаго нивеллированія нельзя считать способомъ точнымъ.*

210. Опредѣленіе горизонтальнаго разстоянія при помощи высотомѣра, труба котораго не имѣетъ дальномѣра. Если труба высотомѣра не имѣетъ дальномѣра, то и такимъ высотомѣромъ можно опредѣлить горизонтальное разстояніе между точками стоянія высотомѣра и рейки. Дѣйствительно, если въ одной точкѣ A (черт. 266) поставить вывѣренный высотомѣръ, а въ другой точкѣ B поставить рейку и установить горизонтальный лимбъ высотомѣра надлежащимъ образомъ въ горизонтальномъ положеніи, то, когда нуль нонiуса совпадетъ съ нулемъ вертикальнаго круга или сектора, визирная ось трубы будетъ горизонтальна. Если затѣмъ поднять или опустить трубу на нѣкоторый уголъ и сдѣлать отсчетъ на вертикальномъ кругѣ α_1, а также прочесть на горизонтальномъ волоскѣ по рейкѣ отсчетъ $BF = V_1$ и, точно такъ же во 2-й разъ поднявъ трубу на нѣкоторый другой уголъ, сдѣлать отсчеты на вертикальномъ кругѣ α_2, а на рейкѣ чтеніе $BG = V_2$, то будемъ имѣть всѣ данныя для опредѣленія горизонтальнаго разстоянія D между проекціей центра инструмента и проекціею подошвы рейки. Дѣйствительно, изъ треугольниковъ GEC и FEC можемъ написать:



Черт. 266.

$$EG = D\,tg\,\alpha_2,$$

$$EF = D\,tg\,\alpha_1,$$

вычитая второе равенство изъ перваго, найдемъ:

$$EG - EF = D\,[tg\,\alpha_2 - tg\,\alpha_1],$$

но

$$EG - EF = GF = BG - BF = V_2 - V_1,$$

слѣдовательно,

$$D = \frac{V_2 - V_1}{tg\,\alpha_2 - tg\,\alpha_1}.$$

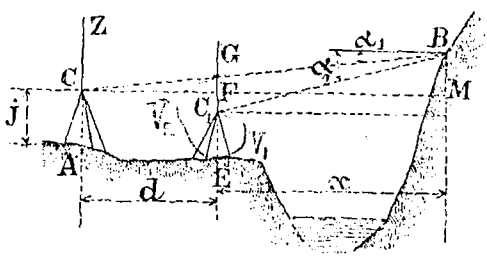
Такимъ образомъ, изъ этой формулы видимъ, что разстояніе отъ высотомѣра до рейки легко можетъ быть найдено, если извѣстны два вертикальныхъ угла и соотвѣтствующія имъ чтенія по рейкѣ на горизонтальномъ волоскѣ, стоитъ только *разность чтеній на рейкѣ раздѣлить на разность тангенсовъ вертикальныхъ угловъ*; полученное частное выразитъ горизонтальное разстояніе въ тѣхъ единицахъ мѣры, въ какихъ сдѣланы чтенія по рейкѣ. Если на вертикальномъ кругѣ высотомѣра имѣются надписи тангенсовъ угловъ, то вычисленіе можетъ быть произведено безъ всякихъ таблицъ, если же тангенсы не подписаны на вертикальномъ кругѣ, то надо взять ихъ изъ таблицъ.

Ошибка въ опредѣленномъ, по указанной формулѣ, горизонтальномъ разстояніи зависитъ отъ ошибокъ въ чтеніи по рейкѣ величинъ V_1 и V_2, а также отъ ошибокъ въ чтеніи угловъ α_1 и α_2. Ошибки въ углахъ α_1 и α_2, при вѣрномъ инструментѣ, не могутъ быть больше точности нонiуса алидады вертикальнаго круга, а потому ошибка въ каждомъ изъ тангенсовъ будетъ ничтожная. Если же въ инструментѣ визирная ось негоризонтальна при совпаденіи нулей нонiусовъ вертикальнаго круга и его алидады, то ошибка можетъ быть, и довольно значительна въ каждомъ изъ тангенсовъ; но такъ какъ въ знаменатель входитъ разность, то эта разность хотя и составлена изъ двухъ невѣрныхъ величинъ, но ошибки въ ней или совершенно не окажется въ случаѣ равныхъ ошибокъ въ каждомъ изъ тангенсовъ или она будетъ равна разности ошибокъ въ каждомъ изъ тангенсовъ (§ 154).

Изъ всего этого видно, что ошибку въ знаменателѣ можно сдѣлать насколько возможно малою. Что касается числителя изслѣдуемой формулы, выражающагося разностью $V_2 - V_1$, то ошибки въ этой разности можетъ совсѣмъ не имѣться, если ошибки въ каждомъ изъ чтеній по рейкѣ будутъ равны между собою и одного знака; если же ошибки въ чтеніяхъ по рейкѣ равны между собой или не равны, но объ разныхъ знаковъ, то разность $V_2 - V_1$ будетъ содержать сумму этихъ ошибокъ. А послѣ дѣленія этой разности на разность тангенсовъ или на разность двухъ дробей, т. е. послѣ дѣленія $V_2 - V_1$ на величину малую, ошибка въ D возрастетъ въ значительной степени. А потому, вообще говоря, изложенный способъ опредѣленія горизонтальнаго разстоянія нельзя считать дающимъ большую точность.

211. Опредѣленіе при помощи высотомѣра разстоянія до неприступнаго предмета. Если въ точкѣ, до которой надо измѣ-

рить разстояніе, нельзя поставить рейки, вслѣдствіе какихъ либо обстоятельствъ, то такую точку называютъ *неприступной*. Напр., если между точкой и высотомѣромъ находится рѣка, а для переѣзда черезъ рѣку нѣтъ на мѣстѣ средствъ, то для измѣренія разстоянія можно поступить такъ: установивъ надлежащимъ образомъ высотомѣръ въ точкѣ A (черт. 267), надо направить трубу такъ, чтобы пересѣченіе волосковъ покрыло точку B, до которой желаютъ опредѣлить горизонтальное разстояніе; прочесть показаніе на вертикальномъ кругѣ или на градусныхъ подписяхъ, или на подписяхъ, означающихъ тангенсы угловъ; затѣмъ по направленію визирной линіи надо поставить рейку въ такой точкѣ, чтобы можно было по ней сдѣлать чтеніе на горизонтальномъ волоскѣ трубы. Точку, въ которой стояла рейка, надо означить колышкомъ, забитымъ вровень съ землей. Положимъ,



Черт. 267.

чтеніе по рейкѣ будетъ $EG = V_2$, и прочтемъ показаніе вертикальнаго круга или сектора у нуля ноніуса, пусть этотъ отсчетъ равенъ α_1; поднимемъ трубу на другой какой либо уголъ напр. β_1, закрѣпимъ трубу и прочтемъ уголъ наклоненія на вертикальномъ лимбѣ и чтеніе по рейкѣ напр. V_1'; тогда разстояніе d отъ высотомѣра до рейки опредѣлится, на основаніи § 2(?) по формулѣ:

$$d = \frac{V_2' - V_2}{tg\,\beta_1 - tg\,\alpha_1}.$$

Послѣ этого высотомѣръ ставятъ надъ той точкою, гдѣ стояла рейка, и, установивъ его надлежащимъ образомъ, измѣряютъ высоту оси вращенія его трубы надъ точкою, гдѣ стояла рейка, пусть эта высота будетъ $EC_1 = V_0$; направивъ трубу такъ, чтобы центръ сѣтки покрылъ опять точку B, до которой желаютъ опредѣлить разстояніе, читаютъ показаніе на вертикальномъ кругѣ или секторѣ величину угла наклоненія визирной оси α_2, или тангенсъ этого угла, если тан-

генсы назначены на секторѣ. Такимъ образомъ, благодаря этимъ измѣреніямъ, оказываются извѣстными углы наклоненія къ горизонту двухъ линій BG и BC_1, хотя въ точкѣ B не былъ установленъ высотомѣръ; углы эти α_1 и α_2, а также извѣстны два чтенія V_1 и V_2 по рейкѣ, стоящей въ E; на этомъ основаніи, для горизонтальнаго разстоянія x между точками E и B можемъ, на основаніи предыдущаго параграфа, написать:

$$x = \frac{V_2 - V_1}{tg\,\alpha_2 - tg\,\alpha_1}.$$

Такимъ образомъ, x можетъ быть найденнымъ; прибавляя же къ нему горизонтальное разстояніе d между точками A и E, найдемъ все разстояніе отъ неприступной точки B до инструмента въ его первомъ положеніи, т. е. до точки A. Это разстояніе будетъ таково:

$$D = d + \frac{V_2 - V_1}{tg\,\alpha_2 - tg\,\alpha_1}.$$

212. Опредѣленіе разности высотъ между приступной и неприступной точкою и точкою стоянія высотомѣра. Опредѣляя горизонтальное разстояніе отъ высотомѣра до нѣкоторой точки, можно вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣлить на сколько точка, до которой опредѣлялось разстояніе, выше или ниже точки, въ которой стоялъ высотомѣръ. Дѣйствительно, если точка доступна, то достаточно, измѣривъ высоту оси вращенія инструмента надъ точкою его стоянія, прочесть на рейкѣ показаніе горизонтальнаго волоска въ то время, когда нуль ноніуса совпадаетъ съ нулемъ вертикальнаго круга, т. е. при горизонтальномъ положеніи визирной оси, тогда разность найденныхъ величинъ выразитъ собою разность высотъ точекъ стоянія теодолита и рейки.

Эту же разность можно опредѣлить еще и иначе. Если труба высотомѣра имѣетъ дальномѣръ, то горизонтальное разстояніе между точками стоянія инструмента надо вычислять по правиламъ, изложеннымъ въ §§ 198 и 200-мъ; если же труба высотомѣра не имѣетъ дальномѣра, то горизонтальное разстояніе между точками стоянія высотомѣра и рейки надо вычислять по правилу § 210-го. Затѣмъ, когда опредѣлено горизонтальное разстояніе тѣмъ или другимъ способомъ, высота точки стоянія рейки надъ точкою стоянія инструмента найдется на основаніи правилъ, изложенныхъ § 206-мъ, т. е. по формуламъ:

$$H_1 = H + J + (i - V)$$

и $$H_1 = H + J - (i + V),$$

гдѣ $$i = D\,tg\,\alpha_1.$$

Чтобы опредѣлить, на сколько выше или ниже неприступная точка относительно оси вращенія высотомѣра (черт. 267), надо вычислить катетъ BM прямоугольнаго треугольника BCM, другой катетъ котораго равенъ горизонтальному разстоянію D, слѣдовательно, искомая величина окажется равной $D\,tg\,\alpha_1$. Зная, на сколько неприступная точка выше или ниже горизонтальной визирной оси трубы теодолита, можно найти, на сколько она выше или ниже точки, въ которой стоитъ теодолитъ, для этого надо только измѣрить высоту J оси вращенія трубы надъ точкою стоянія теодолита и найденную высоту прибавить къ $D\,tg\,\alpha_1$, т. е. разность высотъ точекъ B и A будетъ равна:

$$D\,tg\,\alpha_1 + J$$

Глава XIX.

ВЫЧИСЛЕНІЕ РАЗСТОЯНІЙ И ВЫСОТЪ ОПРЕДѢЛЯЕМЫХЪ ДАЛЬНОМѢРАМИ И ВЫСОТОМѢРАМИ.

213. Вспомогательныя таблицы, служащія для опредѣленія разстояній и высотъ. Выше было выведено, что горизонтальное разстояніе и одна изъ величинъ входящихъ въ высоту опредѣляются такими формулами:

$$D = A\,g\,cos^2\alpha + B\,cos\,\alpha = A\,g\,sin^2\varphi + B\,sin\,\varphi$$

$$i = D\,tg\,\alpha = D\,cotg\,\varphi.$$

Производить вычисленіе величинъ D и i можно съ точностью вполнѣ достаточною для топографическихъ цѣлей, по четырехъ-значнымъ таблицамъ логариѳмовъ. Но если производить вычисленія по таблицамъ логариѳмовъ въ полѣ было бы затруднительно, то можно употреблять болѣе облегченные способы вычисленія. Въ формулѣ:

$$D = A\,g\,cos^2\alpha + B\,cos\,\alpha$$

$B\,cos\,\alpha$ величина небольшая и всегда меньше величины B, не пре-

восходящей $1^1/_2$ фута, поэтому часто (§ 199) величиной $B\cos\alpha$ пренебрегаютъ и вычисляютъ лишь первый членъ написанной формулы.

Для вычисленія по формулѣ $D = Ag\cos^2\alpha$ служитъ слѣдующая табличка:

α^0	$\cos^2\alpha$	α^0	$\cos^2\alpha$	α^0	$\cos^2\alpha$	α^0	$\cos^2\alpha$
5°	0,99	10°	0,97	15°	0,93	20°	0,88
6°	0,99	11°	0,96	16°	0,92	21°	0,87
7°	0,99	12°	0,96	17°	0,91	22°	0,86
8°	0,98	13°	0,95	18°	0,90	23°	0,85
9°	0,98	14°	0,94	19°	0,89	24°	0,84

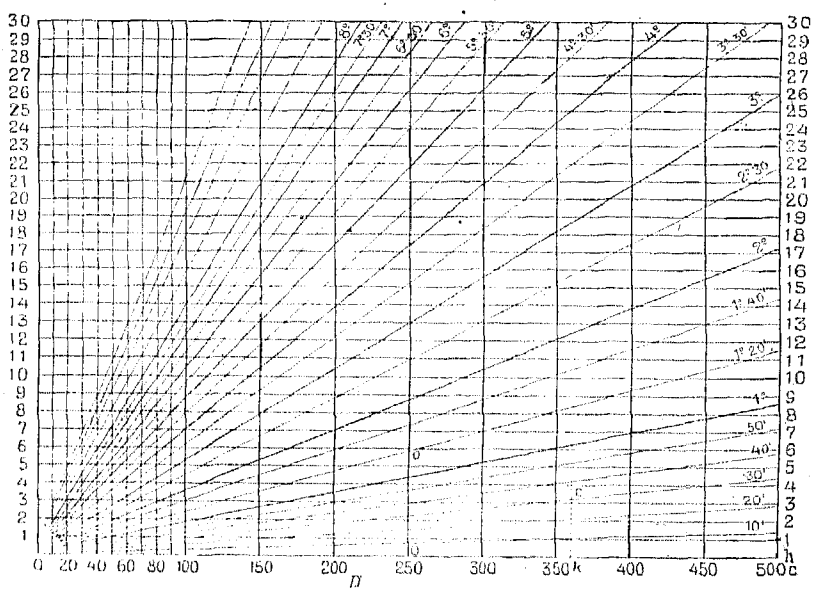
Положимъ, что на вертикальномъ кругѣ прочтемъ 16° и на рейкѣ между крайними волосками 1,45. Такъ какъ $A = 100$, то $Ag = 145$, а потому, чтобы получить величину $Ag\cos^2\alpha$, надо 145 умножить на дробь 0,92, взятую изъ таблички противъ 16°,—такимъ образомъ, горизонтальное разстояніе получится равнымъ 133,4 сажени. Значитъ, все дѣло сводится при этомъ къ умноженію, безъ таблицъ логариѳмовъ. Причемъ, результатъ вычисленія получается съ вполнѣ достаточною точностью, такъ какъ ошибка будетъ въ сотыхъ доляхъ сажени, а выше мы видѣли, что считается возможнымъ пренебречь даже величиною $B\cos\alpha$.

Для угловъ меньшихъ 5° помноженіе величины Ag на квадратъ косинуса угла наклоненія не производятъ, а считаютъ, что горизонтальное разстояніе равно Ag. Если бы это потребовалось то каждый можетъ, при помощи таблицъ логариѳмовъ, составить себѣ табличку квадратовъ косинусовъ угловъ отъ 10 до 10 минутъ.

214. Масштабъ высотъ. Для опредѣленія высотъ употребляютъ также *масштабъ высотъ* (черт. 268). Причемъ, для болѣе точнаго опредѣленія, высоты отложены на этомъ масштабѣ въ 12 разъ больше горизонтальныхъ разстояній, поэтому углы наклоненія, вычерченные на этомъ масштабѣ, также увеличены, но на каждой линіи, указывающей уголъ наклоненія, имѣется надпись. Чтобы по этому масштабу найти высоту, надо отложить горизонтальное разстояніе по горизонтальной линіи съ цифрами 0, 20, 40 и т. д. до 500 и смо-

трѣть, гдѣ соотвѣтствующая ордината пересѣкается угловою линіею съ надписью равною углу наклоненія. Величина этой ординаты будетъ величиной i. Такъ, при $D = 370$ с. и $\alpha = 30'$ находимъ i равнымъ cl или 3,25 с. Точность опредѣленія масштабомъ высотъ можетъ доходить до $^1/_2$ сажени.

215. Описаніе логариѳмической линейки. Для вычисленія какъ горизонтальныхъ разстояній, такъ и высотъ употребляютъ также *логариѳмическую линейку*. Вычисленія ею производятся быстро и съ



Черт. 268.

точностью до сотыхъ сажени, т. е. съ точностью вполнѣ достаточной въ съемочномъ дѣлѣ. Еще въ началѣ семнадцатаго вѣка, послѣ того, какъ были составлены Бригомъ таблицы логариѳмовъ, нѣмецкому ученому Гунтеру пришла остроумная, по своей простотѣ, мысль представить логариѳмы графически, для чего онъ изображалъ ихъ линіями различныхъ длинъ, сообразно величинѣ ихъ, и на концѣ каждой такой длины надписывалъ числа, соотвѣтствующія этимъ логариѳмамъ.

Впослѣдствіи эта мысль послужила къ устройству логариѳмической линейки, употребляемой, между прочимъ, при вычисленіяхъ, необходимыхъ при съемкѣ тахеометромъ. Логариѳмическая линейка не вошла во всеобщее употребленіе при вычисленіяхъ, хотя по-

средствомъ ея можетъ быть произведено вѣрно вычисленіе съ бо́льшею быстротой, нежели посредствомъ таблицъ, хотя съ меньшею точностью, однако, вполнѣ достаточною, для очень многихъ вычисленій, такъ какъ логариѳмы на ней назначаются обыкновенно съ точностью до 4-й десятичной.

Для вычисленій съ бо́льшею точностью, нужно только увеличить размѣры линейки; впрочемъ, такую линейку не такъ удобно употреблять въ дѣло, какъ линейку меньшихъ размѣровъ.

На чертежѣ 269 нѣкоторая длина раздѣлена точно на 400 частей,



Черт. 269.

надписи же сдѣланы такъ: 0,100,... 1000, т. е. каждое дѣленіе равно 0,0025 всей длины; слѣдовательно, на этомъ масштабѣ можно точно читать до 4-й десятичной.

При помощи этого масштаба и таблицъ логариѳмовъ нанесены логариѳмы чиселъ: 1,01, 1,02 и т. д. до 10 (черт. 270).

Если взять въ циркуль какую-нибудь часть этой послѣдней скалы, напр., заключенную между дѣленіями 1-мъ и 2-мъ, и отложить эту

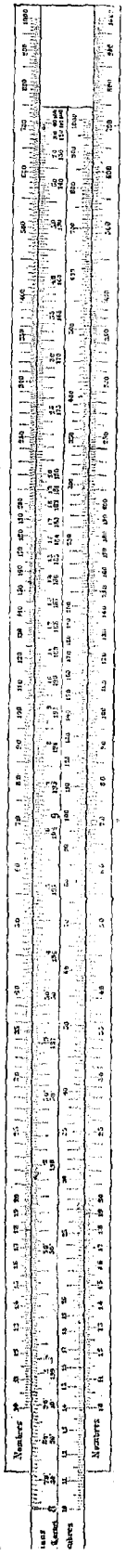


Черт. 270.

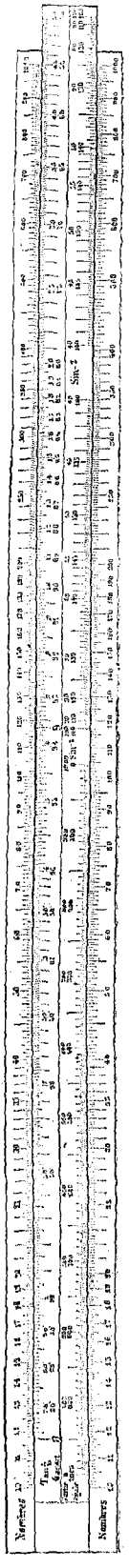
часть на той же скалѣ, напр., отъ 2-хъ, то такимъ образомъ мы приложимъ къ логариѳму 2-хъ еще логариѳмъ 2-хъ, и поэтому другая ножка циркуля должна упасть на дѣленіе, означенное цифрою 4.

Если отложить ту же величину отъ 3, то результатомъ будетъ 6, такъ какъ $lg\ 3 + lg\ 2 = lg\ 6$. То же самое получится и для какихъ угодно чиселъ. Вообще, чтобы сложить $lg\ a$ съ $lg\ b$, надо взять въ циркуль длину отъ 1 до a и одну ножку поставить на дѣленіе, противъ котораго стоитъ число b, тогда другая ножка циркуля упадетъ на дѣленіе, которое будетъ требуемымъ результатомъ, т. е. $lg\ (ab)$. Если бы желали вычесть $lg\ b$ изъ $lg\ a$, то нужно было бы взять въ циркуль часть между 1 и b, одну ножку поставить на дѣленіе, означенное числомъ a; дѣленіе, на которое упадетъ 2-я ножка, поставленная притомъ по

направленію къ началу, представитъ число, логариѳмъ котораго равенъ $lg\,a - lg\,b$. Такую скалу называютъ, по имени ея изобрѣтателя, Гунтеровой. Если къ этой скалѣ присоединить еще вторую совершенно такую же, такъ, чтобы послѣднюю можно было двигать подъ первой, тогда, съ помощью системы двухъ скалъ, гораздо легче дѣлать сложеніе и вычитаніе логариѳмовъ. Логариѳмическія линейки, встрѣчающіяся въ продажѣ, дѣлаются изъ латуни, дерева или папки длиною 0,4 метра и шириною 0,03 метра, и состоятъ изъ двухъ частей, имѣющихъ одинаковую длину, но ширину различную; менѣе широкая можетъ двигаться въ пазѣ болѣе широкой, но при этомъ движеніи верхнія плоскости обѣихъ частей сливаются въ одну. Широкую линейку называютъ скалой неподвижной, а узкую подвижную — кулисой. На скалѣ неподвижной, по обѣимъ сторонамъ выемки, въ которой двигается кулиса, нанесены одна за другой двѣ скалы логариѳмовъ чиселъ съ одинаковыми дѣленіями, но съ числами въ десять разъ бо́льшими на вторыхъ скалахъ, чѣмъ на 1-хъ; длина лѣвыхъ скалъ принята за единицу логариѳмовъ, такъ что длина меньшая одной скалы представляетъ величину нѣкотораго логариѳма съ характеристикой 0, а длина большая одной скалы—величину логариѳма съ характеристикой 1. Черту, на которой написано 10, будемъ называть началомъ скалы чиселъ. На кулисѣ съ одной стороны (черт. 271) внизу нанесены логариѳмы чиселъ, а наверху логариѳмы синусовъ и косинусовъ, характеристики которыхъ суть 8, 9 и 10.



Черт. 271.



Черт. 272.

Съ другой стороны кулисы (черт. 272), внизу находятся двѣ скалы: квадратовъ синусовъ и косинусовъ, логариѳмы которыхъ имѣютъ характеристикой 10, и масштабъ, въ которомъ представлены величины логариѳмовъ. Этотъ масштабъ имѣетъ надпись: partie égale. На верхней части этой же стороны кулисы нанесена скала тангенсовъ, логариѳмы которыхъ имѣютъ характеристики 8, 9 и 10. Чертежъ 273 представляетъ собою разрѣзъ линейки, изображенной здѣсь въ половину ея величины.

На кулисѣ назначены логариѳмы только съ характеристиками 8, 9 и 10, логариѳмы же синусовъ, косинусовъ, тангенсовъ и котангенсовъ, соотвѣтствующіе угламъ, не превосходящимъ 0°,637, и имѣющіе характеристиками 7, 6, 5, не нанесены, потому что мантиссы этихъ логариѳмовъ равны мантиссамъ логариѳмовъ, характеристика которыхъ 8. При этомъ надо замѣтить, что при устройствѣ описываемой линейки принято, что окружность раздѣлена не на 360°, а на 400°, каждый градусъ имѣетъ 100 минутъ, а каждая минута 100 секундъ.



Черт. 273.

Поэтому, если въ вычисленіе входитъ уголъ, не назначенный на кулисѣ, т. е. меньшій 0°,636, то, чтобы найти логариѳмъ тригонометрической величины этого угла, надо его увеличить въ 10 или 100 разъ, и мантисса увеличеннаго такимъ образомъ угла будетъ равна мантиссѣ угла, входящаго въ вычисленіе.

Дѣленія какъ на неподвижной скалѣ, такъ и на кулисѣ, дѣлаются такими, чтобы можно было невооруженнымъ глазомъ различать дробныя части этихъ дѣленій.

216. Скала чиселъ. Скала чиселъ имѣетъ три группы дѣленій: первая группа отъ начала, означеннаго числомъ 10, простирается до 20, вторая отъ 20 до 40 и третья отъ 40 до 100. Затѣмъ идетъ такая же скала, состоящая изъ трехъ группъ, но съ надписями въ 10 разъ бо́льшими.

Дѣленія первой группы соотвѣтствуютъ $^1/_{10}$ части единицы числа
» второй » » $^2/_{10}$ » » »
» третьей » » $^5/_{10}$ » » »
Части этихъ дѣленій читаются на глазъ.

Такъ какъ мантисса числа въ 10^n разъ бо́льшаго или въ 10^n разъ

меньшаго одна и та же, то дѣленіе, означенное, напримѣръ, 30-ю, могло бы быть означено также и 300; 3000; 3; 0,3; 0,03 и пр.

При помощи скалъ чиселъ можно совершать умноженіе и дѣленіе чиселъ. Дѣйствительно, чтобы умножить одно число на другое, надо только сложить логариѳмы множителей, и число, соотвѣтствующее этому логариѳму, будетъ произведеніемъ; точно также, чтобы раздѣлить одно число на другое, надо изъ логариѳма 1-го вычесть логариѳмъ 2-го, и число, соотвѣтствующее полученному логариѳму, будетъ частнымъ. А потому можно высказать слѣдующія общія правила: 1) *чтобы помножить число a на число b, надо начало кулисы привести въ совпаденіе съ числомъ a неподвижной скалы, тогда число неподвижной скалы, стоящее на дѣленіи, совпадающемъ съ числомъ b кулисы, выразитъ произведеніе ab*; 2) *чтобы раздѣлить a на b, надо привести въ совпаденіе число a неподвижной скалы съ числомъ b кулисы; число неподвижной скалы, стоящее на дѣленіи, совпадающемъ съ началомъ кулисы, будетъ искомымъ частнымъ* $\frac{a}{b}$.

Кромѣ того, можно соединить эти дѣйствія заразъ и находить, слѣдовательно, величину, выраженную такою формулой:

$$x = \frac{ab}{c},$$

т. е. четвертую пропорціональную.

Чтобы найти эту величину, надо взять $lg\, a + lg\, b - lg\, c$, что совершается такъ: берутъ сначала $lg\, a - lg\, c$ и затѣмъ прикладываютъ $lg\, b$ для этого ставятъ въ совпаденіе a неподвижной скалы съ c скалы чиселъ на кулисѣ и читаютъ результатъ на постоянной скалѣ противъ числа b кулисы.

Надо замѣтить, что результатъ, прочтенный по линейкѣ, при всѣхъ означенныхъ дѣйствіяхъ можетъ быть въ 10, 100 разъ болѣе или менѣе надлежащаго. Для того, чтобы найти истинную величину результатовъ, нужно, въ случаѣ умноженія, сложить характеристики логариѳмовъ множителей, и полученная сумма, увеличенная одною единицею, будетъ числомъ цѣлыхъ цифръ произведенія; при дѣленіи изъ характеристики дѣлимаго надо вычесть характеристику дѣлителя; разность, увеличенная одной единицею, будетъ числомъ цѣлыхъ цифръ частнаго. Кромѣ того, надо помнить, что на 1-хъ (лѣвыхъ) скалахъ логариѳмической линейки назначены собственно мантиссы, а потому, если бы при умноженіи двухъ факторовъ, меньшихъ

100, результатъ упалъ бы на 2-ю скалу, т. е. далѣе ста, то это значило бы, что сумма мантиссъ логариѳмовъ множителей равна величинѣ бо́льшей единицы, и, слѣдовательно, число цѣлыхъ цифръ произведенія должно быть увеличено еще на одну единицу.

Вслѣдствіе этого можно высказать слѣдующія правила:

1) Если при умноженіи результатъ окажется въ той же скалѣ, какъ и множители, то число цѣлыхъ цифръ въ произведеніи равно суммѣ характеристикъ множителей плюсъ единица.

2) Если одинъ множитель находится на первой скалѣ, другой на второй, т. е. если одинъ множитель менѣе 100, а другой болѣе 100, то правило остается то же.

3) Если оба множителя менѣе 100, а результатъ болѣе 100, то число цѣлыхъ цифръ въ произведеніи равно суммѣ характеристикъ логариѳмовъ множителей плюсъ двѣ единицы.

4) Если дѣлимое, дѣлитель и частное лежатъ въ одной и той же скалѣ, то число цѣлыхъ цифръ частнаго равно разности характеристикъ дѣлимаго и дѣлителя минусъ единица.

5) Если дѣлимое и частное лежатъ во второй скалѣ, а дѣлитель въ первой, или если дѣлимое и дѣлитель лежатъ во второй, а частное въ первой скалѣ, то число цѣлыхъ цифръ частнаго равно разности характеристикъ дѣлимаго и дѣлителя минусъ единица.

6) Если же дѣлимое лежитъ во второй скалѣ, а частное и дѣлитель въ первой, то число цѣлыхъ цифръ частнаго равно разности характеристикъ дѣлимаго и дѣлителя минусъ двѣ единицы.

Теперь становится понятно, что факторы можно увеличивать или уменьшать въ 10, 100 разъ, не опасаясь за вѣрность результата. Такъ, напримѣръ, если бы нужно было помножить 1,17 на 2,25, то мы могли бы множить 11,7 на 22,5, но только замѣтили бы, что характеристики обоихъ множителей равны 0; подобнымъ образомъ, чтобы умножить 345,5 на 749,8 мы помножили бы 34,55 на 74,98, но замѣтили бы, что сумма характеристикъ обоихъ множителей равна 4. Поэтому, коль скоро результатъ или факторы не помѣщены на скалахъ, данныя числа увеличиваютъ или уменьшаютъ въ десять, сто разъ, и т. д. Для опредѣленія же числа цѣлыхъ цифръ результата обращаются къ характеристикамъ данныхъ чиселъ.

Послѣ всего сказаннаго, кажется, излишне приводить здѣсь частные примѣры; читатель въ состояніи будетъ сдѣлать ихъ самъ, поль-

зуясь чертежемъ линеечки. Надо, впрочемъ, замѣтить, что на чертежѣ нельзя было сдѣлать дѣленій вполнѣ точно, такъ что не совсѣмъ точные результаты не должны смущать читателя.

217. Скалы квадратовъ синусовъ и косинусовъ. На тахеометрахъ, изготовленныхъ фабрикою Ришара во Франціи, лимбы раздѣлены на 400 градусовъ, въ градусѣ считается 100 минутъ, а въ минутѣ 100 секундъ, поэтому и въ логариѳмической линейкѣ той же фабрики скалы тригонометрическихъ величинъ идутъ не отъ 0 до 180°, а отъ 0 до 200°. Такъ какъ вертикальныхъ угловъ въ 50°, а, слѣдовательно, и меньшихъ 50°, считаемыхъ отъ зенита (φ), надо избѣгать, чтобы вычисленныя высоты отличались отъ дѣйствительныхъ на величины по возможности малыя, то на скалѣ квадратовъ синусовъ и косинусовъ назначены логариѳмы синусовъ квадратовъ угловъ отъ 40 до 160 градусовъ. Она содержитъ четыре группы различныхъ дѣленій, представленныхъ въ слѣдующей таблицѣ:

№№ группъ.	Предѣлы для угловъ (φ) каждой группы.	Величина промежутковъ между линіями.	Числа, могущія быть прочтенными по дѣленіямъ кулисы.
1	отъ 40° до 60°	0°,2	40,2;40,4;40,6 . . . . 59,6;59,8; 60
2	„ 60° „ 80°	0°,5	60,0;60,5;61,0 . . . . 79,0;79,5 80
3	„ 80° „ 90°	1°,0	80; 81; 82 . . . . 88; 89; 90
4	„ 90° „ 100°	2°,0	90; 92; 94 . . . . 96; 98; 100

На кулисѣ помѣщены двѣ скалы квадратовъ синусовъ, обѣ онѣ имѣютъ два ряда цифръ; на правой изъ нихъ верхній рядъ идетъ слѣва направо съ надписями отъ 40 до 100 градусовъ; нижній рядъ идетъ справа налѣво съ надписями отъ 100 до 160, такъ что числа, стоящія въ этихъ двухъ рядахъ, дополняютъ другъ друга до 200; на второй скалѣ (лѣвой) надписи расположены обратно. При помощи той или другой изъ этихъ скалъ можно найти величину, выраженную одною изъ слѣдующихъ фурмулъ:

$$D = a \sin^2 \varphi$$

$$a = \frac{D}{\sin^2 \varphi} \text{ и } \sin^2 \varphi = \frac{D}{a}.$$

Скажемъ сначала, какъ надо дѣйствовать при помощи первой, т. е. правой скалы.

Для того, чтобы знать $lg\,D$, а по логариѳму найти самое D, надо $lg\,a$ сложить съ $lg\,sin^2\varphi$; поэтому въ этомъ случаѣ поступаютъ такъ: приводятъ черту, означенную числомъ 100 на скалѣ sin^2, въ совпаденіе съ чертой скалы чиселъ, означенной числомъ a. Результатомъ будетъ число, стоящее на скалѣ чиселъ противъ угла φ, находящагося на скалѣ sin^2. Собственно говоря, здѣсь изъ $lg\,a$ мы вычли $lg\,sin^2\varphi$ на томъ основаніи, что $sin^2\varphi$ есть величина всегда дробная, а слѣдовательно, логариѳмъ ея—величина отрицательная. Чтобы получить a по даннымъ D и φ, надо изъ $lg\,D$ вычесть $lg\,sin^2\varphi$, или, собственно говоря, прибавить $lg\,sin^2\varphi$, поэтому ставятъ φ въ совпаденіе съ D, а результатъ читаютъ на постоянной скалѣ чиселъ противъ 100 скалы sin^2.

Наконецъ, чтобы найти φ по даннымъ D и a, надо вычесть $lg\,a$ изъ $lg\,D$; поэтому ставятъ 100 скалы sin^2 въ совпаденіе съ a и противъ D читаютъ величину a на скалѣ sin^2. При съемкѣ тахеометромъ встрѣчается только 1-й случай вычисленія, и удобнѣе, какъ увидимъ далѣе, употреблять лѣвую скалу квадратовъ синусовъ.

Для того, чтобы найти величину D изъ формулы:

$$D = Ag\,.\,sin^2\varphi,$$

при помощи лѣвой скалы, приводятъ черту этой скалы sin^2 означающую данный уголъ, въ совпаденіе съ числомъ Ag неподвижной скалы, результатъ читаютъ на этой послѣдней скалѣ противъ черты скалы sin^2, означенной числомъ 100. *При этомъ то же самое разстояніе на верхней постоянной скалѣ окажется въ совпаденіи съ цифрою 9 скалы тангенсовъ*. Характеристика логариѳмовъ синусовъ квадратовъ всѣхъ угловъ есть нуль; поэтому, при помноженіи или дѣленіи нѣкотораго числа на квадратъ синуса какого-нибудь угла, характеристика произведенія можетъ отличаться отъ характеристики даннаго числа не болѣе какъ на одну единицу, а потому правила относительно числа цѣлыхъ цифръ результата будутъ таковы:

1) Если при умноженіи какого-нибудь числа на sin^2 произведеніе и данное число находятся на одной скалѣ, то число цѣлыхъ цифръ результата такое же, какъ и въ данномъ числѣ; если же на разныхъ, то число цѣлыхъ цифръ результата всегда одною единицею меньше числа цифръ даннаго числа.

2) Если при дѣленіи какого-нибудь числа на sin^2, какъ данное число, такъ и результатъ лежатъ на одной скалѣ, то число цѣлыхъ цифръ результата такое же, какъ и въ данномъ числѣ, если же на разныхъ, то число цѣлыхъ цифръ результата одною единицею болѣе числа цифръ даннаго.

218. Скала тангенсовъ и котангенсовъ. Скала тангенсовъ раздѣлена на пять группъ, предѣлы которыхъ означены въ слѣдующей таблицѣ:

№№ группъ.	Предѣлы каждой группы угловъ φ.	Величины между двумя смежными дѣленіями.	Числа, могущія быть прочтенными по дѣленіямъ кудисы.
1	отъ 0°,637 до 2°,0	0°,01	0°,64;0,65;0,66 . . . . 1.68;1,99:2°,0
2	„ 2°,0 „ 4°,0	0°,02	2°,02;2,04;2,06 . . . . 3,96;3,98;4°,0
3	„ 4°,0 „ 10°,0	0°,05	4°,05;4,10,4,15 . . . . 9,10;0,95;10°,0
4	„ 10°,0 „ 20°,0	0°,10	10°,1;10,2 . . . . . 19,8;19,9;20°
5	„ 20°,0 „ 50	0°,20	20°,2;20,4 . . . . . 49,6;49,8;50°

Часть скалы отъ черты, означенной 8, до черты, означенной 9, равна части скалы отъ черты 9 до черты, означенной 50. При этомъ каждая изъ этихъ скалъ равна скалѣ чиселъ отъ 10 до 100 или отъ 100 до 1000. На скалахъ тангенсовъ находятся два ряда цифръ; онѣ дополняютъ другъ друга до 100.

Верхній идетъ слѣва направо, а нижній справа налѣво. Такъ какъ $tg\ (100-a) = cotg\ a$, то здѣсь нанесены логариѳмы тангенсовъ и котангенсовъ угловъ 1-го квадранта, а слѣдовательно, и всѣхъ квадрантовъ, что видно изъ формулъ:

$$tg\ (a+100) = -\ cotg\ a \quad \text{и} \quad tg\ (a+200) = tg\ a.$$

Можно еще сказать, что рядъ чиселъ, идущихъ слѣва направо, означаетъ углы, котангенсы которыхъ болѣе единицы, между тѣмъ какъ другой рядъ, идущій справа налѣво, означаетъ углы, котангенсы которыхъ менѣе единицы. Поэтому черту, означенную 50, можно разсматривать какъ начало логариѳмовъ тангенсовъ угловъ бо́льшихъ 50 и логариѳмовъ котангенсовъ угловъ меньшихъ 50°, при этомъ логариѳмы будутъ положительными.

Та же черта, означенная 50, можетъ быть разсматриваема какъ начало логариѳмовъ котангенсовъ угловъ бо́льшихъ 50° и тангенсовъ меньшихъ 50°; причемъ тѣ и другіе логариѳмы отрицательные, такъ какъ самыя числа меньше единицы.

Помощью скалы тангенсовъ можно розыскивать величины, выражающіяся одной изъ слѣдующихъ формулъ:

$$i = D\,cotg\,\varphi,\ D = \frac{i}{cotg\,\varphi},\ cotg\,\varphi = \frac{i}{D},$$

$$i = D\,tg\,a,\ D = \frac{i}{tg\,a},\ tg\,a = \frac{i}{D}.$$

Мы разсмотримъ, какъ надо поступать для того, чтобы получить величины по 1-й и 4-й формуламъ, такъ какъ послѣ этого легко будетъ составить себѣ понятіе, какъ надо дѣйствовать для вычисленія по остальнымъ.

Изъ сказаннаго выше слѣдуетъ, что, при умноженіи какого нибудь числа на тангенсъ угла меньшаго 50° или на котангенсъ угла бо́льшаго 50°, всегда слѣдуетъ вычитать изъ логариѳма числа часть скалы тангенсовъ отъ черты 50 до черты, означающей данный уголъ, т. е. надо привести данное число на постоянной скалѣ въ совпаденіе съ 50° скалы тангенсовъ, и результатъ прочитать на постоянной скалѣ противъ даннаго угла.

Когда мы приводимъ 50 въ совпаденіе съ даннымъ числомъ, то характеристика 9 совпадаетъ съ числомъ въ десять разъ меньшимъ.

Если будемъ приводить въ совпаденіе съ даннымъ числомъ не 50, а 9, то прочтемъ противъ даннаго угла число въ десять разъ бо́льшее, нежели число, прочтенное въ 1-й разъ.

Отсюда ясно видно, что безразлично, приводить ли 50 или 9 въ совпаденіе съ даннымъ числомъ, такъ какъ число цѣлыхъ цифръ результата опредѣляется по извѣстнымъ уже правиламъ.

Если бы при этомъ данный уголъ находился на концѣ кулисы, выходящей за предѣлы постоянной скалы влѣво, то число D надо было бы увеличить въ 10 разъ, а если вправо, то уменьшить и привести въ совпаденіе съ этимъ увеличеннымъ или уменьшеннымъ числомъ черту кулисы, означенную цифрою 9-ть, и результатъ прочитать все-таки на постоянной скалѣ противъ черты, означающей данный уголъ.

Такимъ образомъ, можно высказать слѣдующія правила:

1) Чтобы умножить какое-нибудь число D на $cotg\,\varphi$ или на $tg\,\varphi$, надо число D постоянной скалы привести въ совпаденіе съ характеристикой 9 скалы тангенсовъ и, если $\varphi \begin{matrix} > 0,^{\circ}637 \\ < 100^{\circ} \end{matrix}$, прочитать результатъ на постоянной скалѣ противъ угла φ. Если же $\varphi \begin{matrix} > 100^{\circ} \\ < 150 \end{matrix}$, то результатъ надо прочитать противъ угла $\varphi - 100$.

2) Если уголъ $\varphi < 0,637$, т. е. не находится на кулисѣ, то прочитать результатъ противъ 10φ или 100φ, потому что мантиссы угловъ меньшихъ 0,637 тѣ же, что и мантиссы угловъ въ предѣлахъ отъ 0,637 до 6°,35.

3) Если уголъ находится на концѣ кулисы, выступающей за предѣлы постоянной скалы, то характеристику 9 приводятъ въ совпаденіе съ $10\,D$ или съ $\frac{D}{10}$.

Такъ какъ, при съемкѣ высотомѣромъ, избѣгаютъ вертикальныхъ угловъ (φ) меньшихъ 50° и бо́льшихъ 150°, то сдѣланныхъ указаній вполнѣ достаточно для вычисленія высотъ; однакожъ, еслибъ, въ исключительномъ случаѣ, вертикальный уголъ былъ менѣе 50 и болѣе 150°, то при умноженіи поступаютъ такъ: приводятъ въ совпаденіе данное число D съ чертою, означающею величину даннаго угла, и результатъ читаютъ противъ 50°, т. е. логариѳмъ котангенса даннаго угла не вычитаютъ изъ логариѳма даннаго числа, а прибавляютъ, такъ какъ онъ, въ этомъ случаѣ, положительный.

При всѣхъ вычисленіяхъ по скалѣ тангенсовъ, прочтенный результатъ не всегда будетъ надлежащимъ,—онъ можетъ быть больше или меньше надлежащаго въ 10 или 100 разъ. Число цѣлыхъ цифръ результата опредѣляется помощью характеристикъ даннаго числа и тангенса даннаго угла; при этомъ надо пользоваться слѣдующей табличкой:

характеристики	$\overline{4}$	$\overline{3}$	$\overline{2}$	$\overline{1}$	$\overline{0}$
	5	6	7	8	9
углы	0°,001 —	0°,007 —	0°,064 —	0°,637 —	6°,35 — 50
	100° —	99°,934 —	99°,937 —	99°,364 —	93°,66 — 50

Здѣсь верхній рядъ представляетъ характеристики, 2-ой—дополненія характеристикъ до 10, 3-й и 4-й — предѣлы для угловъ, въ которыхъ та или другая характеристика имѣетъ мѣсто. Послѣднія

двѣ группы съ характеристиками 8 и 9 находятся на кулисѣ, такъ что надо запомнить только предѣлы для угловъ, гдѣ имѣютъ мѣсто характеристики $\overline{4}$, $\overline{3}$ и $\overline{2}$.

Слѣдуетъ также и здѣсь не забывать, что если оба фактора находятся въ одной скалѣ, а произведеніе въ другой, то надо прибавлять къ суммѣ характеристикъ двѣ единицы для опредѣленія числа цѣлыхъ цифръ результата, а во всѣхъ другихъ случаяхъ только одну единицу.

Изъ всего сказаннаго о скалахъ sin^2-овъ и tg-совъ видно, что можно получать заразъ разстояніе D и величину i, входящую въ высоту по даннымъ g и φ (черт. 272), пользуясь лѣвою скалою sin^2-овъ. Для этого приводятъ дѣленіе, выражающее данный уголъ sin^2-овъ, въ совпаденіе съ числомъ Ag постоянной скалы; тогда число постоянной слалы, совпадающее съ 100 скалы sin-овъ, выразитъ разстояніе D; въ то же время съ тѣмъ же разстояніемъ D на верхней части постоянной скалы будетъ совпадать характеристика 9 скалы тангенсовъ, а потому i слѣдуетъ прочесть на постоянной скалѣ противъ угла φ скалы тангенсовъ.

219. Скала синусовъ и косинусовъ. На другой сторонѣ кулисы находится (черт. 271) скала синусовъ съ характеристиками 8, 9 и 10, раздѣленныхъ на 8 группъ; промежутки между дѣленіями имѣютъ различную величину, какъ показываетъ нижеслѣдующая таблица:

№ группъ.	Предѣлы каждой группы угловъ φ.	Величина между двумя смежными дѣленіями.	Числа, читаемыя по дѣленіямъ кулисы.
1	отъ 0°,637 до 2°,0	0,01	0°,64;0,65 . . . . . 1°,99; 2°
2	» 2°,0 » 4°,0	0°,02	2°,0;2°,0;2,204 . . . . . 3°,96;3°,98; 4°
3	» 4°,0 » 10,0	0°,05	4°,0;4°,05;4°,1 . . . . 9°,90;9°,95;10°
4	» 10,0 » 20,0	0°,1	10°,0;10°,1 . . . . . 19°,80;19°,90;20°
5	» 20,0 » 40°,0	0°,2	20°,0;20°,2 . . . . . 39°,60;39°,80;40°
6	» 40°,0 » 60°,0	0°,5	40°,5;41° . . . . . 59°,0;59°,5;60°
7	» 60°,0 » 90°,0	1°,0	60°;61°, ... 88°;89°;90°
8	» 90°,0 » 100°	5°,0	90; 95; 100.

Скала синусовъ имѣетъ два ряда цифръ: верхній рядъ, идущій слѣва направо, означаетъ углы 1-го квадранта; нижній рядъ, идущій справа налѣво, углы 2-го квадранта. Такимъ образомъ, числа, стоящія въ этихъ двухъ рядахъ, дополняютъ другъ друга до 200°. Такъ какъ:

$$\cos a = \sin (100 + a) \text{ и } \cos (a + 100) = -\sin a,$$

то скала синусовъ въ то же время есть скала коспнусовъ. Такъ что, если нужно взять косинусъ 30°, мы беремъ синусъ 130°, и, наоборотъ, если надо взять косинусъ 145°, то беремъ синусъ 45, помня только, что въ послѣднемъ случаѣ знакъ будетъ обратный. Та же скала можетъ служить для синусовъ и коспнусовъ угловъ 3 и 4 квадранта, такъ какъ для угла $a > 200°$ имѣемъ формулы:

$$\sin a = -\sin (a - 200) \text{ и } \cos a = -\cos (a - 200).$$

Такъ что $lg \sin 360$ будетъ равенъ $lg \sin 160°$; $lg \cos 270 = lg \cos 70° = lg \sin 130$.

Помощью скалы синусовъ можно находить величины по одной изъ слѣдующихъ формулъ:

$$X = D \sin \Theta,\ D = \frac{X}{\sin \Theta},\ \sin \Theta = \frac{X}{D}$$

$$Y = D \cos \Theta,\ D = \frac{Y}{\cos \Theta},\ \cos \Theta = \frac{Y}{D},$$

Такъ какъ синусы угловъ первыхъ двухъ квадрантовъ не болѣе единицы, то логарнемы ихъ отрицательные, и потому за начало ихъ на кулисѣ можно принять черту, означенную 100°.

Поэтому, если приходится умножать какое-нибудь число D на $\sin \Theta$, то надо привести въ совпаденіе данное число на постоянной скалѣ съ числомъ 100 скалы синусовъ и прочитать результатъ на постоянной скалѣ противъ угла Θ.

Когда мы приводимъ 100 въ совпаденіе съ даннымъ числомъ, то характеристика 9 совпадаетъ съ числомъ въ десять разъ меньшимъ.

Если вмѣсто того, чтобы приводить въ совпаденіе съ даннымъ числомъ 100, мы привели бы въ совпаденіе 9, то прочли бы противъ даннаго угла число въ 10 разъ бо̀льшее, нежели число, прочтенное въ 1-й разъ.

Отсюда заключаемъ, что результатъ получится одинъ и тотъ же, приводитъ ли 100 или 9 въ совпаденіе съ даннымъ числомъ.

Изъ всего сказаннаго выводимъ такія правила: 1) При умноженіи числа D на $\sin 0$ надо число D постоянной скалы привести въ совпаденіе съ чертой, означенной цифрою 9, скалы синусовъ и результатъ прочитать на постоянной скалѣ противъ угла 0, въ томъ случаѣ, когда $0 \begin{matrix} < 200 \\ > 0,^{\circ}637 \end{matrix}$, если же $0 > 200$, то противъ $0-200$.

Если при этомъ уголъ находится на концѣ кулисы, выступающей за предѣлы постоянной скалы вправо, то дѣленіе, означенное цифрою 9, приводятъ въ совпаденіе съ $\frac{D}{10}$, если влѣво, то съ $10\,D$.

Если уголъ $0 < 0,637$, т. е. не находится на кулисѣ, то читаютъ результатъ противъ 100 или 1000, потому что мантиссы угловъ меньшихъ 0,637 тѣ же, что мантиссы угловъ между $0,637 - 6,^{\circ}35$.

Чтобы знать число цѣлыхъ цифръ результата, надо составить сумму характеристикъ D и $\sin 0$. При этомъ пользуются слѣдующей табличкой:

характеристики	$\overline{4}$	$\overline{3}$	$\overline{2}$	$\overline{1}$	$\overline{0}$
	5	6	7	8	9
углы	$0^{\circ},001-$	$0^{\circ},007-$	$0^{\circ},064-$	$0^{\circ},637-$	$6^{\circ},35-100$
	$194,949-$	$199,937-$	$199,364-$	$193,364-$	$193,66-100$

Здѣсь верхній рядъ представляетъ характеристики, 2-й — дополненія ихъ до 10, 3-й и 4-й — предѣлы для угловъ, въ которыхъ та или другая характеристика имѣетъ мѣсто. Надо замѣтить, что предѣлы угловъ, характеристики которыхъ 8 и 9, можно прямо видѣть на кулисѣ.

Кромѣ того, надо помнить, что если оба фактора находятся на одной скалѣ, а произведеніе на другой, то надо прибавить къ суммѣ характеристикъ 2 единицы, во всѣхъ другихъ случаяхъ надо прибавить одну единицу, и полученная сумма выразитъ число цѣлыхъ цифръ результата.

Примѣры:

1) Найти $X = 51,955\ \sin 3^{\circ},21$; $Y = 51,95\ \cos 3^{\circ},21$.

Приведя въ совпаденіе число 9 кулисы съ числомъ 51,95 постоянной скалы, читаемъ:

противъ $3^{\circ},21$ число 21,5, а противъ 103,21 число 510,9.

Принявъ во вниманіе характеристики, найдемъ:

$$X = 2{,}15, \quad Y = 51{,}09.$$

2) Найти $X = 63\,sin\,399{,}58$; $Y = 63\,cos\,399{,}58$.

Вмѣсто этого можемъ написать:

$$X = 63\,sin\,199{,}58; \quad Y = 63\,cos\,199{,}58.$$

Уголъ 199,58 не находится на кулисѣ, поэтому увеличиваемъ его въ 10 разъ и отнимаемъ 1800°; приводя 9 въ совпаденіе съ 63, смотримъ противъ 195,8 и находимъ противъ него число 456, а противъ 99,58 число 62,9. Принявъ во вниманіе характеристики, получимъ:

$$X = 0{,}456; \quad Y = 62{,}9.$$

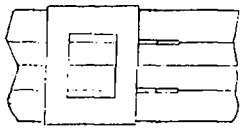
220. Скалы, служащія для возвышенія въ степень и извлеченія корней. На той же сторонѣ кулисы, гдѣ помѣщены скалы *tang*-совъ и sin^2-овъ, внизу еще находится скала съ надписью partie égale. Это ничто другое, какъ масштабъ, въ которомъ нанесены логариѳмы. Помощью этой скалы можно дѣлать возвышеніе въ степень и извлеченіе корней, т. е. находить величины по одной изъ слѣдующихъ формулъ:

$$X = a^m \qquad Y = \sqrt[m]{b}.$$

Чтобы возвысить какое-нибудь число въ степень, надо помножить логариѳмъ возвышаемаго числа на показателя степени. Результатъ будетъ логариѳмъ степени. Такъ какъ характеристика даннаго числа всегда извѣстна, то слѣдуетъ найти только мантиссу этого числа, что дѣлается такъ: если данное число двухзначное, то приводятъ въ совпаденіе начало скалы чиселъ съ началомъ масштаба и противъ даннаго числа читаютъ мантиссу по масштабу; если же данное число трехзначное, то начало масштаба ставятъ въ совпаденіе съ числомъ 100 скалы чиселъ и противъ даннаго числа читаютъ на масштабѣ мантиссу; получивъ такимъ образомъ логариѳмъ даннаго числа, умножаютъ его на показателя степени, приводятъ въ совпаденіе начало масштаба съ началомъ скалы чиселъ или числомъ 100, противъ мантиссы произведенія читаютъ на скалѣ чиселъ результатъ, число цѣлыхъ цифръ котораго опредѣлится характеристикою произведенія, увеличеннаго одною единицею.

Подобнымъ образомъ, чтобъ извлечь корень какой угодно степени изъ даннаго числа, слѣдуетъ найти указаннымъ способомъ логариѳмъ даннаго числа, раздѣлить его на показателя корня, и наконецъ, по полученному логариѳму, при помощи масштаба, найти самый корень.

Для того, чтобы ускорить вычисленія по линейкѣ, полезно имѣть маленькую раму (черт. 273*a*), могущую двигаться по всей длинѣ линейки и имѣющую два выступа, отстоящіе другъ отъ друга на ширину верхней плоскости кулисы; выступы эти имѣютъ по тонкой чертѣ, находящейся на одной линіи, и притомъ нормально къ оси линейки, видныя съ правой стороны чертежа. Для того, чтобъ эта рама, двигаясь по линейкѣ, прижималась къ ней плотно, она имѣетъ съ боковъ выступы, входящіе въ пазы линейки. При помощи индексовъ этой рамы очень удобно отсчитывать дробныя части дѣленій.



Черт. 273*a*.

Напримѣръ, когда вычисляютъ D и i, то дѣйствуютъ такъ: нижній индексъ этой рамы ставятъ въ совпаденіе съ числомъ Ag, передвигаютъ кулиссу до тѣхъ поръ, пока съ индексомъ не совпадетъ уголъ φ лѣвой скалы sin^2-овъ, тогда противъ 100 скалы sin^2-овъ читаютъ разстояніе и переводятъ раму до совпаденія верхняго индекса съ угломъ φ скалы тангенсовъ. Число, прочтенное на скалѣ чиселъ противъ этого послѣдняго индекса, дастъ величину i.

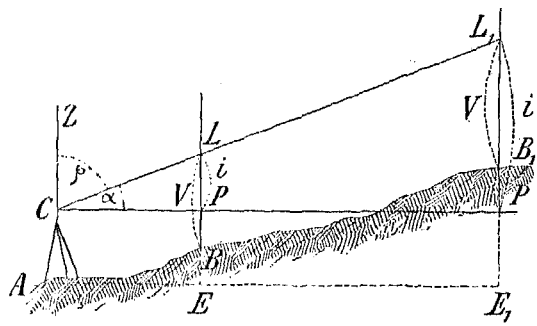
Глава XX.

О ДАЛЬНОМѢРЪ-ВЫСОТОМѢРѢ СЪ ПЕРЕМѢННЫМЪ РАЗСТОЯНІЕМЪ МЕЖДУ ВОЛОСКАМИ СѢТКИ.

Нельзя не обратить вниманія на дальномѣръ-высотомѣръ, исполненный по мысли Тиши, въ концѣ 70-хъ годовъ, фабрикой Старке и Камереръ въ Вѣнѣ. Инструментомъ этимъ можетъ быть опредѣляемо положеніе точекъ, какъ и всякимъ другимъ подобнымъ инструментомъ, но достоинства его заключаются въ возможности опредѣлять разстоянія и высоты почти безъ вычисленій и совершенно безъ употребленія какихъ-либо таблицъ или логариѳмической линейки. Хотя

дальномѣры съ перемѣннымъ разстояніемъ между волосками были устраиваемы и ранѣе, но устройство дальномѣра-высотомѣра Тиши надо считать наиболѣе остроумнымъ и удобнѣйшимъ на практикѣ изъ всѣхъ дальномѣровъ-высотомѣровъ.

221. Теорія дальномѣра Тиши Старке. Прежде чѣмъ говорить, какъ построена теорія дальномѣра-высотомѣра Тиши, вспомнимъ какъ опредѣляется горизонтальное разстояніе и высота при помощи высотомѣра, у котораго имѣется дальномѣръ Порро. Положимъ въ точкѣ B



Черт. 274.

или B_1 (черт. 274) поставлена отвѣсно рейка, а въ A инструментъ, имѣющій горизонтальный и вертикальные круги, и трубу съ дальномѣромъ Порро. Установивъ инструментъ надлежащимъ образомъ, прочтемъ уголъ α наклоненія визирной оси къ горизонту, въ то время, когда средина горизонтальнаго волоска указываетъ на точку α или α_1; разность показаній крайнихъ волосковъ пусть равна g, тогда горизонтальное разстояніе и одна изъ величинъ, входящихъ въ разность высотъ, именно $LP = i$ и D, выразятся, на основаніи §§ 204 и 206, совершенно точно такими формулами:

$$\left.\begin{aligned} D &= Ag\cos^2\alpha - \frac{g}{4A}\sin^2\alpha = Ag\cos^2\alpha\left(1 - \frac{tg^2\alpha}{4A^2}\right) \\ i &= D\,tg\alpha = Ag\cos\alpha\sin\alpha\left(1 - \frac{tg^2\alpha}{4A^2}\right) \end{aligned}\right\} \quad \ldots (1)$$

гдѣ

$$A = \frac{FF_1}{n(F + F_1 - a)} = 100.$$

Здѣсь n неизмѣняемое разстояніе между волосками, a—разстояніе между 1-мъ и 2-мъ объективными стеклами, F и F_1 — фокусныя разстоянія объективныхъ стеколъ.

При α близкомъ къ нулю, $\frac{tg^2\alpha}{4A^2}$ также близко къ нулю, при $\alpha=30^\circ$

$$\frac{tg^2\alpha}{4A^2} = \frac{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2}{4.10000} = \frac{1}{120.000}.$$

Поэтому безъ чувствительной погрѣшности можно написать:

$$D = Ag\cos^2\alpha,$$

$$i = Ag\cos\alpha\sin\alpha.$$

Такъ напримѣръ, при $\alpha = 30^\circ$, D и i, вычисленныя по этимъ двумъ формуламъ, будутъ отличаться отъ тѣхъ же величинъ, вычисленныхъ по формуламъ (1), лишь на $\frac{1}{120.000}$ долю D и i.

Фокусныя разстоянія можно подобрать такъ, чтобы величина $\frac{FF_1}{F+F_1-a}$, представляющая собою нѣкоторую длину, такъ какъ числитель 2-го измѣренія и знаменатель перваго измѣренія длины, содержала въ себѣ 500 такихъ единицъ, какихъ въ n заключается 5, тогда формулы для D и i обратятся въ слѣдующія:

$$D = \frac{500}{n} g\cos^2\alpha \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

$$i = \frac{500}{n} g\cos\alpha\sin\alpha. \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Если бы теперь устроили дальномѣръ не съ постоянными волосками, а съ перемѣннымъ разстояніемъ между ними, и притомъ такъ, что разстояніе это могло бы быть измѣряемо микрометромъ, то, взявъ вмѣсто n какое либо число, меньшее пяти единицъ, прочтемъ между волосками на рейкѣ для того же самаго разстоянія другой отрѣзокъ.

Такъ что, если взять вмѣсто n столько единицъ, сколько ихъ заключается въ $5\cos^2\alpha$, то число, прочтенное между волосками на рейкѣ, положимъ, будетъ g_1. Замѣняя же этими новыми величинами g и n въ формулѣ (2) для D, найдемъ:

$$D = \frac{500}{5\cos^2\alpha} g_1\cos^2\alpha,$$

или

$$D = 100\, g_1. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Подобнымъ образомъ, если въ формулѣ (3) для i, взять вмѣсто n столько единицъ, сколько ихъ заключается въ $5\cos\alpha\sin\alpha$, то число, прочтенное по рейкѣ между волосками, не будетъ уже g, а нѣкоторое другое, напримѣръ, g_2, и тогда, слѣдовательно, формула (3) перейдетъ въ такую:

$$i = \frac{500}{5\sin\alpha\cos\alpha} \cdot g_2 \sin\alpha\cos\alpha,$$

или

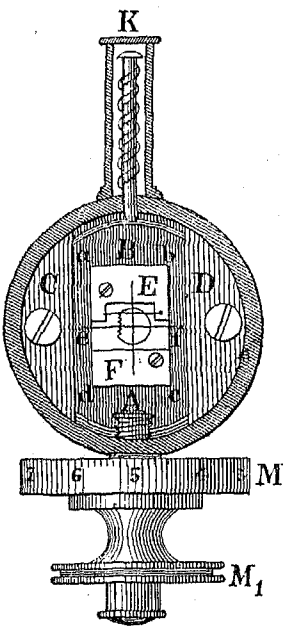
$$i = 100 g_2. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Такимъ образомъ, если вмѣсто постоянныхъ волосковъ устроить ихъ такъ, чтобы разстояніе между ними могло измѣняться въ зависимости отъ угла наклоненія, то горизонтальное разстояніе D и катетъ i можно было бы вычислять по формуламъ 4-й и 5-й, а не по формуламъ 2-й и 3-й, чѣмъ вычисленія значительно упростятся. Чтобы всякій разъ не вычислять $5\cos^2\alpha$ и $5\sin\alpha\cos\alpha$ на вертикальномъ кругѣ вмѣсто градусныхъ дѣленій надо нанести отъ линіи нулей, отъ одного ея конца въ обѣ стороны, величины равныя $5\cos^2\alpha$, для различныхъ угловъ отъ 0 до 45°, а отъ другого конца линіи нулей, тоже въ обѣ стороны, нанести величины равныя $5\cos\alpha\sin\alpha$, для различныхъ угловъ отъ 0 до 45°, то для $\alpha = 0$, $5\cos^2\alpha = 5$, а для $\alpha = 45$, $5\cos^2\alpha = \frac{5}{(\sqrt{2})^2} = 2{,}5$. Поэтому, надписи дѣленій на вертикальномъ кругѣ для горизонтальныхъ разстояній начнутся цифрой 5 и окончатся цифрой 2,5.

Точно также для $\alpha = 0$, $5\cos\alpha\sin\alpha = 0$; а для $\alpha = 45$, $5\cos\alpha\sin\alpha = \frac{5}{\sqrt{2}\sqrt{2}} = 2{,}5$. Поэтому, надписи на дѣленіяхъ части вертикальнаго круга, служащаго для вертикальныхъ разстояній, начнутся цифрой 0, а окончатся 2,5.

222. Описаніе высотомѣра-дальномѣра Тиши съ волосками, разстояніе между которыми можетъ измѣняться. Съ сѣточнымъ колѣномъ трубы соединенъ микрометръ M (черт. 275), и въ цилиндрической трубкѣ сѣточнаго колѣна прикрѣплены два сегмента C и D изъ мѣди, имѣющіе по вертикальнымъ своимъ хордамъ пазы, въ которыхъ могутъ передвигаться на небольшое разстояніе салазки AB при вращеніи головки M_1, соединенной съ барабаномъ M. Къ салазкамъ прикрѣпленъ волосокъ ef. Салазки имѣютъ четырехъ-угольный вырѣзъ $abcd$, противъ котораго расположены двѣ небольшихъ мѣдныхъ пластинки E и F, прикрѣпленныхъ винтами къ отрост-

камъ, идущимъ отъ C и D съ противоположной стороны. На пластинкѣ E натянутъ горизонтальный волосокъ. Въ пластинкѣ F сдѣланъ вырѣзъ, съ лѣвой стороны котораго прикрѣплена граблеобразная пластинка. Къ обѣимъ пластинкамъ E и F прикрѣпленъ также вертикальный волосокъ. Винтъ, соединяющій салазки съ барабаномъ M, имѣетъ гнѣздо въ утолщеніи сѣточнаго колѣна трубы. При вращеніи барабана или его головки M, винтъ, ввинчиваясь или вывинчиваясь изъ салазокъ, приводитъ ихъ въ движеніе; а штифтъ на противоположномъ концѣ, зажатый въ цилиндрѣ K, окруженный пружиною, удерживаетъ салазки въ постоянномъ напряженіи и уничтожаетъ мертвый ходъ винта. Натянутый на пластинкѣ E волосокъ неподвиженъ, волосокъ же, прикрѣпленный къ салазкамъ, движется при вращеніи барабана M. При вращеніи винта салазки упираются верхнимъ краемъ въ оправу коробки раньше, нежели подвижная нить дойдетъ до неподвижной, такъ что обѣ нити привести въ совпаденіе нельзя. Разстояніе между зубцами граблеобразной пластинки таково, что, когда подвижная нить проходитъ пространство отъ одного острія до другого, барабанъ дѣлаетъ полный оборотъ. Барабанъ M раздѣленъ на сто равныхъ частей, цифры поставлены чрезъ десять дѣленій. Такимъ образомъ, можно измѣрять при помощи микрометра и на глазъ тысячныя части разстоянія между зубцами граблеобразной пластинки.



Черт. 275.

Индексъ для чтенія по барабану придѣланъ къ сѣточному колѣну трубы.

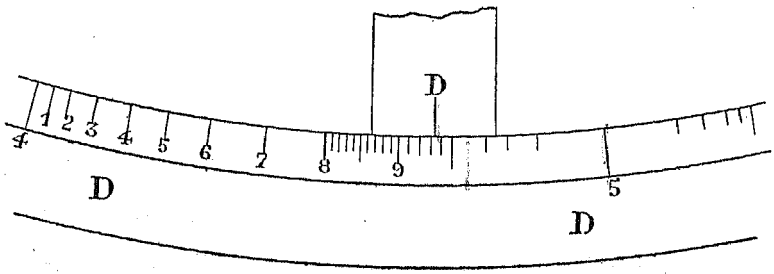
На одномъ концѣ горизонтальной оси вращенія трубы прикрѣпленъ вертикальный кругъ, двигающійся вмѣстѣ съ трубою. На немъ назначены дѣленія, соотвѣтствующія величинамъ $5\cos^2\alpha$ и $5\cos\alpha\sin\alpha$ для различныхъ угловъ α, отъ 0 до 45°.

Линія нулей вертикальнаго лимба означена цифрами 5 и 0. Отъ цифры 5 идутъ въ обѣ стороны круга дѣленія, служащія для измѣ-

ренія горизонтальныхъ разстояній (D). Съ противоположной стороны дѣленія 5 на вертикальномъ кругѣ поставлена цифра 0, отъ нея также идутъ дѣленія для опредѣленія высотъ (H).

На той части вертикальнаго круга, дѣленія которой предназначены для измѣренія горизонтальныхъ разстояній, поставлена буква D, на части вертикальнаго круга, предназначенной для измѣренія высотъ, поставлена буква H. На алидадѣ вертикальнаго круга нониусовъ нѣтъ, такъ какъ дѣленія неравныя.

Когда оптическая ось трубы горизонтальна, то дѣленія 0 и 5 вертикальнаго круга совпадаютъ съ индексами алидады D и H. На части вертикальнаго круга, означенной буквою D, на дѣленіяхъ поставлены большія цифры 5, 4 и 3, а на части круга съ буквою H поставлены



Черт. 276.

большія цифры 0, 1 и 2. Каждый промежутокъ между этими цифрами раздѣленъ на 100 неравныхъ частей, чрезъ каждыя 10 частей поставлены мелкія цифры на серебряномъ кружкѣ. На чертежѣ 276 показана та часть вертикальнаго круга, которая назначена для измѣренія горизонтальныхъ разстояній. Чтеніе у индекса равно 4,945.

Къ трубѣ высотомѣра придѣланъ уровень, имѣющій дѣленія сверху и снизу, для чего онъ помѣщенъ въ оправѣ съ двумя вырѣзами. Ось его параллельна оптической оси.

Второе стекло объектива можетъ быть передвинуто особой скобочкой. Этимъ передвиженіемъ можетъ быть исправленъ первый коэффиціентъ дальномѣра, для чего надо ослабить винтики, входящіе въ овальныя дыры.

223. Употребленіе дальномѣра-высотомѣра Тиши-Старке. Употребляется этотъ инструментъ слѣдующимъ образомъ. Установивъ плоскость лимба при помощи уровня горизонтально, вывинчиваютъ окуляръ до яснаго зрѣнія нитей, направляютъ трубу на отвѣсно установ-

ленную рейку, приводятъ изображеніе ея въ фокусъ объектива, передвиженіемъ сѣточнаго колѣна трубы, при томъ такъ, чтобы вертикальный волосокъ проходилъ по серединѣ рейки. Направляютъ трубу неподвижною нитью на нуль рейки, а если нулевое дѣленіе закрыто какимъ-либо препятствіемъ, то на какое-либо другое дѣленіе, закрѣпляютъ трубу и, въ точности, приводятъ неподвижную нить на выбранное дѣленіе рейки. Дѣлаютъ отсчеты у индексовъ D и H по вертикальному кругу. Положимъ, индексъ D дастъ отсчетъ 3.965. Тогда винтомъ M переводятъ подвижную нить отъ неподвижной на три зубца граблеобразной пластинки, поворачиваютъ барабанъ на столько, чтобы индексъ его показалъ 965, послѣ этого дѣлаютъ отсчетъ по рейкѣ между волосками. Полученное число, умноженное на 100, дастъ горизонтальное разстояніе между точками стоянія инструмента и рейки, въ тѣхъ единицахъ мѣры, въ какихъ сдѣлана рейка, т. е. въ саженяхъ или метрахъ. Затѣмъ надо передвинуть подвижной волосокъ винтомъ M, на столько, чтобы цѣлыхъ зубцовъ между нимъ и неподвижнымъ волоскомъ было столько, сколько цѣлыхъ единицъ въ числѣ, прочтенномъ на части вертикальнаго круга, означенной буквою H, дробная же часть этого числа назначается посредствомъ барабана такъ, чтобы индексъ его указывалъ на это число. Или говоря кратко, чтеніе по вертикальному кругу у индекса H точно такъ же переносится на барабанъ M, какъ и чтеніе при D. Число, прочтенное на рейкѣ между вновь раздвинутыми волосками, умноженное на 100, дастъ величину $\pm i$, или разность высотъ между дѣленіемъ рейки, покрытымъ среднимъ волоскомъ, и визирною горизонтальною осью трубы. Такъ что, если отмѣтка точки стоянія инструмента — H_0, высота оси вращенія инструмента — J, показаніе средняго волоска — V, то искомая H_1, отмѣтка точки стоянія рейки, опредѣлится на основаніи § 206, такими формулами:

$$H_1 = H_0 + J \pm (i - V), \quad \text{или} \quad H_1 = H_0 + J \mp (i + V).$$

Въ тѣхъ случаяхъ, когда отсчетъ по вертикальному кругу у индекса H получается очень малымъ,—такъ что его невозможно перенести на барабанъ, — надо слѣдовать такому правилу: числа, прочтенныя на кругѣ:

отъ	0,001	до	0,005	умножать	на 1000
„	0,006	„	0,050	„ „	100
„	0,051	„	0,5	„ „	10

На полученныя послѣ умноженія величины надо раздвинуть волоски. Прочтенныя же затѣмъ числа на рейкѣ между волосками въ 1-мъ случаѣ надо раздѣлить на 10, въ 3-мъ умножить на 10, а во 2-мъ ни дѣлить, ни умножать. Изъ всего этого видно, что высотомѣръ Тиши, даетъ возможность опредѣлять разстоянія и высоты необычайно быстро и просто.

Глава XXI.

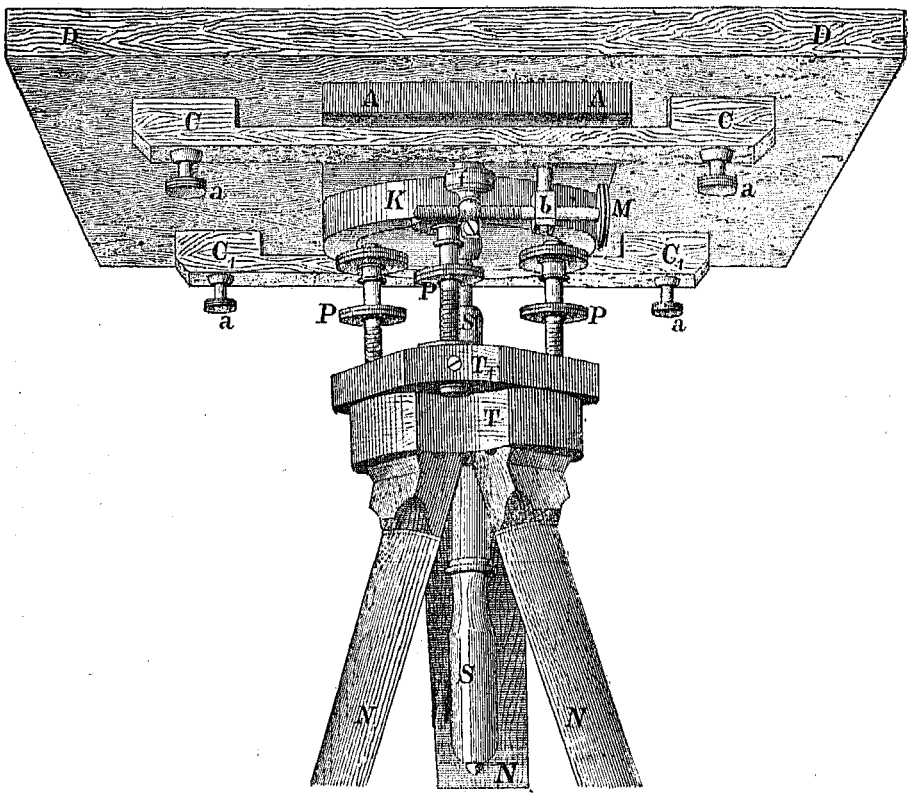
ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ГРАФИЧЕСКАГО ОПРЕДѢЛЕНІЯ УГЛОВЪ, ИЛИ МЕНЗУЛЫ.

224. Общее описаніе и назначеніе мензулъ. Главное отличіе и вмѣстѣ съ тѣмъ удобство этихъ инструментовъ предъ описанными выше состоитъ въ томъ, что при помощи ихъ горизонтальныя проекціи угловъ получаются не въ градусной величинѣ, а графически, построеніемъ ихъ на бумагѣ, и притомъ во время самаго производства работъ въ полѣ. Вслѣдствіе этого подобные инструменты, при хорошей погодѣ во время работъ, представляютъ большое преимущество предъ инструментами, дающими градусную величину угловъ. При дождливой или даже сырой погодѣ употребленіе ихъ становится невозможнымъ. Такіе инструменты, вообще, называются *мензулами* и состоятъ они изъ слѣдующихъ главныхъ частей: 1) *доски* (планшета), на которую наклеивается бумага для вычерчиванія на ней плана, и 2) *штатива*, служащаго для установки инструмента надъ точками мѣстности.

Мензульная доска дѣлается квадратною, длиною отъ 14 до 22 дюймовъ, изъ сухого липоваго или сосноваго дерева. Чтобы отъ сырости она не коробилась, ее склеиваютъ изъ нѣсколькихъ досокъ такимъ образомъ, чтобы волокна каждой изъ нихъ были перпендикулярны къ волокнамъ смежныхъ съ нею досокъ. Верхняя поверхность мензульной доски должна быть совершенно ровна и гладка, такъ какъ на ней наклеивается бумага для нанесенія плана.

Мензулы бываютъ весьма различнаго устройства, но всѣ онѣ отличаются другъ отъ друга только различнымъ устройствомъ подъемныхъ механизмовъ штативовъ.

225. Мюнхенская мензула Рейсига, усовершенствованная нашимъ военно-топографическимъ отдѣломъ главнаго штаба. Въ Россіи употребляется, главнымъ образомъ, мензула военно-топографическаго отдѣла главнаго штаба. Она представляетъ собою усовершенствованіе мюнхенской мензулы Рейсига, но все-таки мензула нашего



Черт. 277.

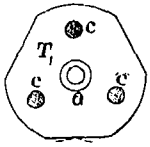
военно-топографическаго отдѣла имѣетъ несовершенство въ томъ отношеніи, что она недостаточно устойчива.

Къ штативу T_1TNNN прикрѣпляется (черт. 277) при помощи винта S, называемаго *становымъ винтомъ*, круглая доска K, поддерживаемая, кромѣ того, тремя подъемными винтами P, P, P, входящими въ фасонную доску T_1 (черт. 278), имѣющую съ одной стороны три штифтика c, c, c, входящіе въ отверстія d, d, d доски T верхней части треножника (черт. 279). Кругъ K скрѣпленъ съ продол-

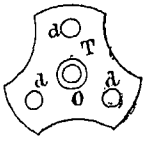
говатою доскою A, которая можетъ вращаться на кругѣ K и плотно скрѣпляться съ нимъ становымъ винтомъ S. При помощи особыхъ планокъ CC и C_1C_1 къ доскѣ A привинчивается мензульная доска DD четырьмя винтами a (черт. 277 и 280).

Становой винтъ S проходитъ свободно чрезъ круглыя центральныя отверстія доски T_1 и столика T треножника и ввинчивается въ гайку, придѣланную въ центрѣ доски K.

Къ кругу K придѣланъ мѣдный отростокъ f; въ немъ находится



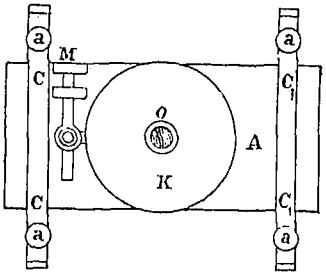
Черт. 278.



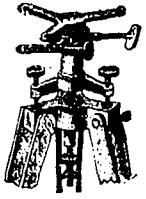
Черт. 279.

гайка для микрометреннаго винта M, гнѣздо же для этого винта находится въ мѣдномъ отросткѣ b, придѣланномъ къ доскѣ A.

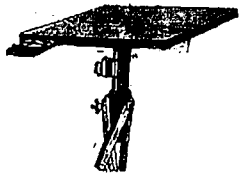
Такимъ образомъ, при помощи станового винта, установительный механизмъ инструмента T_1KPPP можетъ быть скрѣпленъ съ тре-



Черт. 280.



Черт. 281.



Черт. 282.

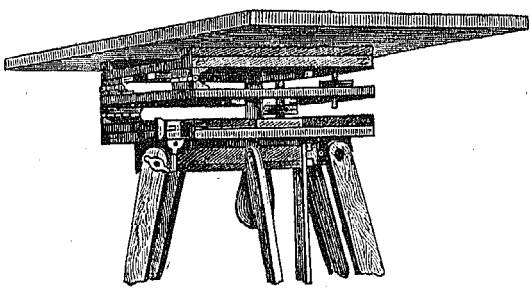
ножникомъ, а малыя передвиженія доскѣ A, а слѣдовательно, и доскѣ D, могутъ быть сообщаемы микрометреннымъ винтомъ M. Доску D называютъ часто *планшетомъ*, точно такъ же, какъ и бумагу, приклеиваемую къ доскѣ.

Въ послѣднее время въ мастерской военно-топографическаго отдѣла начали исполнять мензулы малаго размѣра и устройства подобнаго изображенному на чертежѣ 281-мъ. Въ ней мензульная доска привинчивается тремя винтами къ трехконечнику, видному вверху чертежа.

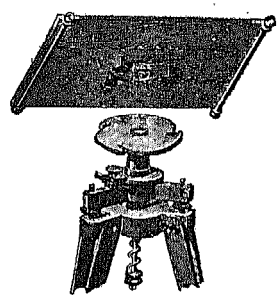
На чертежѣ 282 изображена, такъ называемая, учебная мензула;

доска ея имѣетъ 12×12 дюймовъ. Установка такой мензулы дѣлается только помощью треножника, такъ какъ подъемныхъ винтовъ въ ней не имѣется. Въ одномъ углѣ доски выдолблено небольшое отверстіе, въ которомъ помѣщенъ выдвижной компасъ.

На чертежѣ 283-мъ изображена мензула русскаго генерала Стефена. Она имѣетъ въ установительномъ механизмѣ два подъемныхъ винта и два шарнира и, благодаря этому, устойчивѣе большой мензулы военно-топографическаго отдѣла главнаго штаба. Но такъ



Черт. 283.

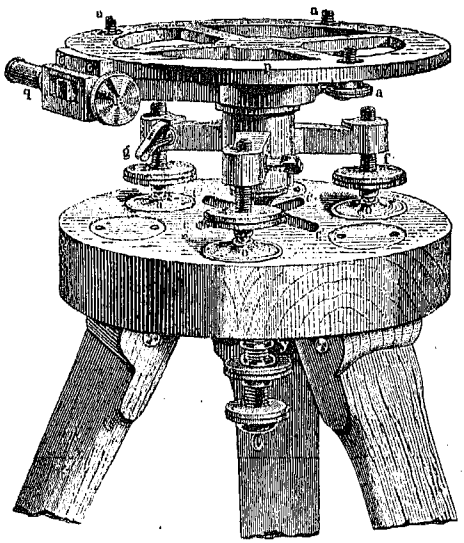


Черт. 283*a*.

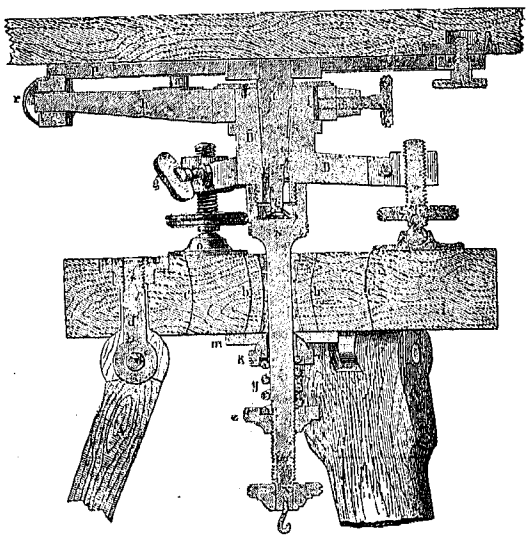
какъ она очень тяжела, то ее рѣдко употребляютъ въ дѣло. На чертежѣ 283*a* изображена мензула, употребляемая во Франціи.

226. Мензула Баурнфейндта. Чертежъ 284 представляетъ собою перспективное изображеніе штатива и установительнаго механизма мензулы Баурнфейндта, а чертежъ 285—разрѣзъ ея, сдѣланный по направленію діаметровъ круговъ *cc'* и *p*. Установительный механизмъ изъ мѣди покоится на кругѣ *cc'* треножника при помощи трехъ подъемныхъ винтовъ, оканчивающихся шариками, помѣщенными въ приливкахъ *o*; чтобы подъемные винты могли ввинчиваться въ свои гайки не слишкомъ свободно и не слишкомъ туго, имѣются винты *g*. Становой винтъ проходитъ чрезъ середину круга *cc* и своею гайкою можетъ быть навинченъ на отростокъ трехконечника *D* установительнаго механизма; въ нижней части становой винтъ имѣетъ винтовую нарѣзку, по которой можетъ ходить гайка *e*; между этой гайкой и мѣднымъ гнѣздомъ *m*, скрѣпленнымъ съ кругомъ *c*, помѣщается спиральная пружина; такимъ образомъ, когда становой винтъ свинченъ съ отросткомъ трехконечника *D*, то при помощи гайки *e* можно прижать пружину и тѣмъ сдѣлать соединеніе станового винта

съ установительнымъ механизмомъ еще болѣе устойчивымъ. Части трехконечника D отлиты вмѣстѣ со втулкою B, и въ этой послѣдней вращается коническая ось C (черт. 285), соединенная съ кругомъ p. Въ кругъ p ввинчены три винта a, при помощи которыхъ съ нимъ можетъ быть скрѣплена мензульная доска, снабженная, въ трехъ соотвѣтственныхъ мѣстахъ, мѣдными гайками, врѣзанными въ нее впотайную. При помощи зажимательнаго винта s и колодки i втулка B можетъ быть прижата къ оси вращенія, малыя же передвиженія можно давать



Черт. 284.



Черт. 285.

кругу p при помощи микрометреннаго винта r. Мензулу Баурнфейндта можно считать болѣе устойчивою, чѣмъ мензулу нашего военно-топографическаго отдѣла.

Изъ описанныхъ устройствъ мензулы видно, что если ее поставить такъ, чтобы вершина измѣряемаго угла на мѣстности проектировалась въ какую-нибудь точку на мензулѣ, и если верхнюю плоскость доски мензулы привести въ горизонтальное положеніе, а чрезъ назначенную точку провести слѣды визирныхъ плоскостей, направленныхъ по линіямъ даннаго на мѣстѣ угла, то на бумагѣ, наклеенной на доскѣ, получится горизонтальное проложеніе даннаго угла.

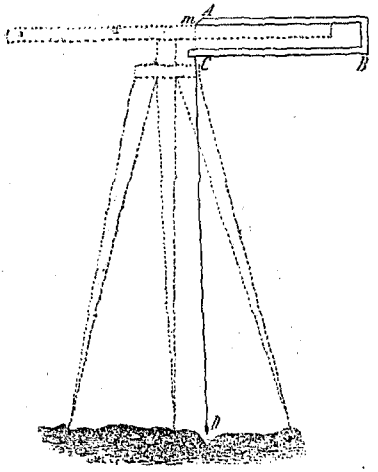
Для производства измѣренія угла на мензулѣ при ней должны быть слѣдующія принадлежности:

1) Снарядъ, называемый *вилкою*, для установки мензулы соотвѣтственною точкою надъ вершиною измѣряемаго угла.

2) Снарядъ, называемый *алидадною линейкою*, для визированія на точки мѣстности и проведенія соотвѣтственныхъ линій на бумагѣ.

3) Уровень, посредствомъ котораго доска мензулы можетъ быть приводима въ горизонтальное положеніе.

227. Вилка. Для проектированія точекъ земной поверхности на мензульную доску употребляютъ снарядъ, называемый *вилкою*. Вилка состоитъ изъ двухъ параллельныхъ деревянныхъ брусковъ *A* и *BC* (черт. 286). Нижній изъ нихъ немного длиннѣе верхняго, а оба бруска связываются особою дощечкою *B*. Въ концѣ бруска *A* закрѣпленъ мѣдный, заостренный штифтикъ *m*. Къ нижнему бруску *C*, подъ остріемъ *m*, прикрѣпляется шнуръ съ отвѣсомъ такимъ образомъ, что конецъ острія *m*, или конецъ индекса, находится на продолженіи отвѣсной линіи. Обхвативъ мензульную доску брусками вилки, послѣднюю подвигаютъ осторожно до тѣхъ поръ, пока тяжесть отвѣса не будетъ находиться надъ точкою земной поверхности, предполагаемою къ спроектированію на мензулу. Тогда остріе *m* укажетъ мѣсто этой проекціи на доскѣ.



Черт. 286.

Вилку надо употреблять лишь при съемкахъ въ крупныхъ масштабахъ, напр. 10 или 20 саж. въ дюймѣ. При масштабѣ съемки въ 50 саж. и болѣе въ дюймѣ, мензулу ставятъ ея центромъ надъ данною точкой. Ошибка, какая при этомъ образуется, слишкомъ мала, чтобы можно было выразить ее въ принятомъ масштабѣ, такъ какъ дѣйствительная ея величина не будетъ больше разстоянія центра мензулы отъ ея края, т. е. не болѣе одного фута, а такая ошибка въ сторонѣ, при масштабѣ даже 50 саженъ въ дюймѣ, выразится лишь тонкою чертою карандаша.

228. Алидада съ діоптрами. *Для визированія на точки мѣстности* и проведенія на мензульной доскѣ горизонтальныхъ проекцій линій

визированія, употребляется алидадная линейка, или алидада съ діоптрами. Снарядъ этотъ (черт. 287). состоитъ изъ мѣдной линейки, длиною равной ширинѣ мензульной доски и имѣющей на концахъ своихъ діоптры, прикрѣпленные къ ней винтами. Діоптры утверждаются на линейкѣ такъ, чтобы колимаціонная плоскость ихъ совпадала съ краемъ линейки, и для этого въ послѣдней дѣлается вырѣзъ. Фабриканты изготовляютъ также алидады, у которыхъ колимаціонная плоскость діоптровъ параллельна краю линейки.



Черт. 287.

229. Уровень. Для приведенія мензульной доски въ горизонтальное положеніе, къ линейкѣ алидады придѣлывается уровень. Приведеніе мензулы въ горизонтальное положеніе исполняется такимъ образомъ: ставятъ линейку съ уровнемъ на серединѣ доски — въ направленіи, приблизительно параллельномъ линіи, проходящей чрезъ оси какихъ-либо двухъ подъемныхъ винтовъ, и, дѣйствуя ими, приводятъ пузырекъ уровня на середину трубки; послѣ того ставятъ алидадную линейку въ положеніе, перпендикулярное къ первому, т. е. по направленію третьяго подъемнаго винта, и вращеніемъ послѣдняго ставятъ опять пузырекъ на середину трубки. Это дѣйствіе повторяютъ до тѣхъ поръ, пока пузырекъ при обоихъ положеніяхъ уровня не будетъ оставаться на срединѣ трубки. Иногда при мензулѣ употребляютъ круглый уровень. Надо замѣтить, что установить точно мензульную доску въ горизонтальномъ положеніи очень затруднительно; пузырекъ уровня постоянно отходитъ отъ середины на нѣсколько дѣленій, но это и не важно, такъ какъ наклоненіе плоскости мензульной доски, даже при нечувствительномъ уровнѣ, выразится лишь нѣсколькими десятками минутъ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда на предметномъ діоптрѣ алидады имѣются дѣленія, соотвѣтствующія градуснымъ дѣленіямъ, или тангенсамъ угловъ наклоненія, и, слѣдовательно, когда алидада служитъ высотомѣромъ, тогда, чтобы возможно было точно приводить ось уровня въ горизонтальное положеніе, линейку снабжаютъ однимъ или двумя подъемными винтами. Кромѣ того, въ этомъ случаѣ на діоптрѣ съ дѣленіями имѣется вдоль его зубчатка, по которой особымъ винтомъ можетъ перемѣщаться маленькая рама съ горизонтальнымъ волоскомъ. Вверху и внизу глазного діоптра имѣются маленькія круглыя от-

верстія. Линіи, проходящія чрезъ нулевыя дѣленія предметнаго діоптра и чрезъ круглыя отверстія глазного, служатъ горизонтальною визирною осью, когда ось уровня строго горизонтальна. Верхняя визирная ось служитъ для угловъ пониженія, а нижнія для угловъ повышенія. Линія, проходящая чрезъ одно круглое отверстіе и горизонтальный волосокъ рамки предметнаго діоптра, служитъ визирною линіею на предметы.

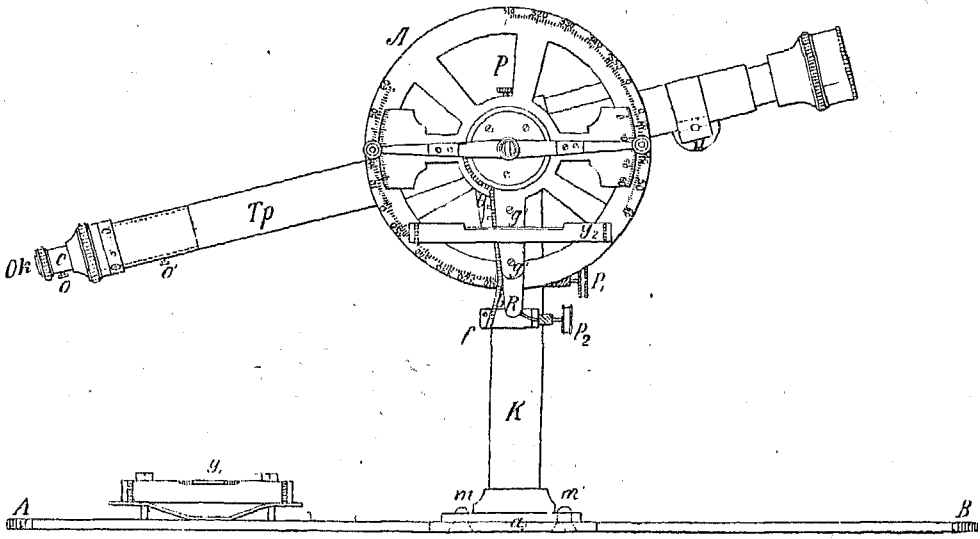
230. Измѣреніе угла при помощи мензулы и алидады. Когда мензула установлена горизонтально и вершина измѣряемаго угла спроектирована на мензулу, тогда прикладываютъ къ этой проекціи край линейки и понемногу поворачиваютъ линейку около назначенной точки до тѣхъ поръ, пока визирная плоскость діоптровъ не окажется по направленію одной изъ линій измѣряемаго угла; тогда по краю линейки проводятъ карандашемъ черту до проекціи данной точки. Ставятъ линейку по направленію 2-й линіи измѣряемаго угла, сначала приблизительно, затѣмъ приводятъ въ совпаденіе край линейки съ проекціею данной точки, передвигая линейку параллельно самой себѣ, и когда визирная плоскость діоптровъ въ точности находится по направленію 2-й линіи измѣряемаго угла, проводятъ черту карандашемъ по краю линейки до пересѣченія съ 1-ю линіею; полученный такимъ образомъ уголъ окажется, очевидно, равнымъ проекціи измѣряемаго на мѣстности угла.

231. Кипрегель. Визировать діоптрами на предметы, отдаленные или находящіеся значительно ниже или выше инструмента, всегда бываетъ затруднительно, а иногда даже невозможно, поэтому, вмѣсто алидады съ діоптрами, при мензулѣ употребляютъ алидаду съ зрительною трубою; такой инструментъ называется *кипрегелемъ*. Опишемъ сначала кипрегель, употребляемый при мензулахъ нашего военно-топографическаго отдѣла. Кипрегель этотъ состоитъ изъ мѣдной линейки AB, одинъ край ея скошенъ (черт. 288). На верхней площадкѣ линейки кипрегеля прикрѣпляется почти всегда уровень y.

На линейкѣ укрѣплена наглухо колонна K винтами m и m'. Колонна оканчивается вверху полымъ цилиндромъ, сдѣланнымъ изъ одного съ нею куска металла и расположеннымъ перпендикулярно къ колоннѣ; въ отверстіе этого цилиндра вкладывается ось вращенія зрительной трубы. Ось эта скрѣпляется съ цилиндромъ зажимательнымъ винтомъ; ослабивъ этотъ винтъ, трубу можно вращать около горизонтальной оси.

Къ одному концу оси вращенія, покоющейся во втулкѣ колонны, придѣлана зрительная труба, состоящая, какъ обыкновенно, изъ трехъ колѣнъ. На другомъ концѣ оси вращенія трубы кипрегеля придѣлывается наглухо вертикальный лимбъ, такъ что труба, вертикальный лимбъ и ось вращенія трубы составляютъ одно цѣлое, могущее получать движеніе при вращеніи трубы. Закрѣпляется ось вращенія трубы помощью зажимательнаго винта p, а малыя передвиженія сообщаются ей при помощи микрометреннаго винта p_1.

На втулку вертикальнаго круга надѣвается кольцо съ алидадой;

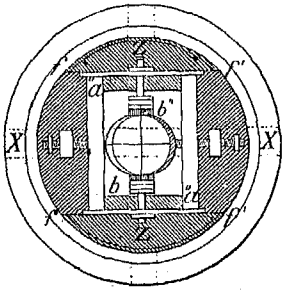


Черт. 288.

перпендикулярно къ алидадѣ придѣланъ къ тому же кольцу рычагъ R и пружина f, зажатые между штифтомъ и микрометреннымъ винтомъ p_2, прикрѣпленными къ колоннѣ. Къ рычагу R придѣланъ 2-й уровень y_2. Ось этого уровня ставится параллельно линіи нулей алидады, поэтому движеніе пузырька обнаруживаетъ перемѣщеніе линіи нулей алидады. При дѣйствіи же на рычагъ R микрометреннымъ винтомъ p_2, пузырекъ уровня устанавливается въ прежнее положеніе. На втулку вертикальнаго круга надѣвается еще второе кольцо съ двумя криволинейными рычажками; на ихъ концахъ придѣланы цилиндрическія оправы для лупъ, служащихъ для разсматриванія мелкихъ дѣленій нонiуса.

Объективное колѣно трубы кипрегеля вдвигается и выдвигается при помощи винта съ шестернею, окулярное колѣно выдвигается и вдвигается рукою. Сѣтка трубы состоитъ изъ двухъ перекрестныхъ нитей и, кромѣ того, еще изъ двухъ горизонтальныхъ нитей, укрѣпленныхъ на двухъ пластинкахъ (черт. 289) b и b, могущихъ передвигаться въ пазахъ рамочки aa винтами ZZ. Вся рамочка можетъ передвигаться также вправо и влѣво въ пазахъ f и f винтами XX.

Такимъ образомъ, описываемый кипрегель вмѣстѣ съ тѣмъ можетъ служить также, какъ и дальномѣръ. Въ кипрегеляхъ военно-топографическаго отдѣла главнаго штаба новѣйшаго устройства волоски сѣтки укрѣпляютъ неподвижно.



Черт. 289.

Вертикальный лимбъ раздѣленъ на градусы; надписи идутъ отъ каждаго конца линіи нулей въ обѣ стороны — отъ 0 до 60° и отъ 360° до 300° (черт. 290). Нули ноніусовъ совпадаютъ съ нулями лимба при горизонтальномъ положеніи визирной оси. Точность ноніуса равна $2'$. Кипрегеля военно-топографическаго отдѣла исполняются двухъ размѣровъ: для большихъ мензулъ длина линейки AB равна 20 дюймамъ, а колонна 8 дюймамъ, для маленькихъ мензулъ длина линейки равна 14 дюймамъ, а высота колонны 6 дюймамъ. Вертикальный кругъ въ большихъ кипрегляхъ имѣетъ 4 дюйма въ діаметрѣ, а въ меньшихъ $2^1/_2$ дюйма.

Устраиваютъ также кипрегели, отличающіеся отъ описаннаго тѣмъ, что къ оси вращенія трубы наглухо прикрѣпленъ секторъ (черт. 291) или вертикальный лимбъ, а къ колоннѣ—алидада съ ноніусомъ, для отсчитыванія вертикальныхъ угловъ. При помощи зажимательнаго винта алидаду можно скрѣплять съ лимбомъ, и тогда труба не можетъ вращаться. Малое движеніе въ отвѣсной плоскости ей сообщается микрометреннымъ винтомъ.

Описанными кипрегелями можно опредѣлять также градусную величину угловъ въ отвѣсной плоскости, а слѣдовательно, опредѣлять горизонтальныя разстоянія и высоты точекъ земной поверхности или отмѣтки ихъ способами, какіе были указаны въ главахъ XVIII и XIX. При помощи кипрегеля, изображеннаго на чертежѣ 292-мъ,

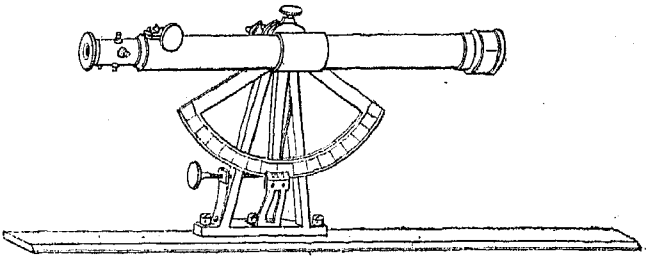
не имѣющаго вертикальнаго круга, можно получать углы только на горизонтальной плоскости.

232. Условія, которымъ долженъ удовлетворять вѣрный кипрегель. Такъ какъ кипрегель служитъ для измѣренія угловъ въ плоскостяхъ горизонтальной и вертикальной, то отъ вѣрно устроеннаго кипрегеля требуются слѣдующія условія:

1) Нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью и совершенно плотно прикасаться къ плоскости планшета, а скошенный



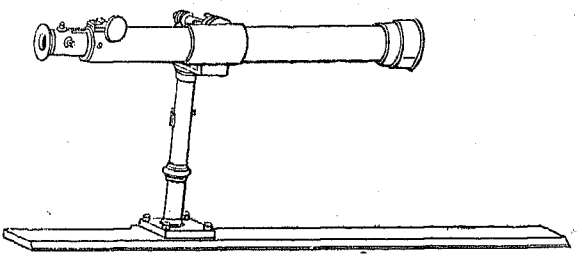
Черт. 290.



Черт. 291.

край ея долженъ быть прямой линіей. Условіе это вывѣряется сравненіемъ съ вывѣренною плоскостью.

2) Ось уровня кипрегеля должна быть параллельна плоскости



Черт. 292.

планшета. Если это условіе не соблюдено, то плоскость планшета нельзя установить въ горизонтальномъ положеніи.

3) Скошенный край линейки долженъ лежать въ плоскости, описываемой визирною осью, или же параллельно этой плоскости, смотря по тому, какъ устроенъ кипрегель. Если это условіе не соблюдено, то линіи, по которымъ визируютъ въ трубу, не совпадаютъ съ линіями, прочерченными по краю линейки.

4) Визирная ось трубы кипрегеля должна описывать, при вращеніи трубы, плоскость, что возможно, когда визирная линія перпендикулярна къ своей оси вращенія.

5) Визирная плоскость должна быть перпендикулярна къ нижней плоскости линейки, другими словами, визирная плоскость должна быть вертикальною, когда планшетъ приведенъ въ горизонтальное положеніе, что возможно, когда ось вращенія трубы горизонтальна.

6) Визирная ось должна быть горизонтальна, когда, по установкѣ инструмента, нуль ноніуса совпадаетъ съ нулемъ вертикальнаго лимба. Это условіе вывѣряется точно такъ же, какъ и въ теодолитахъ или пантометрахъ, смотря по тому, переводится ли труба кипрегеля чрезъ зенитъ, или не переводится чрезъ него.

233. Какъ узнать, параллельна ли ось уровня алидады или кипрегеля плоскости планшета. Устанавливаютъ уровень по двумъ подъемнымъ винтамъ, потомъ по третьему, прочерчиваютъ по краю линейки черту; снимаютъ алидаду или кипрегель съ планшета и прикладываютъ вновь линейку къ той же чертѣ, но такъ, чтобы концы линейки помѣнялись мѣстами. Если послѣ этого пузырекъ уровня остается на серединѣ трубки, то ось уровня параллельна плоскости планшета, въ противномъ случаѣ, она непараллельна, и исправленіе производится винтомъ при уровнѣ на половину отклоненія. Затѣмъ надо вновь привести ось уровня подъемными винтами въ горизонтальное положеніе (§ 169).

234. Какъ узнать, совпадаетъ ли скошенный край линейки кипрегеля съ плоскостью, описываемою визирною осью трубы. Условіе это вывѣряется слѣдующимъ образомъ: установивъ надлежаще мензулу въ горизонтальномъ положеніи и закрѣпивъ становой винтъ, направляютъ центръ сѣтки трубы на какую-нибудь отдаленную, но ясно видимую, невооруженнымъ глазомъ, точку, проводятъ карандашомъ по всему краю линейки кипрегеля линію на бумагѣ, наклеенной на мензульной доскѣ, снимаютъ кипрегель и въ двухъ крайнихъ точкахъ прочерченной линіи утверждаютъ отвѣсно иголки или особые маленькіе діоптры; если затѣмъ, визируя по этимъ иголкамъ, замѣтятъ, что онѣ покрываютъ точку, на которую визировали трубой, то это укажетъ, что прочерченная линія и визирная ось, проходящая чрезъ центръ сѣтки и центръ объектива, лежатъ въ одной отвѣсной плоскости. Но такъ какъ линія на бумагѣ проведена по краю

линейки кипрегеля, то, слѣдовательно, визирная ось и край линейки лежатъ въ одной плоскости. Если бы при визированіи по иголкамъ оказалось, что онѣ не покрываютъ той точки, которую покрывалъ центръ сѣтки трубы, то визирная ось и прочерченная линія, а слѣдовательно, и край линейки не лежатъ въ одной плоскости.

Исправленіе ненахожденія визирной оси и края кипрегеля въ одной отвѣсной плоскости производится слѣдующимъ образомъ: ослабляютъ становой винтъ, поворачиваютъ доску мензулы до тѣхъ поръ, пока иголки не покроютъ точки, выбранной для этой повѣрки; закрѣпляютъ становой винтъ, наводятъ точно иголки на выбранную точку микрометреннымъ винтомъ. Приставляютъ край линейки къ чертѣ на мензулѣ, тогда, очевидно, при визированіи центръ сѣтки не покроетъ выбранной точки, а для того, чтобъ онъ покрылъ ее, ослабляютъ тотъ винтъ, при которомъ на кипрегелѣ имѣется овальная дыра, поворачиваютъ колонну съ трубой на линейкѣ до совпаденія центра сѣтки съ выбранною точкою и закрѣпляютъ ослабленный повѣрительный винтъ. Если ошибка столь значительна, что исправленіе не можетъ быть произведено при помощи повѣрительнаго винта, то, чтобъ она не вліяла на вѣрность относительнаго расположенія измѣренныхъ угловъ, слѣдуетъ измѣрять или одни правые, или одни лѣвые углы.

235. Какъ узнать, описываетъ ли плоскость визирная или колимаціонная ось кипрегеля, т. е. перпендикулярна ли визирная ось къ оси вращенія трубы. Условіе это вывѣряется точно такъ же, какъ и въ пантометрѣ или теодолитѣ, смотря по тому, можно ли трубу кипрегеля переводить черезъ зенитъ, или нѣтъ. Если труба переводится чрезъ зенитъ, то повѣрка дѣлается слѣдующимъ способомъ: установивъ надлежащимъ образомъ мензулу и закрѣпивъ становой винтъ, визируютъ на какую-нибудь отдаленную, но ясно видимую невооруженнымъ глазомъ, точку, т. е. ставятъ кипрегель такъ, чтобы центръ сѣтки покрывалъ эту точку, проводятъ карандашомъ линію по краю линейки кипрегеля, тогда проведенная линія будетъ слѣдомъ плоскости, описываемой визирною линіей или проекціей визирной линіи, такъ какъ условіе 3-е уже удовлетворено; перекладываютъ кипрегель на 180°, т. е. такъ, чтобы концы линейки кипрекеля перемѣнили свои мѣста, а край линейки прикасался въ точности къ прочерченной линіи; этимъ дѣйствіемъ поворачиваютъ ось вращенія трубы

кипрегеля на 180° около проекціи визирной линіи; если послѣ поворота ось вращенія сохраняетъ свое прежнее положеніе, то она перпендикулярна къ визирной линіи (§ 168).

Чтобы убѣдиться, сохраняетъ ли ось вращенія прежнее положеніе послѣ поворота на 180°, переводятъ трубу черезъ зенитъ и, если увидятъ, что центръ сѣтки покроетъ ту же точку, на которую раньше визировали, то это укажетъ, что визирная ось, а слѣдовательно, и неразрывно съ ней связанная ось вращенія, сохранила прежнее положеніе, т. е. ось вращенія и ось визирная другъ къ другу перпендикулярны, а слѣдовательно, послѣдняя линія описываетъ плоскость.

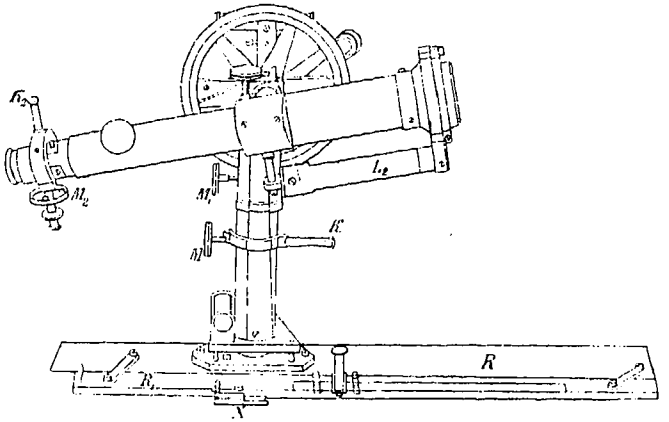
Если же послѣ перевода трубы черезъ зенитъ центръ сѣтки не покроетъ той точки, на которую визировали трубой, то это укажетъ, что визирная линія не сохранила прежняго положенія, а слѣдовательно, не сохранила его и ось вращенія, т. е., что ось вращенія неперпендикулярна къ визирной линіи.

Чтобы сдѣлать визирную ось перпендикулярною къ оси вращенія, надо произвести исправленіе боковыми винтами при сѣткѣ, дѣйствуя ими до тѣхъ поръ, пока центръ сѣтки не отойдетъ на половину отклоненія своего отъ прежняго положенія (§ 168). Конечно, эта повѣрка повторяется нѣсколько разъ.

236. Какъ узнать, горизонтальна ли ось вращенія трубы кипрегеля, когда мензула установлена, или какъ узнать, описываетъ ли визирная ось при вращеніи плоскость отвѣсную, а не наклонную. Повѣрка горизонтальности оси вращенія трубы кипрегеля, когда мензула установлена, производится по отвѣсу или искусственному горизонту (§ 196), причемъ, если окажется, что условіе это не удовлетворено, то исправленіе производится тѣмъ винтомъ, при помощи котораго можно колонну кипрегеля наклонять, а слѣдовательно, сообщать оси вращенія трубы горизонтальное положеніе.

237. Описаніе тахеометрическаго кипрегеля Тиши. Тахеометрическій кипрегель Тиши (черт. 293 и 294) имѣетъ двѣ линейки: широкую R и узкую R_1, соединенныя между собою четырьмя шарнирами, такъ что онѣ составляютъ подвижной параллелограммъ. Вдоль узкой линейки можетъ двигаться въ пазѣ другая, на которую нанесены два масштаба: одинъ въ $\frac{1}{1000}$, другой въ $\frac{1}{2500}$. На масштабной линейкѣ расположена подвижная рамка съ двумя различ-

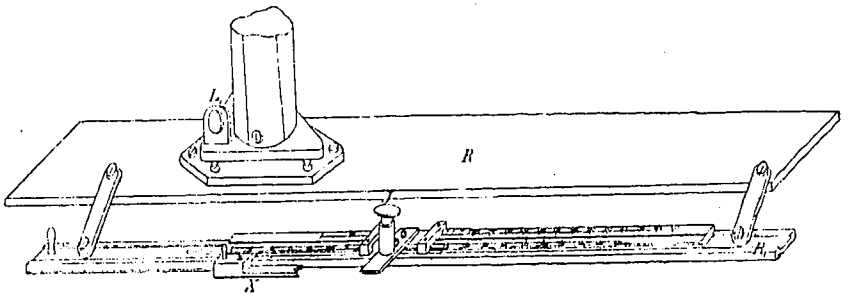
ными ноніусами для обоихъ масштабовъ, съ точностью въ $\frac{1}{10}$ дѣленія. Если нули ноніусовъ рамки совпадаютъ съ нулями масштабовъ, то остріе иглы, придѣланной къ рамкѣ, приходится надъ центральнымъ отверстіемъ пластинки X масштабной линейки. Масштабная



Черт. 293.

линейка центральнымъ отверстіемъ части X устанавливается надъ точкой мензулы, изображающей точку стоянія инструмента.

Все это устройство избавляетъ отъ необходимости марать чертежъ лишними линіями и приставлять весь кипрегель ближе къ точкѣ,



Черт. 294.

изображающей точку стоянія инструмента; для этой цѣли достаточно передвинуть лишь узкую линейку кипрегеля Тиши.

На широкой линейкѣ, ближе къ одному концу, придѣланъ треугольникъ, при помощи двухъ шарнировъ и винта, могущій измѣнять немного свое положеніе относительно линейки. Къ этому треугольнику наглухо прикрѣплена колонна кипрегеля, на ней покоится

горизонтальная ось вращенія трубы, которая можетъ быть приведена въ горизонтальное положеніе. Отростокъ отъ клещей, зажимающихъ трубу, входитъ внутрь колонны и удерживается тамъ микрометрическимъ винтомъ M и пружиннымъ штифтомъ, помѣщеннымъ въ цилиндрѣ K. Труба, переводимая чрезъ зенитъ, прикрѣплена къ одному концу оси вращенія такимъ образомъ, что визирная плоскость параллельна алидадной линейкѣ, а слѣдовательно, и линіи, проходящей чрезъ центральную точку и остріе.

Къ вышеупомянутому треугольнику, укрѣпленному на широкой линейкѣ, придѣланъ уровень L_1, ось коего приводится въ горизонтальное положеніе винтомъ — невиднымъ за колонною — независимо отъ того, горизонтальна ли, или нѣтъ мензульная доска.

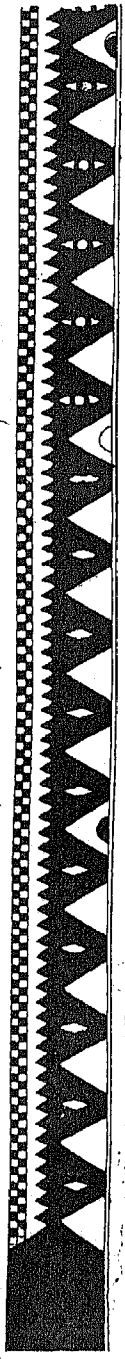
Къ трубѣ придѣланъ уровень L_2, имѣющій дѣленія сверху и снизу, и потому онъ помѣщенъ въ оправѣ съ двумя вырѣзами. Ось его параллельна оптической оси. Труба кипрегеля имѣетъ объективную систему Парро; въ ней помѣщается также дальномѣръ съ перемѣннымъ разстояніемъ между волосками, такого точно устройства, какъ описано въ §§ 221, 222 и 223. Винтъ M_2 служитъ для перемѣщенія подвижного волоска сѣтки.

На вертикальномъ кругѣ нанесены дѣленія въ діаметрально-противоположныя стороны отъ обоихъ концовъ линіи нулей, означенной цифрами 0 и 5. Дѣленія, идущія отъ цифры 5, служатъ для опредѣленія горизонтальныхъ разстояній. Дѣленія же, назначенныя для опредѣленія разности высотъ, начинаются нулемъ.

При горизонтальности оптической оси трубы и оси уровня L_2, дѣленія 0 и 5 должны совпадать съ индексами D и H. Отъ точекъ 5 и 0 дѣленія идутъ въ обѣ стороны почти до 45°. Дѣленія обозначены на мѣдномъ ободкѣ круга съ буквами D цифрами 5, 4 и 3, а на ободкѣ съ буквами H — цифрами 0, 1 и 2; каждый промежутокъ между этими цифрами раздѣленъ на 100 неравныхъ частей, чрезъ каждыя десять частей поставлены мелкія цифры на серебряномъ кругѣ.

238. Рейка, употребляемая при тахеометрическомъ кипрегелѣ. Необходимая принадлежность тахеометрическаго кипрегеля — рейка (черт. 295) имѣетъ длину 2,8^m. На высотѣ 1,5^m отъ подошвы къ ней прикрѣплены на шарнирахъ двѣ раздвижныя ножки. Укорачивая или удлиняя ножки, рейку можно установить совершенно отвѣсно,

для чего со стороны ножекъ къ рейкѣ придѣланы въ коробкѣ два маленькихъ уровня. Нулевое дѣленіе рейки поставлено на 30 сантиметровъ выше обитой желѣзомъ закругленной скошенной ея подошвы и означено вершиной бѣлаго треугольника. На пространствѣ же этихъ 30-ти сантиметровъ рейка окрашена въ черную краску. Полуметры означены съ правой стороны рейки центрами черныхъ и красныхъ полукруговъ на бѣлыхъ треугольникахъ, вершины которыхъ отстоятъ другъ отъ друга на дециметръ. Лѣвая часть рейки раздѣлена на два ряда прямоугольниковъ, расположенныхъ такъ, что бѣлый приходится противъ чернаго. Каждый изъ этихъ четыреугольниковъ равенъ сантиметру, и такихъ дѣленій имѣется, слѣдовательно, 250.



Черт. 295.

239. Употребленіе тахеометрическаго кипрегеля. Употребляется этотъ инструментъ слѣдующимъ образомъ. Устанавливаютъ мензулу горизонтально, при помощи особаго уровня, ось котораго должна быть параллельна плоскости планшета, затѣмъ устанавливаютъ ось вращенія трубы кипрегеля горизонтально при помощи уровня L_1, находящагося за колонною (черт. 293).

Вывинчиваютъ окуляръ до яснаго зрѣнія нитей, направляютъ трубу на отвѣсно установленную рейку, приводятъ изображеніе ея передвиженіемъ сѣтчатаго колѣна трубы въ фокусъ объектива (§ 137) притомъ такъ, чтобы вертикальный волосокъ проходилъ по серединѣ рейки. Кипрегель подвигаютъ къ точкѣ, изображающей на мензулѣ точку стоянія инструмента, чтобы середина колонны пришлась противъ этой точки, и край подвижной линейки, плотно приложенной къ широкой, былъ отъ этой точки на разстояніи не болѣе сантиметра. Уровни L_1 и L_2 приводятъ, въ точности, въ горизонтальное положеніе. Направляютъ трубу неподвижной нитью на нуль рейки, а если нулевое дѣленіе закрыто какимъ-либо препятствіемъ, то на какое-либо другое дѣленіе, но лучше на полуметры; закрѣпляютъ трубу и, въ точности, приводятъ неподвижную нить на выбранное дѣленіе рейки. Дѣлаютъ отсчеты у индексовъ D и H по вертикальному кругу. Положимъ, индексъ D

дастъ отсчетъ 2.785. Тогда винтомъ M_2 микрометра сѣтки переводятъ подвижную нить отъ неподвижной на два зубца граблеобразной пластинки, поворачиваютъ барабанъ винта M_2 на столько, чтобы индексъ показалъ 785, и дѣлаютъ отсчетъ по рейкѣ между волосками. Полученное число, выраженное въ метрахъ и умноженное на 100, дастъ горизонтальное разстояніе между точками стоянія инструмента и рейки (§ 223).

Найденное горизонтальное разстояніе наносится, въ томъ или другомъ масштабѣ, на планшетъ, для чего, передвинувъ раму съ иголкою J (черт. 294), чтобы нуль ноніуса показалъ требуемое разстояніе, переводятъ линейку за пуговку до совпаденія центральнаго вырѣза пластинки X съ точкою, изображающею точку стоянія инструмента, и, удерживая линейку въ этомъ положеніи, накалываютъ иглой J. Полученная такимъ образомъ точка будетъ изображать проекцію точки стоянія рейки. Вокругъ нея обводится карандашомъ кружечекъ.

Чтеніе по вертикальному кругу у индекса H точно такъ же переносится на барабанъ M_2, какъ и чтеніе при D. Число, прочтенное, послѣ этого, на рейкѣ между волосками и умноженное на 100, дастъ величину $\pm i$, или разность высотъ между дѣленіемъ рейки, которое покрывается неподвижнымъ волоскомъ, и горизонтальною осью вращенія трубы (черт. 274). Такъ что, если отмѣтка точки стоянія инструмента—H_0, высота оси вращенія инструмента—J, средняя ариѳметическая показаній обоихъ волосковъ—v, то искомая H_1, отмѣтка точки стоянія рейки, опредѣлится такими формулами:

$$H_1 = H_0 + J \pm (i - v), \text{ или } H_1 = H_0 + J - (i + v).$$

Полученная величина H_1 вычисляется въ особомъ журналѣ и надписывается на мензулѣ около точки, назначенной иглой.

Тахеометрическій кипрегель, какъ сказано выше, кромѣ того, можетъ быть употребляемъ, какъ и всякій другой кипрегель.

240. Повѣрки тахеометрическаго кипрегеля. Вѣрный тахеометрическій кипрегель долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1) Ось уровня для приведенія мензулы въ горизонтальное положеніе должна быть параллельна плоскости планшета.

2) Ось отдѣльнаго маленькаго уровня, назначеннаго для повѣрки

горизонтальности оси вращенія трубы, должна быть параллельна этой оси.

3) Ось уровня L_1 должна быть параллельна оси вращенія трубы.

4) Когда подвижная нить находится противъ острія нижняго зубца граблеобразной пластинки, и индексъ совпадаетъ съ нулемъ барабана, то разстояніе между нитями должно, въ точности, соотвѣтствовать пяти оборотамъ барабана.

5) Ось уровня L_2 должна быть параллельна оптической оси трубы.

6) При горизонтальности оптической оси трубы и оси уровня L_3, дѣленія вертикальнаго круга 0 и 5 должны совпадать съ индексами H и D алидады.

7) При горизонтальности оси вращенія трубы, визирная плоскость, описываемая визирною осью, должна быть перпендикулярна къ оси вращенія трубы.

8) Горизонтальные волоски должны быть дѣйствительно горизонтальны.

9) Визирная плоскость должна быть параллельна краю подвижной линейки.

10) Коэффиціентъ дальномѣра долженъ быть, въ точности, равенъ ста.

11) Дѣленія вертикальнаго круга должны быть сдѣланы совершенно точно самимъ механикомъ, такъ какъ исправленія въ этомъ отношеніи невозможны.

Повѣрки 1, 2, 5, 7, 8, 9 и 10 изслѣдуются обыкновеннымъ путемъ, какъ, вообще, повѣряются уровни и кипрегели; поэтому здѣсь надо сказать лишь о повѣркахъ 3, 4 и 6.

3) *Ось уровня L_1 должна быть параллельна оси вращенія трубы.* Для этой повѣрки зажимательный винтъ трубы вывинчиваютъ изъ клещей, ставятъ отдѣльный маленькій уровень на горизонтальную ось вращенія трубы, приводятъ ось уровня въ горизонтальное положеніе винтомъ P, находящимся за колонной. Если ось уровня L_1 при этомъ окажется горизонтальной, то, очевидно, она параллельна оси вращенія трубы, въ противномъ случаѣ, надо повѣрительнымъ винтомъ уровня L и винтомъ P поставить пузырекъ на средину трубки уровня, дѣйствуя каждымъ изъ этихъ винтовъ на половину отклоненія (§ 169).

4) *Когда подвижная нить находится противъ острія нижняго*

зубца граблеобразной пластинки, и индексъ совпадаетъ съ нулемъ барабана, то разстояніе между нитями должно, въ точности, соотвѣтствовать пяти оборотамъ барабана. Нити такъ поставлены, что довести ихъ до совпаденія нельзя, поэтому, чтобы изслѣдовать, соотвѣтствуетъ ли показаніе нуля барабана неподвижной нити, употребляютъ такой пріемъ: измѣряютъ лентой отъ центра инструмента разстояніе, напр., равное 100^m, ставятъ на этомъ разстояніи рейку и наводятъ на нее трубу. Установивъ винтомъ M неподвижную нить на какое-либо дѣленіе, означающее полуметры, переводятъ подвижную нить винтомъ M_2 на два дециметра: положимъ, барабанъ при этомъ сдѣлаетъ почти цѣлый оборотъ, и чтеніе на барабанѣ будетъ a_1; затѣмъ, подвижную нить переводятъ по рейкѣ на одинъ метръ, при этомъ барабанъ сдѣлаетъ около 5 оборотовъ, и показаніе индекса, положимъ, будетъ a_5, считая и число оборотовъ, сдѣланныхъ барабаномъ. Пусть разстояніе между волосками не соотвѣтствуетъ строго 5 оборотамъ барабана, и разность, выраженная въ дѣленіяхъ барабана, равна x, тогда, очевидно, связь между величинами a_1, a_5 и $\pm x$ выразится уравненіемъ:

$$5\,(a_1 \pm x) = a_5 \pm x, \text{ откуда } \pm x = \frac{5a_1 - a_5}{4}.$$

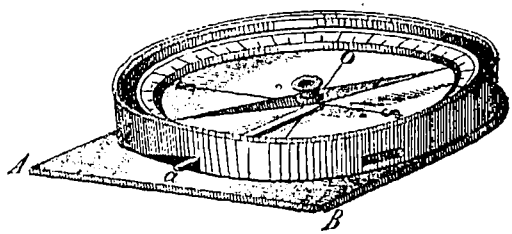
Если $5\,a_1 = a_5$, то $\pm x = 0$, и, слѣдовательно, разстояніе между волосками строго соотвѣтствуетъ 5 оборотамъ барабана. Въ противномъ случаѣ, надо передвинуть барабанъ на гайкѣ относительно индекса, въ ту или другую сторону, на величину $\pm x$. Съ этою цѣлью барабанъ съ гайкою отвинчиваютъ отъ микрометрической коробки, къ нижней части гайки прикрѣпляютъ особый индексъ, ставятъ его противъ нуля барабана и въ этомъ положеніи закрѣпляютъ его. Слѣдовательно, новый индексъ и гайка составляютъ теперь одно неразрывное цѣлое. Ослабляютъ три винтика, соединяющіе барабанъ съ гайкою, проходящіе, съ цѣлью описываемаго исправленія, чрезъ продолговатыя дыры, сдѣланныя въ барабанѣ, барабанъ поворачиваютъ на гайкѣ, пока индексъ не укажетъ величины равной $\pm x$, и въ этомъ положеніи три винтика барабана закрѣпляютъ. Такимъ образомъ удается вполнѣ точно сдѣлать исправленіе, послѣ чего барабанъ съ гайкою ставится на свое мѣсто.

6) *При горизонтальности оптической оси трубы и оси уровня L_3, дѣленія вертикальнаго круга 0 и 5 должны совпадать съ индек-*

сами H и D алидады. Трубу приводятъ въ горизонтальное положеніе по уровню L_2 винтомъ M. Индексы H и D алидады ставятъ винтомъ M_1 въ совпаденіе съ дѣленіями 0 и 5; тогда пузырекъ уровня L_3 долженъ быть на серединѣ, если же этого не окажется, то пузырекъ уровня L_3 приводятъ на середину его повѣрительными винтами.

241. Оріентиръ-буссоль. Мензула употребляется для полученія плана какого-либо участка земли. Чтобы было извѣстно положеніе линій снятаго участка относительно странъ свѣта, при мензулѣ употребляется, такъ называемая, *оріентиръ-буссоль.*

Оріентиръ-буссоль устраивается совершенно такъ, какъ и описанная въ § 147-мъ, но только она безъ алидады и діоптровъ. Ко дну коробки придѣлывается мѣдная дощечка, обрѣзанная съ одной стороны по прямой линіи AB (черт. 296), параллельной діаметру, проходящему черезъ линію нулей буссоли; такое устройство даетъ возможность читать румбы или азимуты линій, начерченныхъ на планшетѣ. Стоитъ только буссоль приложить къ какой-нибудь линіи краемъ AB, тогда по стрѣлкѣ можно читать наклоненія къ ней линіи нулей, а слѣдовательно, и той линіи, къ которой приложенъ край AB. Чтобы прижать стрѣлку къ стеклу коробки буссоли, надо крышку повернуть вправо, тогда рычажокъ, подымающій стрѣлку, будетъ придавленъ въ выступающемъ изъ коробки концѣ.



Черт. 296.

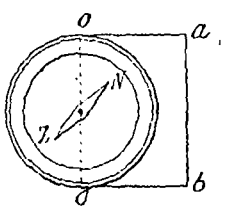
Оріентиръ-буссоли дѣлаютъ и такого вида, какъ изображено на чертежѣ 298-мъ. При помощи такихъ буссолей нельзя читать азимутовъ или румбовъ всякихъ линій, начерченныхъ на планшетѣ, такъ какъ на нихъ нѣтъ полнаго круга. Подобная буссоль устраивается въ учебныхъ мензулахъ.

Чтобы вывѣрить, — дѣйствительно-ли край ab (черт. 297) параллеленъ линіи нулей, поступаютъ такъ: установивъ мензулу и закрѣпивъ становой винтъ, кладутъ буссоль на мензульную доску съ наклеенной бумагой, поворачиваютъ оріентиръ-буссоль до тѣхъ поръ, пока магнитная стрѣлка, въ точности, не станетъ по линіи нулей; тогда

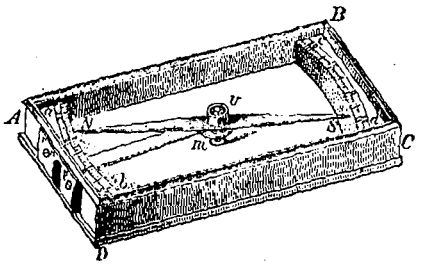
проводятъ карандашомъ линію по краю *ab* (черт. 297), въ среднюю точку этой линіи втыкаютъ особый шпинекъ, такой же, какъ шпиль буссоли, на которомъ виситъ магнитная стрѣлка, но имѣющій на обоихъ концахъ острія, вынимаютъ магнитную стрѣлку изъ коробки буссоли и вѣшаютъ ее на воткнутый шпинекъ.

Если ось магнитной стрѣлки, послѣ того какъ стрѣлка успокоится, покроетъ прочерченную линію, то—она параллельна краю коробки буссоли, по которому была прочерчена карандашомъ линія.

Если же ось магнитной стрѣлки не покроетъ прочерченной линіи, то край *ab* непараллеленъ линіи нулей буссоли. Чтобы узнать



Черт. 297.



Черт. 298.

величину угла ошибки, надо поступить такъ: микрометреннымъ винтомъ поворачиваютъ мензульную доску до тѣхъ поръ, пока ось магнитной стрѣлки не придетъ въ совпаденіе съ прочерченной линіей, т. е. до тѣхъ поръ, пока эта линія не станетъ по направленію магнитнаго меридіана; затѣмъ вѣшаютъ стрѣлку въ коробку оріентиръ-буссоли и прикладываютъ край коробки AB къ прочерченной линіи; когда стрѣлка успокоится, тогда показаніе у сѣвернаго конца магнитной стрѣлки укажетъ величину угловой ошибки отъ непараллельности линіи нулей буссоли и края коробки.

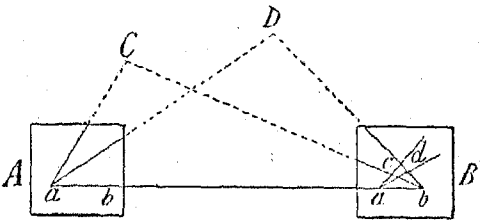
Другія повѣрки оріентиръ-буссоли исполняются такъ же, какъ и прочихъ буссолей (Глава XII).

242. Какъ установить мензулу по странамъ свѣта, или какъ оріентировать ее по странамъ свѣта. Оріентировать мензулу по странамъ свѣта значитъ поставить ее такъ, чтобы два параллельныхъ края планшета были направлены по магнитному меридіану. Для этого, установивъ мензулу надлежащимъ образомъ въ горизонтальное положеніе, ставятъ оріентиръ-буссоль краемъ AB въ совпаденіе съ краемъ планшета, вращаютъ мензульную доску до тѣхъ

поръ, пока магнитная стрѣлка буссоли не станетъ по линіи нулей; тогда линія нулей, а слѣдовательно, край AB и край планшета находятся по направленію магнитнаго меридіана.

243. Какъ оріентировать мензулу по данной линіи. Оріентировать мензулу по данной линіи значитъ изображеніе ab (черт. 299) данной линіи на мензулѣ и данную на мѣстности линію AB установить въ одной отвѣсной плоскости или плоскостяхъ параллельныхъ. Это дѣлается такъ: ставятъ точку a мензулы надъ точкой A мѣстности. Край линейки кипрегеля приводятъ въ совпаденіе съ линіей ab, поворачиваютъ мензулу до тѣхъ поръ, пока вертикальный волосокъ трубы не покроетъ вѣшекъ, находящихся на линіи AB, тогда мензула оріентирована по линіи AB.

244. Опредѣленіе положенія точекъ прямою засѣчкою по точкамъ, уже опредѣленнымъ и имѣющимся на мензулѣ. Кромѣ измѣренія угловъ, мензула, главнымъ образомъ, употребляется для опредѣленія положенія различныхъ точекъ мѣстности, по отношенію къ какимъ-либо опредѣленнымъ линіямъ и точкамъ. Это дѣлается слѣдующимъ образомъ: установивъ мензулу, оріентируютъ ее по странамъ свѣта и отмѣчаютъ на планшетѣ при помощи вилки точку a, находящуюся отвѣсно надъ точкою A, или ставятъ центръ мензулы надъ точкою A, смотря по масштабу съемки (§ 227). Затѣмъ, приставивъ къ этой точкѣ край линейки кипрегеля или алидады съ діоптрами, визируютъ на точки B, C и D и, вообще, на всѣ точки, которыя желаютъ получить на мензулѣ; проводятъ карандашомъ по краю алидады, послѣ всякаго визированія, линію до края планшета; такимъ образомъ на бумагѣ получаются направленія линій AB, AC и AD (черт. 299); чтобы не спутать одно направленіе съ другимъ, надписываютъ на каждой изъ линій цвѣта или названія сигналовъ, стоявшихъ въ визированныхъ точкахъ. Напр., если визировали на вѣшку съ бѣлымъ флагомъ, то надписываютъ на прочерченномъ направленіи букву $б$ и т. п. Измѣряютъ цѣпью, напримѣръ, линію AB, наносятъ ее въ опредѣленномъ масштабѣ отъ точки a



Черт. 299.

на соотвѣтствующемъ ей направленіи и получаютъ точку b. Такимъ образомъ на мензулѣ получатся двѣ точки a и b. Снимаютъ мензулу и въ точкѣ A ставятъ вѣшку. Переносятъ мензулу въ точку B и устанавливаютъ ее такъ, чтобы точка b мензулы приходилась отвѣсно надъ точкою B мѣстности; *оріентируютъ* мензулу уже не по странамъ свѣта, а по линіи AB (§ 243), т. е. поворачиваютъ мензульную доску такъ, чтобы линіи ab и AB лежали въ одной отвѣсной плоскости. Потомъ ставятъ край кипрегеля къ точкѣ b и визируютъ на точки C и D; послѣ каждаго визированія проводятъ карандашомъ *короткія* линіи въ мѣстахъ пересѣченія линейки съ прочерченными уже линіями при визированіи изъ A на соотвѣтствующія вѣшки, и точки пересѣченія обводятъ кружочками, а прочерченныя линіи стираютъ резиною, оставляя концы линій нестертыми, такъ какъ прочерченныя линіи могутъ оказаться необходимыми на случай повѣрки. Тогда получатся на мензулѣ треугольники acb и adb, подобные треугольникамъ ACB и ADB, такъ какъ соотвѣтствующіе углы въ нихъ равны.

Такимъ образомъ получаются положенія точекъ c и d относительно прямой ab на планѣ. Этотъ способъ опредѣленія точекъ по двумъ даннымъ на мензулѣ точкамъ a и b называется *прямою засѣчкою*, или *засѣчкою впередъ*. Слѣдовательно, при этой засѣчкѣ въ опредѣляемую точку мензула не ставится.

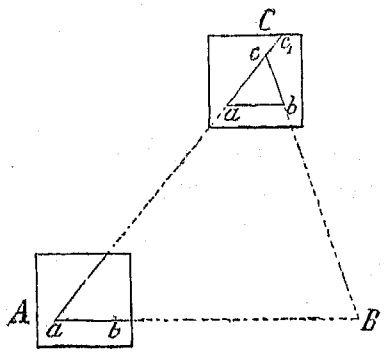
Число точекъ, опредѣляемыхъ съ одного базиса прямою засѣчкою, не слѣдуетъ брать болѣе 10-ти, лучше же не болѣе 6-ти, иначе, легко спутать однѣ точки съ другими, послѣ того какъ мензула будетъ перенесена изъ точки A въ точку B. При этомъ можно совѣтовать дѣлать флаги только изъ бѣлой и красной матеріи, такъ какъ другіе цвѣта издали легко смѣшиваются одни съ другими. Полезно имѣть шесть вѣшекъ съ слѣдующими флагами: 1) бѣлый, 2) красный, 3) сшитый изъ двухъ кусковъ матеріи: вверху бѣлой, внизу красной; такой флагъ слѣдуетъ означать на линіи визированія знакомъ $\frac{б}{к}$, 4) вверху красный, внизу бѣлый, знакъ его $\frac{к}{б}$, 5) сшитый изъ двухъ кусковъ: ближе къ вѣшкѣ бѣлый, а дальше отъ нея красный; знакъ такого флага б|к, и 6) изъ красной матеріи ближе къ вѣшкѣ и бѣлой дальше отъ вѣшки, знакъ его к|б.

Точки мѣстности, означенныя какими-нибудь предметами, какъ, напр., крестъ колокольни, труба зданія, верстовой столбъ, отдѣльно

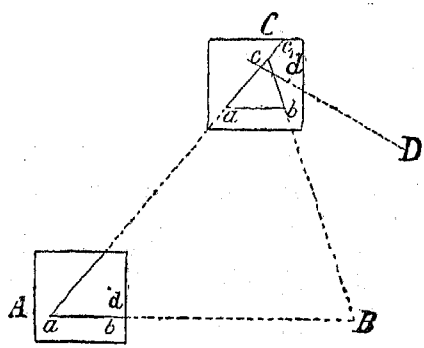
стоящее дерево, трудно смѣшиваемое съ другими деревьями, также полезно опредѣлять, дѣлая съемку мензулой.

Чтобы провѣрить, вѣрно ли опредѣлены точки прямою засѣчкою, можно измѣрить разстоянія BC и BD цѣпью или дальномѣромъ, если онъ имѣется въ трубѣ кипрегеля, а также измѣрить по масштабу плана линіи bc и bd на планшетѣ. Сравненіе этихъ величинъ укажетъ, сдѣлана ли ошибка, и какъ она велика. Но такой способъ провѣрки, кромѣ того, что требуетъ много лишняго времени, не всегда даже возможенъ, напр., если между точками B и C находится какое-нибудь препятствіе, мѣшающее измѣренію цѣпью.

245. Опредѣленіе положенія точки обратною засѣчкою по двумъ и большему числу точекъ, уже нанесенныхъ на мензулѣ. Если на мензулѣ имѣется уже нѣсколько точекъ, или, по крайней мѣрѣ, двѣ, соотвѣтствующихъ точкамъ мѣстности, и если мензулу можно поставить на одной изъ данныхъ точекъ, напр. A, и, кромѣ того, на опредѣляемой точкѣ C (черт. 300), то въ такомъ случаѣ устанавливаютъ мензулу въ точкѣ A, ôріентируютъ ее по линіи AB, визируютъ на точку C и наносятъ на планѣ линію ac_1. Затѣмъ переносятъ мензулу въ точку C, ôріентируютъ ее по ac_1; прикладываютъ край линейки кипрегеля къ точкѣ b и поворачиваютъ кипрегель до тѣхъ поръ, пока вертикальный волосокъ не покроетъ вѣхи, стоящей въ B. Тогда проводятъ черту въ мѣстѣ пересѣченія края линейки съ линіей ac_1; полученная такимъ образомъ точка c на планѣ изобразитъ точку C на землѣ. Этотъ способъ называется *обратною засѣчкою*, или *засѣчкою назадъ*.



Черт. 300.



Черт. 301.

При этомъ хорошо получать обратную засѣчку визированіемъ не на одну опредѣленную точку, а по крайней мѣрѣ—на двѣ точки. Линіи, проведенныя отъ трехъ данныхъ точекъ къ опредѣляемой точкѣ, могутъ составить треугольникъ, болѣе или менѣе значительный. Смотря по величинѣ этого треугольника, можно заключить, надо ли произвести вновь опредѣленіе этой точки. Если этотъ треугольникъ, или, какъ его называютъ, *треугольникъ погрѣшности* (черт. 301), окажется такихъ размѣровъ, что разстояніе его вершинъ отъ центра треугольника будетъ не болѣе погрѣшности, допускаемой при опредѣленіи положенія точекъ мензулой, то ограничиваются тѣмъ, что средину его считаютъ за опредѣляемую точку. Если же треугольникъ погрѣшности будетъ бо́льшихъ размѣровъ, то надо всю работу опредѣленія точки передѣлать вновь.

Такимъ образомъ, опредѣляя положеніе точекъ обратною засѣчкою, можно провѣрять, вѣрно ли опредѣлены онѣ. Такой провѣрки не можетъ быть сдѣлано при опредѣленіи точки прямою засѣчкою. Слѣдовательно, способъ обратной засѣчки надо считать болѣе вѣрнымъ, чѣмъ способъ прямой засѣчки. Поэтому, обратною засѣчкою слѣдуетъ опредѣлять всѣ главныя точки и точки, на основаніи которыхъ будутъ опредѣляться менѣе важныя точки засѣчкою прямой.

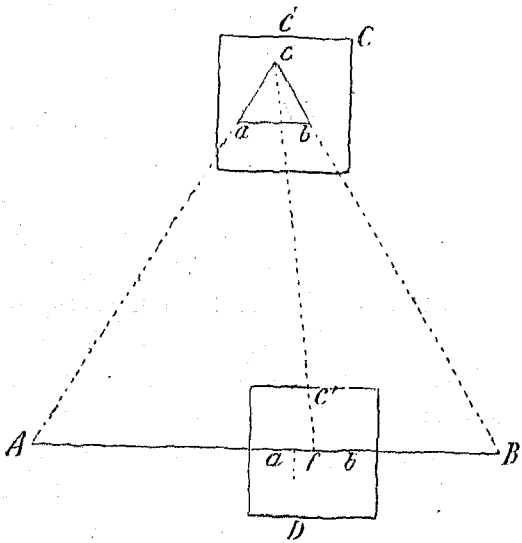
Обратная засѣчка употребляется, между прочимъ, тогда, когда въ одной изъ данныхъ точекъ нельзя стать съ мензулой.

Если нельзя стать съ мензулой ни въ одной изъ данныхъ точекъ A и B, нанесенныхъ уже на мензулу, а въ опредѣляемой точкѣ C мензулу поставить можно, то выбираютъ произвольную (черт. 302) точку D на линіи AB или на продолженіи ея. Устанавливаютъ мензулу въ этой точкѣ и оріентируютъ мензулу по линіи ba. Прикладываютъ край алидады или кипрегеля къ нѣкоторой точкѣ f на линіи ab. Эта точка на мензулѣ должна соотвѣтствовать точкѣ D на мѣстности, но если точка f будетъ проектироваться въ точку близкую къ D, то ошибка въ визированіи изъ точки f на точку C окажется ничтожной. Визируютъ на точку C и прочерчиваютъ линію fc' по краю линейки; переносятъ мензулу въ точку C и оріентируютъ ее по линіи $c'f$. Прикладывая край линейки поочередно къ точкамъ a и b и визируя на точки A и B, прочерчиваютъ линіи по краю линейки; пересѣченіе этихъ линій на мензулѣ

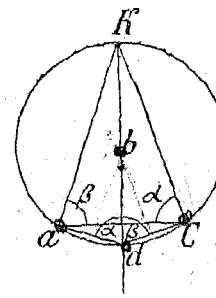
должно соотвѣтствовать точкѣ C на мѣстности, такъ какъ треугольники abc и ABC подобны.

246. Опредѣленіе положенія точки, въ которой находится наблюдатель, по тремъ даннымъ точкамъ. Иногда представляется надобность опредѣлить положеніе точки стоянія мензулы, когда на эту точку не было предварительно провизировано ни изъ одной данной. Опредѣлить такую точку можно, имѣя на мензулѣ три уже опредѣленныя точки. Для того, чтобы опредѣлить точку по тремъ даннымъ точкамъ, достаточно измѣрить два угла, заключенные между лучами, идущими къ глазу наблюдателя отъ трехъ знаковъ, поставленныхъ на данныхъ точкахъ.

Имѣя эти углы, легко будетъ опредѣлить на планѣ, съ достаточною точностью, положеніе точки, съ которой произведено измѣреніе этихъ двухъ угловъ. При этомъ опредѣленіи необходимо только, чтобъ сумма двухъ измѣренныхъ угловъ въ одной точкѣ, какъ увидимъ ниже, не была дополненіемъ до 180° угла ABC.



Черт. 302.



Черт. 303.

Положимъ, на мѣстѣ имѣемъ три точки A, B и C, нанесенныя на планъ (черт. 303), гдѣ онѣ означены соотвѣтственно буквами a, b и C. У опредѣляемой точки D измѣрены углы ADB и CDB, равные α и β. Чтобы получить на планѣ точку d, соединяютъ точки a и C и на прямой aC строятъ по транспортиру у точки C уголъ α, а у точки a уголъ β, вслѣдствіе чего на планѣ получится треуголь-

никъ aCK, около котораго описываютъ кругъ. Соединяютъ вершину треугольника K съ точкой b, и тамъ, гдѣ линія Kb пересѣчетъ на планѣ окружность круга, тамъ будетъ находиться опредѣляемая точка d. Дѣйствительно, углы Kda и KdC окажутся равными угламъ α и β, такъ какъ они измѣряются половинами равныхъ дугъ. А потому точка d на планѣ представитъ собою ту точку D мѣстности, съ которой были измѣрены углы ADB и BDC, когда мензула стояла въ точкѣ D.

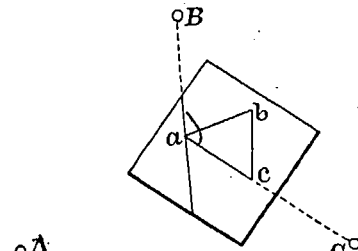
Если $\alpha + \beta = 180°$, то линіи aK и CK параллельны, и искомая точка, очевидно, находится на линіи aC, а тогда, слѣдовательно, нѣтъ надобности строить кругъ. Чтобы найти положеніе точки d въ этомъ случаѣ, надо на планѣ провести чрезъ b линію параллельную CK или aK. Точка пересѣченія этой линіи съ линіей aC дастъ искомую точку d.

Если сумма угловъ $\alpha + \beta$ дополняетъ уголъ ABC до 180°, то точки a, b, C и d находятся всѣ на окружности круга, и, слѣдовательно, въ этомъ случаѣ задача будетъ неопредѣленною. Описанный способъ опредѣленія точки по тремъ даннымъ часто употребляется не только при мензульной съемкѣ, но также для опредѣленія положенія точки, находящейся на рѣкѣ, озерѣ или морѣ. Измѣреніе угловъ въ этомъ случаѣ производится секстантомъ (Глава XXV).

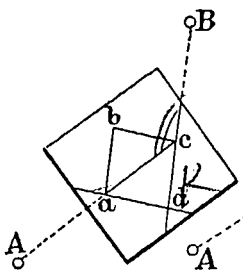
Если имѣются на планшетѣ три точки, то, при опредѣленіи по нимъ положенія четвертой такъ, какъ сейчасъ описано, приходится строить углы по транспортиру; чтобъ избѣжать этого, можно измѣрить эти углы при помощи мензулы, употребляя другой пріемъ, называемый: *оборотами мензулы*. Онъ заключается въ слѣдующемъ.

Имѣя на планшетѣ три точки a, b и c (черт. 304), соотвѣтствующія тремъ точкамъ мѣстности A, B и C, означеннымъ на землѣ какими-либо сигналами, и желая опредѣлить положеніе четвертой точки D, ставятъ мензулу ея центромъ надъ точкою D мѣстности, прикладываютъ къ точкамъ a и c край кипрегеля и оріентируютъ мензулу такъ, чтобы линія ac мензулы и линія DC лежали въ одной отвѣсной плоскости; для чего кипрегель прикладываютъ къ ac, поворачиваютъ мензулу и, когда вертикальный волосокъ покроетъ сигналъ C, закрѣпляютъ становой винтъ мензулы и микрометреннымъ винтомъ дѣлаютъ приведеніе въ точности; прикладываютъ линейку кипрегеля къ точкѣ a, поворачиваютъ кипрегель около этой точки до тѣхъ поръ, пока вертикальный волосокъ трубы не покроетъ сигнала, стоящаго въ B, и прочерчиваютъ по краю кипрегеля линію (черт. 304). Такимъ

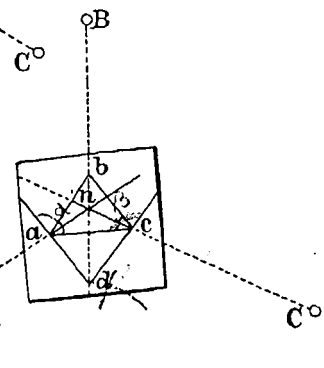
образомъ, полученный на планшетѣ уголъ будетъ уголъ CDB, и вычерченъ онъ у точки a на линіи ac. Освободивъ становой винтъ и приложивъ край линейки кипрегеля къ линіи ca (черт. 305), опять оріентируютъ мензулу, такъ, чтобы ca совпадала въ одну отвѣсную плоскость съ DA, для чего визируютъ на сигналъ A, поворачивая мензулу; когда вертикальный волосокъ трубы покроетъ сигналъ A, закрѣпляютъ становой винтъ мензулы и микрометреннымъ винтомъ дѣлаютъ приведеніе въ точности; прикладываютъ край линейки кипрегеля къ точкѣ c и поворачиваютъ кипрегель около этой точки до



Черт. 304.



Черт. 305.



Черт. 306.

тѣхъ поръ, пока вертикальный волосокъ трубы не покроетъ опять сигнала, стоящаго въ B, и прочерчиваютъ по краю кипрегеля линію (черт. 305). Такимъ образомъ на планшетѣ получится уголъ равный углу ADB, но вычерченный на линіи ac у точки c. Вслѣдствіе такихъ двухъ оріентированій по линіи ac и двухъ визированій на точку B, на планшетѣ получится треугольникъ acd, въ которомъ d играетъ такую же роль, какъ на черт. 302 точка k. Если чрезъ вершину d этого треугольника и точку b провести на планшетѣ прямую, то на этой прямой, очевидно, должна находиться точка, соотвѣтствующая точкѣ D мѣстности. Теперь, чтобы получить на мензулѣ точку, со-

отвѣтствующую точкѣ D мѣстности, надо оріентировать мензулу (черт. 306) по линіи DB линіей bd мензулы, а затѣмъ провизировать на точки A и C, тогда линіи, прочерченныя по краю кипрегеля, пересѣкутся послѣ этихъ визированій съ линіею bd въ одной точкѣ n, которая на планшетѣ будетъ соотвѣтствовать точкѣ D.

Точку E можно было бы найти еще и такъ: получивъ линію bd, послѣ двухъ оріентированій по линіи ac, надо оріентировать мензулу совершенно такъ же по линіи ab, какъ она была оріентирована по линіи ac, послѣ чего получится треугольникъ съ основаніемъ ao; если вершину его назовемъ буквою d' и соединимъ эту вершину съ точкою c, то найдемъ линію cd', на ней должна находиться искомая точка, а потому пересѣченіе линій bd и cd' дастъ точку n, соотвѣтствующую точкѣ D. При этомъ, конечно, можетъ получиться треугольникъ погрѣшности.

Опредѣленіе точки по тремъ даннымъ называется задачей Патенота. Кромѣ приведенныхъ здѣсь рѣшеній этой задачи, имѣются еще и другіе способы ея рѣшенія.

Глава XXII.

О ТАХЕОГРАѲОМЕТРАХЪ И ТАХЕОМЕТРАХЪ.

247. Тахеограѳометръ Вагнера. Къ числу мензулъ слѣдуетъ отнести также и тахеограѳометръ Вагнера. Въ 1868 году Вагнеръ заказалъ сдѣлать тахеограѳометръ механику Фенелю въ Касселѣ, а начиная съ 1870 г., конструкція этого инструмента подверглась многимъ исправленіямъ при употребленіи его Вагнеромъ въ гористыхъ мѣстностяхъ Венгріи и Турціи, причемъ выполненіе всѣхъ этихъ исправленій было произведено фирмою Штерке и Камереръ въ Вѣнѣ. У насъ тахеограѳометръ Вагнера употребляли нѣсколько разъ при изысканіяхъ на Кавказѣ.

Прежде чѣмъ приступить къ подробному описанію инструмента, скажемъ о немъ, такъ сказать, въ общихъ чертахъ. Представимъ себѣ кипрегель, имѣющій линейку, болѣе широкую, чѣмъ бываетъ обыкновенно, и соединенную непосредственно съ алидадой лимба, покоющагося на подъемномъ механизмѣ штатива. На краю линейки находится пазъ; въ немъ движется прямоугольный треугольникъ однимъ своимъ катетомъ; у гребня паза помѣщена шкала. Къ трубѣ придѣлана также шкала, касающаяся треугольника, когда трубу вращаютъ

въ отвѣсной плоскости. Нули обѣихъ шкалъ совпадаютъ съ отвѣсною плоскостью, проходящею чрезъ горизонтальную ось вращенія трубы; положимъ, въ трубѣ устроенъ дальномѣръ. Установивъ подобный инструментъ горизонтально и направивъ визирную ось трубы, подъ угломъ α къ горизонту, на рейку, поставленную въ какой-нибудь точкѣ, саженяхъ въ 200 или менѣе отъ инструмента, прочтя между крайними волосками трубы по рейкѣ, напр., число g, умноживъ это число на коэффиціентъ $A = 100$ или 200, отложивъ полученную величину въ масштабѣ $\frac{1}{n}$ на шкалѣ, придѣланной къ трубѣ, и подведя треугольникъ отвѣснымъ катетомъ къ дѣленію, — на нижней линейкѣ, у вершины прямого угла, получимъ проекцію длины $\frac{Ag}{n}$, т. е. $\frac{Ag}{n} \cos\alpha = D$. Если D вновь отложить на линейкѣ трубы и придвинуть къ этому дѣленію вертикальный катетъ прямоугольнаго треугольника, то на нижней линейкѣ, у вершины прямого угла, вновь найдемъ проекцію D, т. е. $\frac{Ag}{n} \cos^2\alpha$, или горизонтальную проекцію линіи, соединяющей точки стоянія инструмента и рейки.

Если нуль масштаба, расположеннаго на отвѣсномъ катетѣ, находится на одномъ горизонтѣ съ осью вращенія трубы, то показаніе на немъ линейки трубы дастъ, въ томъ же масштабѣ $\frac{1}{n}$, пониженіе или повышеніе надъ горизонтомъ той точки рейки, на которую была направлена средняя нить трубы. Изложенныя основанія приняты Вагнеромъ при устройствѣ его тахеограѳометра и Крейтеромъ при устройствѣ его тахеометра.

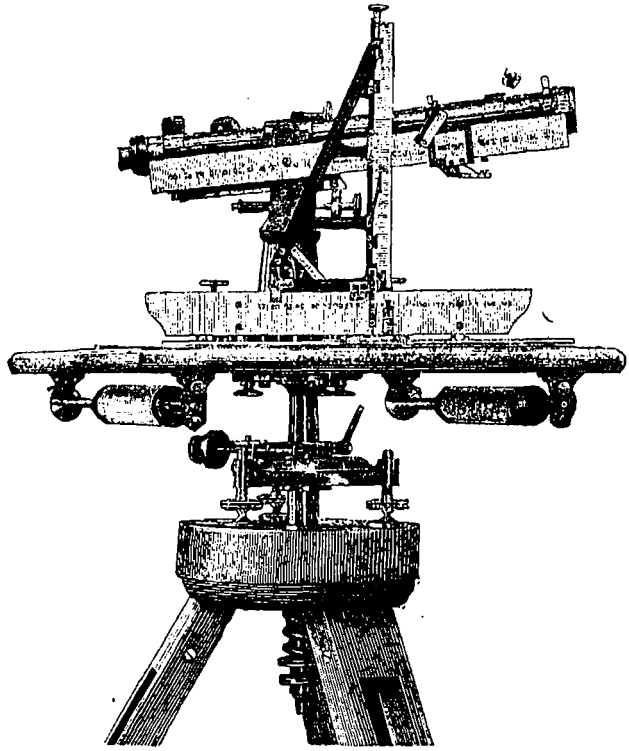
248. Описаніе тахеограѳометра Вагнера. Общій видъ тахеограѳометра Вагнера представленъ на чертежѣ 307. Штативъ этого инструмента отличается отъ обыкновенныхъ придѣланнымъ къ одной изъ его ножекъ, на шарнирѣ, кривымъ рычагомъ A' (черт. 308), назначаемымъ для болѣе удобной и легкой переноски всего инструмента во время работы.

Подъемные винты входятъ своими шарообразными концами въ такіе же шарообразныя выемки (черт. 308) частей p, p, p, прикрѣпленныхъ къ столу K, въ серединѣ котораго находится круглое отверстіе для станового винта G. Этимъ винтомъ и пружиною J треугольникъ D прижимается къ штативу совершенно плотно; h—крючекъ для отвѣса.

Трехконечникъ D, въ который ввинчиваются подъемные винты,

соединенъ съ осью. На этой послѣдней вращается полый цилиндръ B, съ прикрѣпленнымъ къ нему перпендикулярно кругомъ H, имѣющимъ полуградусныя дѣленія. Къ трехконечнику D придѣланъ ноніусъ N (черт. 308).

Въ нижней части полый цилиндръ B расширяется въ кольцо k_r,



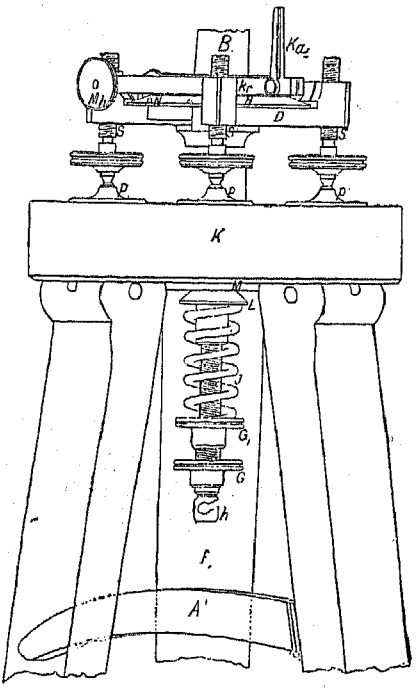
Черт. 307.

съ горизонтальнымъ выступомъ, разрѣзаннымъ вертикально; въ выступъ этотъ входитъ винтъ съ рычагомъ K_a.

Чтобы кольцо k_r, представляющее собою клещи, скрѣпить съ осью, надо рычагъ K_a поставить горизонтально,—тогда цилиндръ B не вращается около оси; а чтобы ослабить его и все, что къ нему прикрѣплено, надо рычагъ K_a поставить вертикально, какъ показано на чертежѣ 308-мъ. Когда цилиндръ B скрѣпленъ съ осью C, микрометренное движеніе производится винтомъ M_h.

Къ верхней части цилиндра B придѣлана круглая мѣдная доска p'

съ тремя круговыми отверстіями (черт. 309). Въ эти отверстія вставляются винты q, q, q и затѣмъ ввинчиваются въ мензульную доску, имѣющую, соотвѣтственно этимъ винтамъ, три врѣзанныя въ нее гайки. Величина мензульной доски равна $0^m,4 \times 0^m,4$; бока ея закруглены. Бумага можетъ быть укрѣплена на ней обыкновеннымъ способомъ; но для цѣлей инженерныхъ планъ часто составляется для участка земли узкаго и длиннаго, и поэтому удобнѣе иногда чертить планъ не на отдѣльныхъ листахъ, а на одномъ длинномъ. Въ этихъ видахъ въ мензулѣ Вагнера натягиваніе бумаги дѣлается посредствомъ вальковъ, вращающихся въ подшипникахъ, придѣланныхъ наглухо въ четырехъ углахъ нижней стороны мензульной доски (черт. 307).



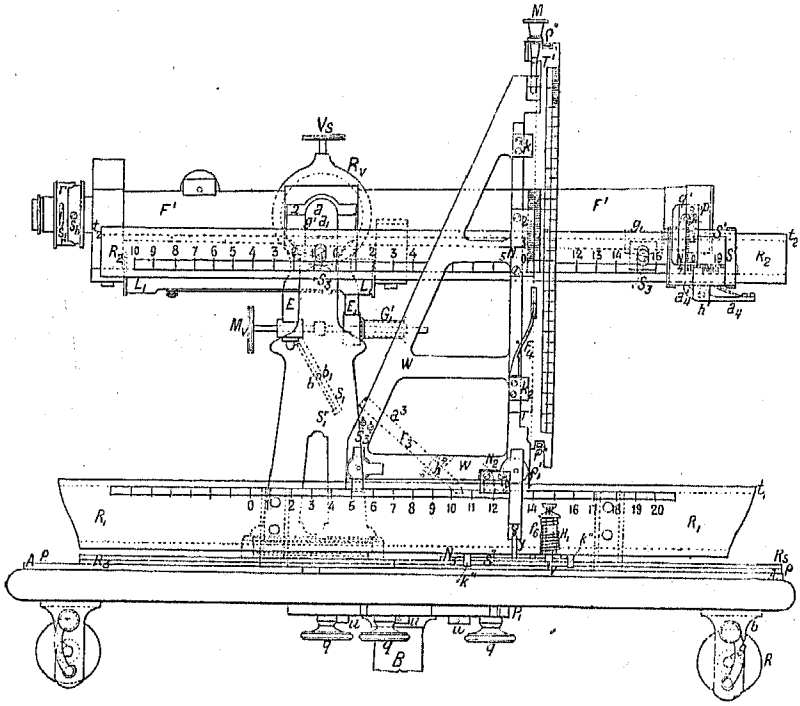
Черт. 308.

Деревянные вальки R (черт. 309) надѣты на мѣдныя оси, имѣющія въ сѣченіи трапецевидную форму, вслѣдствіе чего вальки могутъ получать продольное перемѣщеніе, вращаться же независимо отъ осей не могутъ; по концамъ мѣдныя оси цилиндричны, и при одномъ концѣ каждой изъ нихъ насажено храповое колесо, съ внутренней же стороны серповидной пластинки a повѣшена на маленькой оси собачка, вслѣдствіе чего валекъ R, съ навитымъ на него сверткомъ бумаги, можетъ вращаться только въ одну сторону. Бумага перекидывается чрезъ верхнюю плоскость мензульной доски и навивается на другой валекъ; оба конца бумаги навиваютъ и натягиваютъ на вальки, такъ что она на мензулѣ лежитъ такъ же хорошо, какъ наклеенная.

Между прочимъ, этимъ приспособленіемъ можно очень вѣрно означать на бумагѣ проекцію точки стоянія инструмента, что необходимо дѣлать, когда нужно точно опредѣлить положеніе точекъ, отстоящихъ

на близкое разстояніе отъ точки стоянія инструмента. Такимъ образомъ, въ тахеограѳометрѣ Вагнера мензула отличается отъ другихъ мензулъ только небольшими измѣненіями. Перейдемъ теперь къ описанію болѣе отличительныхъ частей этого инструмента, и именно къ кипрегелю.

На чертежахъ 309 и 310 P — подножка кипрегеля, край которой AA отшлифованъ прямолинейно. Къ подножкѣ придѣланы всѣ



Черт. 309.

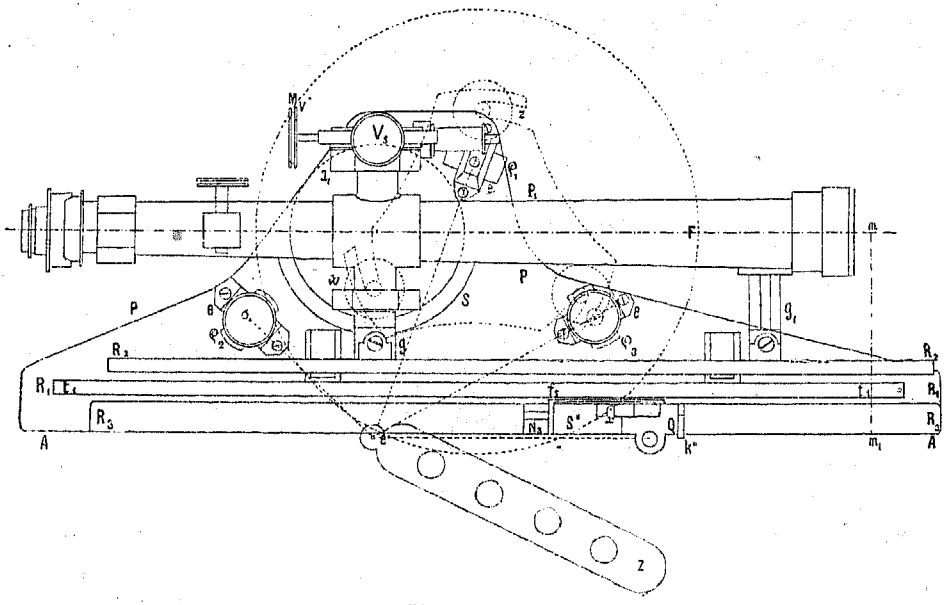
остальныя части кипрегеля, такъ, напр., полая колонна S_1', къ которой прикрѣплены бруски R_3, R_1, направленные параллельно линіи AA_1. На днѣ колонны придѣланъ уровень такъ, что ось его параллельна нижней плоскости подножки. Для исправленія непараллельности служитъ винтъ S.

Чтобы легче видѣть пузырекъ и дѣленіе уровня, на верхней части колонны повѣшено зеркало S_1, вращающееся около горизонтальной оси bb_1.

Зрительная труба F' можетъ вращаться около горизонтальной

оси *aa*; объективъ ея въ 28^{mm} въ діаметрѣ съ фокуснымъ разстояніемъ въ 300^{mm}, а окуляръ съ фокуснымъ разстояніемъ въ 12^{mm}, такъ что увеличеніе трубы равно 25. Оптическая ось сдѣлана перпендикулярною къ горизонтальной оси вращенія *aa* и параллельною краю *AA* (черт. 310).

Труба тахеограѳометра, какъ сказано выше, представляетъ дальномѣръ; сѣтка нарѣзана не на стеклѣ, а состоитъ изъ волосковъ и устроена по Рейхенбаху (§ 198) такъ, что крайніе волоски прикрѣп-



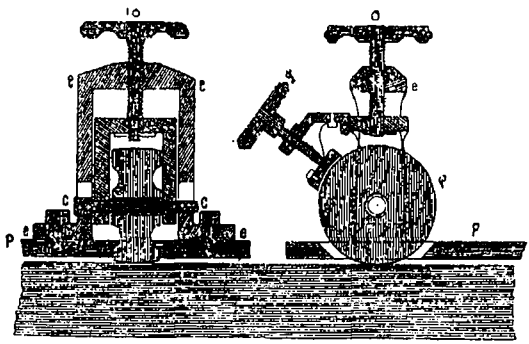
Черт. 310.

лены къ отдѣльнымъ пластинкамъ, зажатымъ въ пазахъ сѣточнаго кольца и могущимъ сближаться или отдаляться другъ отъ друга винтиками s_1, s_1, помощью которыхъ числу $\frac{F}{n}$ (§ 198) можно придать величину, въ точности равную 100. Винтики s_1, s_1 закрываются вращающимся кольцомъ съ двумя отверстіями *i*.

Къ трубѣ подвѣшенъ уровень L_1L_1 такимъ образомъ, чтобы ось его была параллельна визирной оси трубы.

У одного конца горизонтальной оси вращенія трубы придѣланы клещи R_v съ зажимательнымъ винтомъ V_s. Для микрометрическаго движенія трубы служитъ винтъ M_v съ пружиною, зажатою въ цилиндръ, и съ штифтикомъ G_1', соединеннымъ съ колоною S_1'.

Къ подножкѣ кипрегеля прикрѣплены три пальцеобразныя пластинки ε (черт. 311), служащія къ поддерживанію осей *cc*, на которыхъ вращаются цилиндры ρ. Въ верхнихъ частяхъ этихъ аппаратовъ находятся винты σ, при помощи которыхъ оси можно опустить такъ, чтобы поверхности цилиндровъ могли быть ниже нижней плоскости *P* на одинъ или два миллиметра. Вслѣдствіе такого устройства, кипрегель лежитъ на планшетѣ тремя точками. Оси этихъ цилиндровъ направлены такъ, что продолженія ихъ сходятся въ одной точкѣ *e* (черт. 310), находящейся, кромѣ того, на пересѣченіи вертикальной плоскости, проходящей чрезъ ось вращенія трубы и линію *AA*. Такимъ образомъ, этимъ приспособленіемъ достигается



Черт. 311.

легкое передвиженіе кипрегеля на планшетѣ около точки вращенія *e*. При одномъ изъ цилиндровъ ρ придѣланъ винтъ *s*, служащій какъ бы тормазомъ (черт. 311), для уменьшенія слишкомъ большой подвижности кипрегеля около точки вращенія *e*.

Точная установка оси уровня кипрегеля, находящагося въ нижней части колонны, въ горизонтальномъ положеніи производится винтами σσ, такъ какъ установить планшетъ подъемными винтами совершенно горизонтально почти невозможно. Такой способъ установки кипрегеля независимо отъ мензулы хорошъ тѣмъ, что неполная горизонтальность мензулы не вліяетъ на точное опредѣленіе высоты. Малое же отклоненіе планшета отъ горизонтальнаго положенія почти не измѣняетъ величины горизонтальной проекціи.

Къ подножкѣ *P* прикрѣплена линейка R_1, причемъ грань R_1R_1 параллельна грани *AA*, а слѣдовательно, и оптической оси.

Съ зрительной трубою F' связана двумя рычагами g_1g другая линейка R_2, и на одной изъ ея плоскостей нанесена шкала, раздѣленная на миллиметры. Плоскости обѣихъ линеекъ R_1 и R_2 не лежатъ въ одной вертикальной плоскости, но линейка R_2 находится ближе къ трубѣ, чѣмъ R_1, вслѣдствіе чего для трубы g нѣтъ препятствія при опусканіи ея внизъ на большіе углы.

Линейка R_2 прикрѣплена къ трубѣ винтами S_3 (черт. 309), входящими въ овальныя дыры линейки, а затѣмъ въ винтовыя нарѣзки рычаговъ g_1g_1, скрѣпленныхъ съ трубою. На линейкѣ R_2 можетъ двигаться рама S' съ придѣланными къ ней двумя ноніусами N_2 и N_1. Рама S' можетъ быть закрѣплена на линейкѣ R_2 при помощи рычага a_4a_4 (черт. 314), снабженнаго пружиною f_4 и двигающагося на горизонтальной оси h', такъ что, при надавливаніи на конецъ a_4, рычагъ отходитъ отъ линейки R_2, и тогда раму S' можно передвинуть.

На верхней плоскости t_1t_1 линейки R_1 поставленъ проекціонный треугольникъ, могущій передвигаться вдоль линейки R_1 на каткахъ $\rho_1'\rho_1'$. Чтобы онъ не имѣлъ бокового качанія, къ нему придѣланъ кривой рычагъ a^3 (черт. 309), вращающійся около горизонтальной оси h и снабженный пружиною F_3, прижимающею этотъ кривой рычагъ, а вмѣстѣ съ нимъ и весь проекціонный аппаратъ, къ линейкѣ R_1. Когда представляется надобность снять треугольникъ съ линейки R_1, то нужно конецъ рычага a^3 прижать къ треугольнику.

Къ отвѣсной части проекціоннаго треугольника прикрѣплена шкала $T'T'$. Ввинчивая или вывинчивая винтъ M, можно опускать или приподнимать шкалу T'; при этомъ направляющими служатъ части k_1k_2 съ пружиною f_4, прикрѣпленною къ проекціонному треугольнику.

По концамъ шкалы $T'T'$, на горизонтальныхъ осяхъ, вращаются цилиндры $\rho''\rho''$; на нихъ навита безконечная лента, раздѣленная на миллиметры. На шкалѣ T' цифры не поставлены, на лентѣ же поставлены чрезъ каждыя 10 единицъ. N_5—ноніусъ, прикрѣпленный къ проекціонному аппарату.

Къ одной изъ стоекъ проекціоннаго аппарата, имѣющей подшипники для оси катка ρ'_1, прикрѣпленъ рычагъ y, входящій нижнимъ концомъ въ полукругъ, вырѣзанный въ пластинкѣ Q (черт. 310), скрѣпленной съ S'' нижнею своею плоскостью. Эта послѣдняя лежитъ на линейкѣ R_3, обхватываетъ ее частями $k''k''$ съ одной стороны, а

съ другой прижимается къ ней пружиною f_5; такимъ образомъ, при движеніи проекціоннаго аппарата по линейкѣ R_1, въ то же время пластинка S'' и все, что къ ней прикрѣплено, движется вдоль линейки R_1.

Къ пластинкѣ Q прикрѣплены полый цилиндръ H_8 (черт. 309) и пружина f_6, вьющаяся по поверхности этого цилиндра. Другимъ концомъ пружина эта прикрѣплена къ головкѣ W другого цилиндра, входящаго внутрь полаго цилиндра и имѣющаго на концѣ остріе V. Надавливая на головку W, можно означить остріемъ V точку на планшетѣ.

Чтобы означить на линейкѣ точку e и удобнѣе вращать около нея кипрегель, съ линейкой R_3 соединена маленькая линеечка e, имѣющая отверстіе e и четыре сегментообразныя углубленія (черт. 310) для пальцевъ наблюдателя.

Ноніусъ N_2 для линейки R_1 прикрѣпленъ къ рамѣ s'' двумя винтами, ноніусъ же N_4 повѣшенъ на оси p, вслѣдствіе чего, при всякомъ наклонномъ положеніи трубы и линейки R_2, N_4 остается отвѣснымъ. На линейкахъ R_1, R_2 и R_3 нанесены дѣленія въ миллиметрахъ.

При помощи ноніусовъ N_1, N_2, N_4 и N_5 можно отсчитывать $^1/_{10}$ части миллиметра. Ноніусы N_4 и N_5 такъ поставлены, что нулевыя ихъ черты составляютъ горизонтальную линію, когда визирная ось горизонтальна.

Нуль линейки R_2 поставленъ не въ одной отвѣсной плоскости съ осью вращенія трубы, а ближе къ объективу. Нуль рейки R_1 ближе къ окуляру.

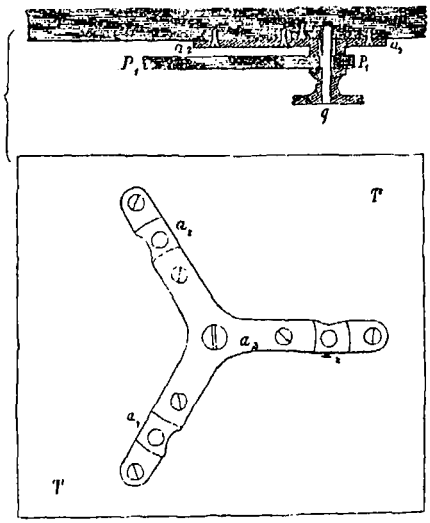
Вслѣдствіе этого, при горизонтальномъ положеніи всего инструмента и оптической оси, когда край ноніуса N_4 совпадаетъ съ отвѣснымъ краемъ шкалы T', нули ноніусовъ N_2 и N_3 на своихъ шкалахъ даютъ одни и тѣ же показанія.

Острie V находится въ одной отвѣсной плоскости съ краемъ шкалы T', вслѣдствіе чего, при совпаденіи нулей N_2 и N_3 съ нулями ихъ шкалъ, острie совпадаетъ съ точкою e.

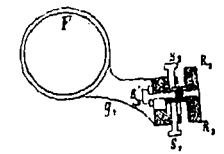
Треножникъ можно соединить прямо съ кипрегелемъ, для чего цилиндры ρ, ρ приподнимаются, поверхности ихъ тогда не доходятъ до нижней плоскости подножки P, и весь кипрегель ставится на подпору P и скрѣпляется съ ней винтами q.

Штарке сдѣлалъ въ тахеографометрѣ нѣсколько существенныхъ измѣненій, по указанію Вагнера. Именно: винты u, вставленные въ доску P_1, устроены въ видѣ колецъ съ отверстіемъ настолько большимъ, что винты q проходятъ чрезъ эти отверстія свободно и завинчиваются въ гайкахъ, расположенныхъ въ доскѣ P_1, когда кипрегель соединяется непосредственно съ треножникомъ.

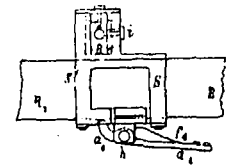
Къ мензульной доскѣ T придѣлана трехконечная металлическая пластинка a_2 (черт. 312), имѣющая утолщеніе въ мѣстахъ a_2, съ отвер-



Черт. 312.



Черт. 313.



Черт. 314.

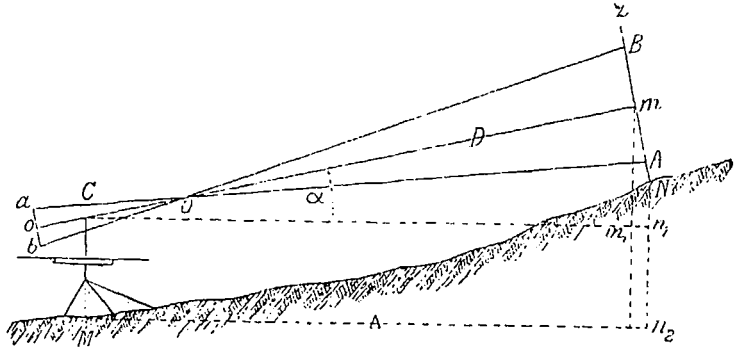
стіями, чрезъ которыя проходятъ винты q, прикрѣпляющіе мензульную доску.

Уровень кипрегеля замѣненъ двумя уровнями другъ къ другу перпендикулярными, и притомъ одинъ изъ нихъ расположенъ по направленію оси вращенія трубы. Для опредѣленія горизонтальности оси вращенія трубы, на ней ставится перекладной уровень. Увеличеніе трубы доведено до 36.

Зрительная труба имѣетъ діоптръ, прикрѣпленный съ верхней стороны, когда труба имѣетъ нормальное положеніе. Линейка R_2 соединяется двумя колѣнами g съ зрительною трубою и можетъ быть передвинута вокругъ головки винта S'_3 винтиками S_3 (черт. 313). Этимъ достигается параллельность верхняго края линейки R_2 оптической оси.

Измѣненіе положенія мѣста оси вращенія p ноніуса N_1 относительно оптической оси на разстояніе $\frac{V}{n}$ производится въ отвѣсномъ направленіи винтиками i и i_1 (черт. 314). Это устройство было бы вполнѣ удовлетворительно, если бы, при помощи маленькаго масштабика въ 5^{mm}, прикрѣпленнаго къ рамѣ S', можно было знать, на сколько произведено сказанное перемѣщеніе.

249. Опредѣленіе горизонтальныхъ разстояній помощью тахеографометра. При тахеографометрѣ употребляется складная рейка;



Черт. 315.

на высотѣ $1{,}5^m$ отъ подошвы она имѣетъ діоптръ, расположенный перпендикулярно къ ея лицевой поверхности. Діоптръ этотъ состоитъ изъ деревянной рамы съ уровнемъ, ось котораго параллельна передней поверхности рейки, что даетъ возможность держать ее болѣе правильно въ отвѣсной плоскости визированія.

Пусть M и N (черт. 315)—точки стоянія инструмента и рейки, между которыми нужно опредѣлить горизонтальную проекцію, равную d. NZ — рейка, установленная перпендикулярно къ визирной оси A; m и B — точки рейки, видимыя на волоскахъ трубы въ b, o и a, причемъ $Nm' = 1{,}5 = V$. Буквою C означена горизонтальная ось вращенія трубы, O — центръ объектива, f — фокусное его разстояніе, n — разстояніе между волосками, B — разстояніе отъ C до внѣшняго фокуса объектива, D—наклонное разстояніе отъ C до m, α — уголъ наклоненія визирной оси къ горизонту, g — часть рейки, видимая между волосками трубы. Такъ какъ труба имѣетъ дальномѣръ Рейхенбаха, то

$$Cm = D = \left(\frac{f}{n}\right) g + B = 100\ g + B.$$

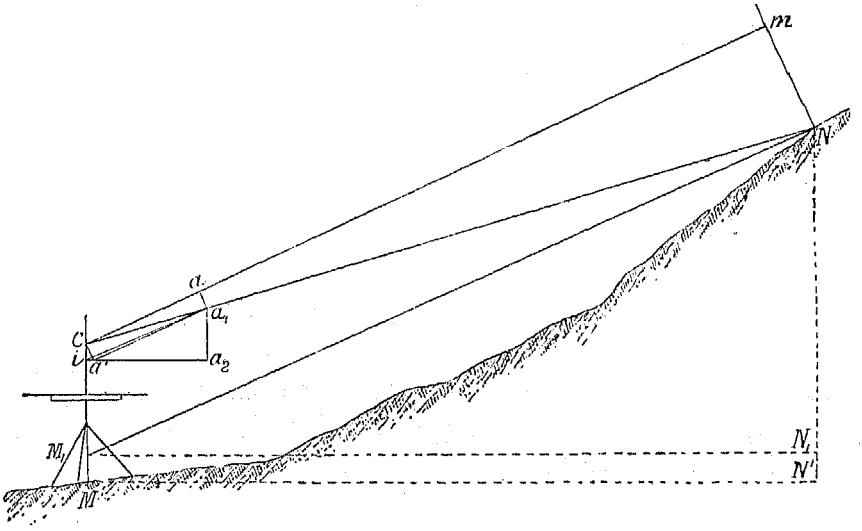
Кромѣ того, изъ чертежа имѣемъ:

$$Mn_2 = Cm_1 + m_1 n_1 = D\cos\alpha + V\sin\alpha,$$

или

$$\Delta = D\cos\alpha + V\sin\alpha = (100\ g + B)\cos\alpha + V\sin\alpha.$$

Послѣ того какъ найдено g визированіемъ на рейку, поставимъ нуль ноніуса N_2 въ совпаденіе съ дѣленіемъ линейки R_2, равнымъ $\frac{100\,g + B}{n}$, гдѣ $\frac{1}{n}$ коэффиціентъ масштаба, а проекціонный аппаратъ



Черт. 316.

отвѣснымъ катетомъ—въ совпаденіе съ краемъ ноніуса N_1. Придавивъ иголку W, найдемъ горизонтальное разстояніе, которое будетъ выражаться на мензулѣ длиною $\frac{Cm_1}{n}$, т. е. величиною, меньшею надлежащей на $V\sin\alpha$. Чтобы избѣжать этой ошибки, Вагнеръ *расположилъ линейку* R_2 *такъ, чтобы* p, *ось ноніуса* N_1, *двигалась по линіи, параллельной визирной оси, и отстояла отъ нея на величину* $\frac{V}{n}$.

Обратимся къ чертежу 316, на которомъ оставлены прежнія обозначенія. Кромѣ того, на немъ aa_1' проведена параллельно визирной оси Cm', причемъ $Ca' = aa_1 = \frac{V}{n}$. Такимъ образомъ, точка p будетъ двигаться по линіи $a_1 a'$.

Отложимъ CM_1 равнымъ $Nm' = V$ и Ci равнымъ $\frac{V}{n}$ и прове-

демъ ia_2, MN' и M_1N_1 горизонтально, точку C соединимъ съ N, а изъ точки a_1 проведемъ линію a_1i параллельно линіи M_1N. Тогда изъ подобія треугольниковъ Caa_1 и CmN имѣемъ:

$$\frac{Ca_1}{CN} = \frac{aa_1}{mN} = \frac{\frac{V}{n}}{V} = \frac{1}{n}, \text{ т. е. } Ca_1 = \frac{CN}{n} \ldots (1)$$

Кромѣ того, треугольники Cia и CNM_1 подобны, слѣдовательно:

$$\frac{Ci}{CM_1} = \frac{ia_1}{M_1N} = \frac{1}{n} \ldots (3)$$

Изъ подобія же треугольниковъ ia_1a_2, и M_1NN_1 слѣдуетъ:

$$\frac{a_1a_2}{NN_1} = \frac{ia_2}{M_1N_1} = \frac{ia_1}{M_1N} \ldots (4)$$

Сравнивая (3) съ (4), находимъ:

$$a_1a_2 = \frac{NN_1}{n} \ldots (5) \text{ и } ia_2 = \frac{M_1N}{n} \ldots (6)$$

Кромѣ того,

$$Ca = a'a_1 = \frac{Cm'}{n} = \frac{D}{n} \ (7) \text{ и } aa_1 = \frac{V}{n} \ldots (8)$$

Такъ какъ a_1 поставлена отъ a' на такомъ же разстояніи, какъ нуль ноніуса N_2 отстоитъ отъ нуля линейки R_2, то, поэтому, если на линейкѣ R_2 поставимъ нуль ноніуса N_2, въ точности, въ совпаденіе съ $\frac{D}{n}$, т. е. отложимъ отъ нуля линейки R_2 величину $a'a_1$, тогда точка p будетъ совпадать съ точкой a_1, а край ноніуса N_1, а слѣдовательно, отвѣсный катетъ проекціоннаго аппарата и игла W будутъ находиться въ одной отвѣсной линіи a_1a_2; въ силу же формулы (6), линія ia_2 будетъ представлять собою въ масштабѣ $\frac{1}{n}$ точно искомую горизонтальную проекцію $M_1N_1 = MN' = d$.

250. Опредѣленіе отмѣтокъ точекъ земной поверхности помощью тахеографометра. Изъ черт. 316 имѣемъ:

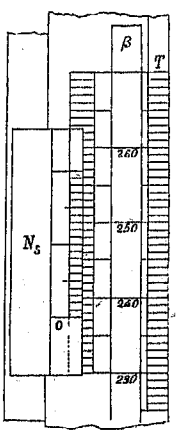
$$NN_1 = NN' + MM_1 = NN' = (J - V),$$

гдѣ J—высота оси вращенія надъ точкой M; а замѣняя NN_1 его выраженіемъ изъ формулы (5), найдемъ:

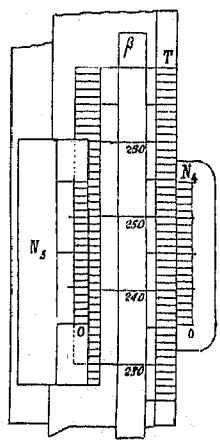
$$NN' = na_1a_2 + (J - V).$$

$a_1 a_2$ будетъ прочтена по шкалѣ вертикальнаго ребра проекціоннаго аппарата, слѣд., NN' будетъ извѣстно. Если извѣстна абсолютная высота точки M, то найдется и абсолютная высота точки M_1; надо будетъ къ первой прибавить найденную величину NN'.

Получается эта высота непосредственно на проекціонномъ аппаратѣ слѣдующимъ образомъ: устанавливаютъ ленточную скалу, натянутую на валькахъ $\rho''\rho''$, такъ, чтобы линія дѣленія, показывающая десятки абсолютной высоты, совпадала съ нулевымъ дѣленіемъ ноніуса N_3; а затѣмъ винтомъ M поднимаютъ или опускаютъ скалу T' съ натянутою лентою на столько, чтобы нуль ноніуса N_5 показалъ еще недостающія единицы въ абсолютной высотѣ горизонтальной оси вращенія трубы. Тогда нулевое дѣленіе ноніуса N_4, при горизонтальномъ положеніи визирной оси, соотвѣтствуетъ абсолютной высотѣ оси вращенія трубы.



Черт. 317.



Черт. 318.

Когда визирная ось располагается наклонно, откладываютъ въ масштабѣ наклонное разстояніе D до рейки на линейкѣ R_2. Подведя къ этому дѣленію нуль ноніуса N_2, изъ непосредственнаго чтенія по ноніусу N_4 получимъ абсолютную высоту точки N, будетъ ли она выше, или ниже горизонта C. Черт. 317 и 318 даютъ ясное понятіе, какъ это дѣлается, если масштабъ $\frac{1}{n}$ для высоты равенъ $\frac{1}{1000}$.

Напр., абсолютная высота точки стоянія инструмента равны $234{,}8^m$, высота J оси вращенія трубы $-1{,}3^m$, т. е. абсолютная высота точки C будетъ $235{,}8^m$. Тогда лента устанавливается такъ, чтобы дѣленіе, означенное числомъ 230, совпадало съ нѣкоторымъ дѣленіемъ скалы T', расположеннымъ выше или ниже нуля ноніуса N_5. Затѣмъ винтомъ M скала T' устанавливается такъ, чтобы нуль ноніуса N_5 совпадалъ съ дѣленіемъ $235{,}8^m$. Въ это время и нуль ноніуса N_4 укажетъ то же число $235{,}8^m$, если визирная ось горизонтальна.

Изъ предыдущаго извѣстно, что къ опредѣленной такимъ обра-

зомъ высотѣ должна быть прибавлена разность $J - V$. Если бы J и V были равны, то не было бы надобности въ этомъ прибавленіи; но въ бо́льшей части случаевъ этого не бываетъ, и поэтому необходимо исправленіе. Чтобы не дѣлать прибавленія ко всѣмъ высотамъ величины $J - V$, можно поправку эту сдѣлать въ самомъ инструментѣ. Для этого ноніусъ N_5 ставится такъ, чтобы разность между чтеніями по N_5 и N_4, при горизонтальномъ положеніи трубы, была равна $\frac{J-V}{n}$; при этомъ нуль ноніуса N_5 надо поставить выше или ниже нуля ноніуса N_4, смотря по тому, будетъ ли $\frac{J-V}{n}$ положительною, или отрицательною величиною.

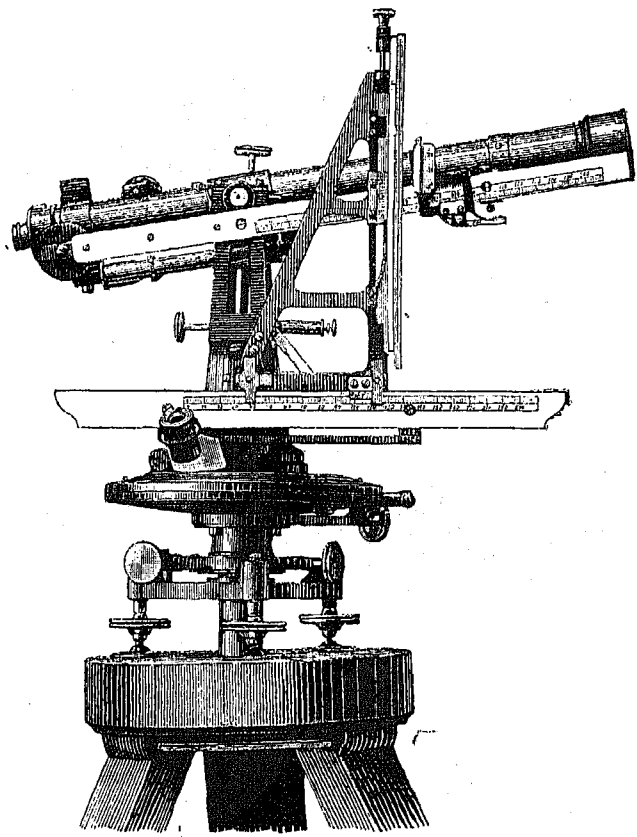
Чтобы можно было произвести это передвиженіе ноніуса N_5, онъ соединенъ съ проекціоннымъ аппаратомъ двумя винтиками, входящими въ овальныя дыры ноніуса N_5. Напримѣръ, если $V = 1{,}5^m$, $J = 1{,}2^m$, $n = 1000$, то $\frac{J-V}{n} = +0{,}3^{mm}$, а потому нуль ноніуса N_5 нужно поставить ниже нуля ноніуса N_4 на $0{,}3^{mm}$.

251. Употребленіе тахеографометра Вагнера. Послѣ всего сказаннаго можно резюмировать способъ употребленія тахеографометра.

Зная отмѣтку точки стоянія инструмента и установивъ инструментъ горизонтально, опредѣляютъ высоту оси вращенія надъ точкою стоянія инструмента. Сдѣлавъ надлежащее передвиженіе ноніуса N_5 и ленточной скалы (§ 250) и повторивъ установку инструмента по уровнямъ, ставятъ точку вращенія 0 надъ проекціей точки стоянія инструмента на мензулѣ; пальцами правой руки прижимаютъ линеечку Z (черт. 310), а лѣвою рукою направляютъ кипрегель на рейку, поставленную перпендикулярно къ визирной оси. Прочтя по рейкѣ показанія крайнихъ волосковъ трубы въ тысячныхъ доляхъ сажени или метра, найдя разность этихъ чтеній и умноживъ на коэффиціентъ дальномѣра трубы, напр. 100, получаютъ $100g$, или часть наклоннаго разстоянія отъ инструмента до рейки. Нуль ноніуса N_2 ставятъ въ совпаденіе съ числомъ $\frac{100g+B}{n}$ на линейкѣ R_2, тогда точка p будетъ отстоять отъ оси вращенія трубы на длину $\frac{100g+B}{n}$. Послѣ этого подводятъ проекціонный аппаратъ къ ноніусу N_4 такъ, чтобы скала TT' прикасалась къ краю этого ноніуса. Отсчетъ по ноніусу N_4 на линейкѣ R_1 дастъ горизонтальную проекцію между точками стоянія и рейки, а чтеніе по ноніусу N_4 на вертикальной скалѣ проекціоннаго аппарата дастъ отмѣтку стоянія рейки. Отмѣтка эта сей-

часъ же надписывается у точки, отмѣченной иглою W на мензулѣ. При этомъ и вертикальная, и горизонтальная проекціи будутъ въ одномъ масштабѣ; но, очевидно, горизонтальную проекцію можно отложить и въ меньшемъ масштабѣ.

Когда дѣйствовать мензулой неудобно, то въ этомъ случаѣ употребляется инструментъ, изображенный на чертежѣ 319-омъ, имѣющій

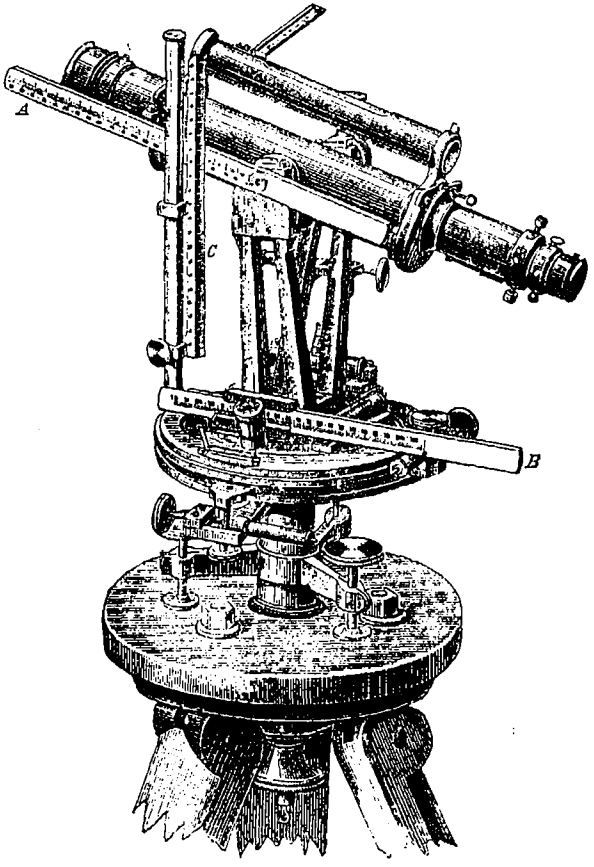


Черт. 319.

горизонтальный лимбъ. Оріентировавъ линію нулей этого лимба по какой-нибудь уже опредѣленной линіи, послѣ визированія на рейку, надо прочесть и записать отсчетъ на лимбѣ и точно также записать въ журналъ отмѣтку точки, на которую визировали, и разстояніе до нея отъ инструмента.

Въ такомъ видѣ инструментъ скорѣе долженъ называться тахео-

метромъ, такъ какъ, при такомъ устройствѣ положеніе точекъ не получается графически, и, кромѣ того, въ такомъ видѣ онъ мало отличается отъ тахеометра Крейтера, изображеннаго на черт. 320. Тахеометръ Крейтера отличается отъ тахеометра Вагнера тѣмъ, что при помощи его горизонтальное разстояніе получается меньше надлежащей вели-



Черт. 320.

чины на $V \sin \alpha$, т. е. тахеометръ Крейтера менѣе точенъ, чѣмъ тахеометръ Вагнера, и не можетъ быть, кромѣ того, въ случаѣ надобности, обращенъ въ тахеограѳометръ.

251. Повѣрка тахеограѳометра. Вѣрный тахеограѳометръ долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1) Ось уровня, расположеннаго въ нижней части кипрегеля, должна быть параллельна плоскости планшета.

2) Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна къ своей горизонтальной оси вращенія.

3) Горизонтальная ось вращенія должна быть параллельна плоскости планшета.

4) Горизонтальные волоски должны быть горизонтальны при горизонтальномъ положеніи мензулы.

5) Ось уровня, придѣланнаго къ трубѣ, должна быть параллельна визирной оси.

6) Разстояніе между волосками должно быть таково, чтобы первый коэффиціентъ дальномѣра былъ въ точности равенъ 100 или 200.

Всѣ эти повѣрки дѣлаются точно такъ же, какъ и въ кипрегелѣ (§§ 199, 233 — 236).

Кромѣ того, необходимо требовать отъ тахеографометра еще слѣдующія условія:

7) Всѣ линейки должны имѣть края прямолинейные и плоскости гладкія.

8) Верхняя плоскость линейки R_2, служащая направляющей движенія рамы S', должна быть параллельна оптической оси, т. е. должна имѣть горизонтальное положеніе, когда оптическая ось горизонтальна.

Чтобы убѣдиться, существуетъ ли это условіе, надо установить ось уровня L горизонтально, вслѣдствіе чего и визирная ось тоже будетъ горизонтальна, затѣмъ поставить на линейку R_2 особый уровень, ось котораго параллельна нижней плоскости его оправы, и если, при всѣхъ положеніяхъ этого уровня на линейкѣ R_2, пузырекъ останется на серединѣ, то условіе 8 выполнено; въ противномъ случаѣ, положеніе линейки R_2 должно быть измѣнено винтиками s_2, s_2.

9) При горизонтальномъ положеніи плоскости планшета, верхняя плоскость линейки R_1, служащая подставкой проекціонному аппарату, должна быть горизонтальна.

Послѣ того, какъ инструментъ установленъ горизонтально, точно такъ же, какъ и въ предыдущей повѣркѣ, ставятъ отдѣльный уровень, ось котораго параллельна нижней плоскости его оправы, на поверхность линейки R_1, и если во все время пузырекъ остается на серединѣ, то условіе 9-е выполнено, въ противномъ же случаѣ, поверхность линейки должна быть отшлифована надлежащимъ образомъ.

Для бо́льшаго контроля послѣднихъ двухъ повѣрокъ можно упо-

требить слѣдующій пріемъ: установить проекціонный аппаратъ на одномъ концѣ плоскости линейки R_1; прочитавъ показанія на обоихъ ноніусахъ N_4 и N_5 и найдя разность чтеній, передвинуть раму S' на другой конецъ линейки R_2, а проекціонный аппаратъ на соотвѣтствующій конецъ линейки R_1, и взять опять разность чтеній N_4 и N_5. Эта разность должна быть такая же, какъ и полученная прежде, если условія 8 и 9 выполнены.

10) Внѣшній край скалы T' долженъ быть перпендикуляренъ къ верхней плоскости линейки R_1.

Изслѣдованіе существованія этого условія можетъ быть выполнено помощью хорошаго прямоугольнаго треугольника, устанавливаемаго однимъ катетомъ на верхней плоскости линейки R_1, причемъ другой катетъ долженъ совпадать со скалою T'. Если этого нѣтъ,—исправленіе можетъ быть произведено винтиками k_1, k_2 (черт. 309).

11) Имѣютъ ли нули ноніусовъ N_1, N_2 и N_3 вѣрное положеніе, т. е. совпадаютъ ли они съ нулями линеекъ R_1, R_2 и R_3, когда линейки R_1 и R_2 параллельны R_3 и проекціонный аппаратъ поставленъ такъ, что вертикальный его катетъ находится въ одной отвѣсной плоскости съ осью вращенія трубы.

Установивъ обѣ линейки R_1 и R_2 параллельно другъ къ другу, передвигаютъ раму S' до тѣхъ поръ, пока ось вращенія p ноніуса N_4 не окажется въ одной плоскости съ вертикальною осью вращенія трубы; къ ноніусу N_4 подвигаютъ осторожно проекціонный аппаратъ и читаютъ показаніе нуля ноніуса N_1 (напр., оно будетъ a). Отодвигаютъ проекціонный аппаратъ, переворачиваютъ зрительную трубу чрезъ зенитъ, и, установивъ оптическую ось опять горизонтально, придвигаютъ проекціонный аппаратъ къ ноніусу N_4. Если послѣ этого показаніе ноніуса N_1 будетъ то же, что и прежде, то это означаетъ, что ось вращенія p дѣйствительно находилась въ одной отвѣсной плоскости съ осью вращенія трубы; если же показаніе ноніуса N_1 будетъ другое, напр. a', то полусумма обоихъ показаній $\left(\frac{a+a'}{2}\right)$ соотвѣтствуетъ тому положенію нуля ноніуса N_1, при которомъ отвѣсный катетъ проекціоннаго аппарата лежитъ въ одной отвѣсной плоскости съ осью вращенія трубы. Слѣдовательно, если нуль ноніуса N_1 поставить на дѣленіе $\frac{a+a'}{2}$, передвинуть раму S', пока N_4 опять не коснется вертикальнаго катета, то нуль N_4 долженъ совпадать съ нулемъ линейки R_3, а нуль ноніуса N_2 долженъ совпадать съ дѣ-

леніемъ $\frac{B}{n}$ линейки R_2. Если бы этого не оказалось, то ноніусы N_1 и N_2 нужно передвинуть, ослабивъ винтики, укрѣпляющіе ихъ и проходящіе чрезъ овальныя дыры. То же самое надо сдѣлать и съ ноніусомъ N_1.

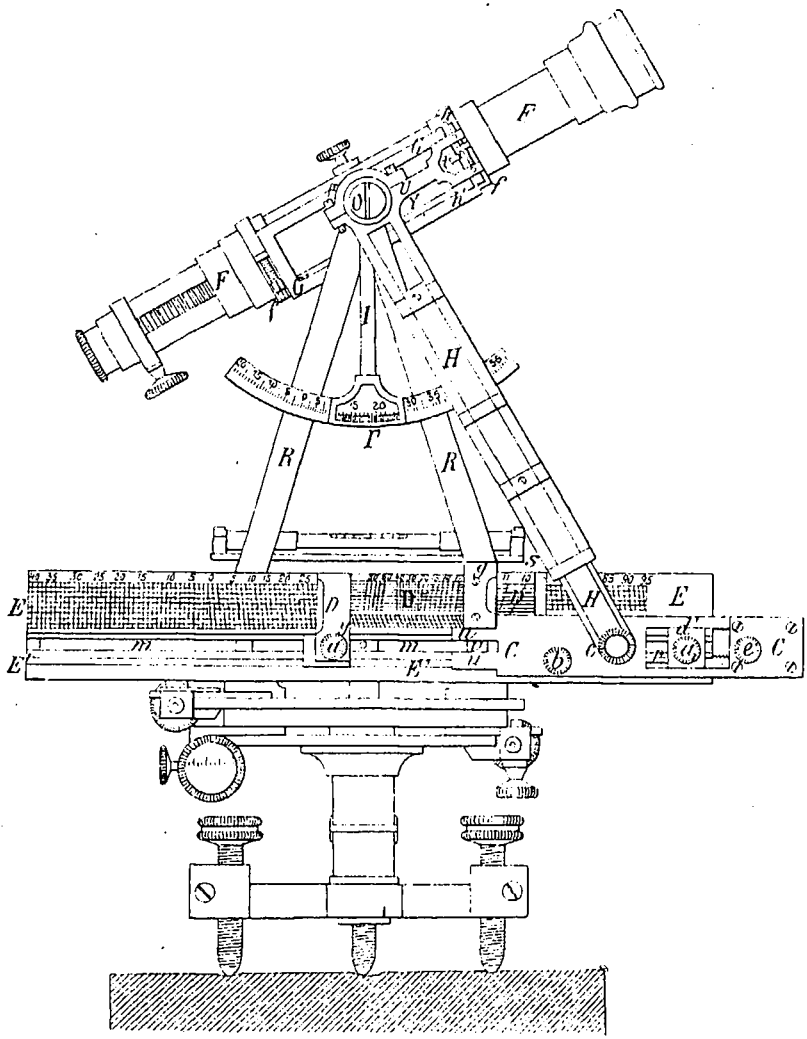
12) Когда нуль ноніуса N_3 совпадаетъ съ нулевымъ дѣленіемъ R_3, то игла V должна совпадать съ серединой отверстія, сдѣланнаго въ центрирной линеечкѣ. Чтобы повѣрить это требованіе, ставятъ нули ноніуса N_3 и линейки R_2 въ совпаденіе, отверстіе центрирной линеечки устанавливаютъ надъ какою-нибудь точкою, назначенною на планшетѣ, и надавливаютъ на головку W иглы V. Если уколъ иглы будетъ совпадать съ назначенною точкою, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ, исправленіе можетъ быть достигнуто самымъ точнымъ образомъ передвиженіемъ пластинки Q, если предварительно ослабить прикрѣпляющіе ее винтики.

13) Передній край линейки R_2, снабженный дѣленіемъ, долженъ быть параллеленъ визирной оси. Условіе это должно быть достигнуто самимъ механикомъ.

252. Описаніе тахеометра Шарно. Въ концѣ 80-хъ годовъ французъ Шарно устроилъ тахеометръ, отличающійся отъ предыдущихъ какъ основной своей идеей, такъ и устройствомъ. Въ §§ 210 и 211-мъ мы видѣли, что горизонтальныя разстоянія и высоты можно опредѣлять обыкновеннымъ теодолитомъ, труба котораго даже не дальномѣръ. Для такого опредѣленія разстоянія и высоты надо визировать на рейку два раза, при различныхъ углахъ наклоненія. Если извѣстны эти углы, а слѣдовательно, и ихъ тангенсы, а также показанія горизонтальнаго волоска трубы на рейкѣ, то опредѣленія горизонтальнаго разстоянія и высоты выполняются довольно легко. Чтобы еще болѣе облегчить опредѣленіе горизонтальнаго разстоянія и высоты, Шарно устроилъ въ теодолитѣ, кромѣ вертикальнаго сектора, систему линеекъ, на подобіе того, какъ это сдѣлано было раньше Вагнеромъ и Крейтеромъ, линеекъ, дающихъ возможность опредѣлять непосредственно разность двухъ уклоновъ, или двухъ тангенсовъ угловъ наклоненія визирной оси.

Тахеометръ Шарно служитъ не только для опредѣленія разстоянія и высотъ, но также и для измѣренія угловъ на плоскости горизонтальной и вертикальной и, съ этою цѣлью, снабженъ всѣми тѣми

частями, которыя имѣются во всѣхъ повторительныхъ теодолитахъ. Къ алидадѣ этого теодолита (черт. 321 и 322) придѣланы два подкоса $R\,R$, въ верхней части которыхъ находится обойма G, въ ко-

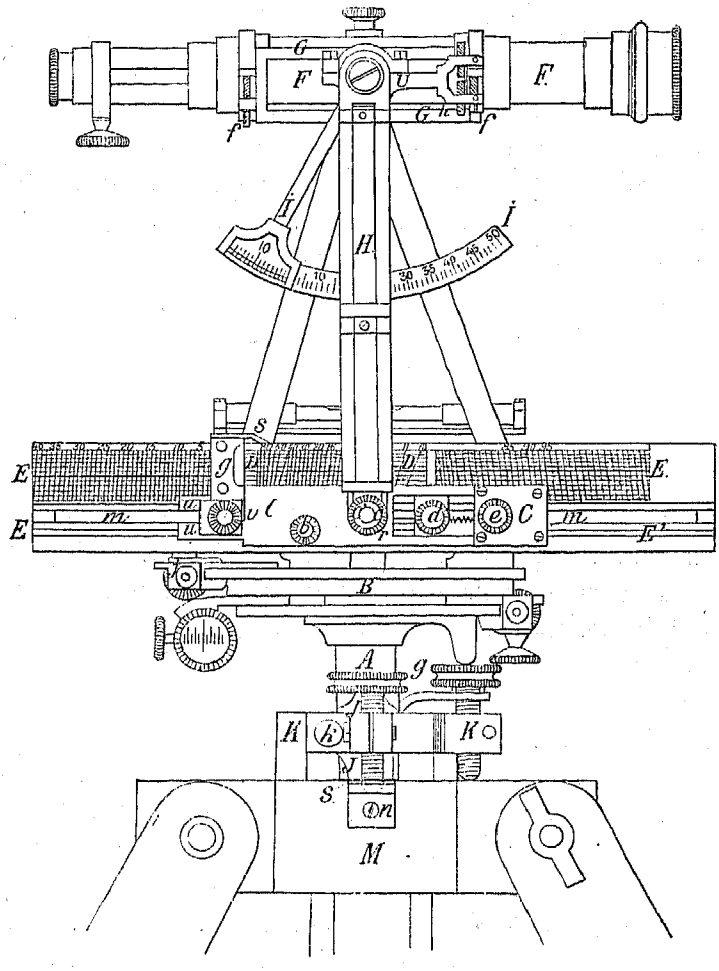


Черт. 321.

торой свободно лежитъ горизонтальная ось вращенія трубы F. Въ одной изъ цапфъ горизонтальной оси вращенія трубы прикрѣпленъ раздвижной стержень H, состоящій изъ двухъ частей. При вращеніи трубы въ вертикальной плоскости, стержень H удлиняется и

укорачивается, составляя всегда прямое направленіе, а вмѣстѣ съ нимъ движется ползушка C по линейкѣ E, соединенной неизмѣнно съ алидадою.

Линейка E, называемая *альтиметрическимъ* масштабомъ, слу-



Черт. 322.

жить для измѣренія тангенсовъ (уклоновъ); она укрѣплена со стороны стержня H—параллельно горизонтальному лимбу, а также параллельно вертикальной плоскости, описываемой визирною осью трубы. На линейкѣ E нарѣзаны дѣленія въ миллиметрахъ съ надписями на одной сторонѣ до 0,40, а на другой до 0,05. Внутренній край

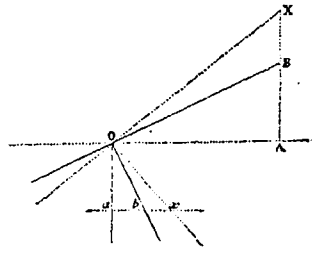
линейки E срѣзанъ подъ угломъ, образуя съ другою линейкою E', расположенною ниже линейки E, кулису съ выемкою m, въ которой можетъ передвигаться линейка D, называемая *діостиметрической* и служащая для измѣреній горизонтальныхъ разстояній, а также ползушка C съ прикрѣпленнымъ къ ней раздвижнымъ стержнемъ H. Линейка D входитъ краемъ своимъ въ пазъ, вынутый въ ползушкѣ C, и можетъ двигаться въ кулисѣ m. При помощи винта a линейка D прижимается плотно къ линейкѣ E. Если ослабить винтъ a, то, при помощи шпинька u, можно скрѣпить линейку D съ ползушкою C. Линейка D оканчивается выступомъ, закрывающимъ по высотѣ всю неподвижную альтиметрическую линейку E. Край этого выступа указываетъ то дѣленіе линейки E, которое выражаетъ собою уклонъ визирной оси. Съ задней стороны линейки D, близъ винта a, прикрѣплена пружина s, прижимающая линейку къ кулисѣ, вслѣдствіе чего, при движеніи линейки D, вызывается легкое треніе.

Ползушка C снабжена слѣдующими частями: 1) линеечкою g, поставленной подъ прямымъ угломъ къ ползушкѣ C и закрывающей всю высоту дѣленій на подвижной шкалѣ D и служащей индексомъ для отсчитыванія горизонтальныхъ разстояній; 2) шипомъ c, на который надѣвается конецъ выдвижной части стержня H; въ центрѣ головки этого шипа помѣщается штифтъ c', служащій для закрѣпленія трубы въ горизонтальномъ положеніи; 3) винтомъ b, которымъ можно дѣйствовать на горизонтальный стержень r, оканчивающійся зажимомъ d; 4) пластинкою d, могущею передвигаться въ выемкѣ ползушки C; движеніе пластинки d влѣво относительно ползушки можно уменьшить или увеличить помощью горизонтальнаго стержня r, устанавливаемаго винтомъ b; пластинка d можетъ быть скрѣплена съ неподвижною линейкой винтомъ a_1, а для малыхъ ея передвиженій имѣется микрометренный винтъ e; 5) шпинькомъ u', скрѣпляющимъ подвижную линейку D съ ползушкою C, послѣ того какъ ослабленъ винтъ v; 6) четырьмя пружинами, вставленными между ползушкою C и верхней линейкой и служащими для правильнаго движенія.

253. Теорія тахеометра Шарно. Такимъ образомъ, изъ устройства тахеометра Шарно видно, что, при движеніи ползушки въ кулисѣ, вмѣстѣ съ тѣмъ передвигается конецъ раздвижного стержня, и труба вращается въ отвѣсной плоскости, и обратно—при всякомъ поворотѣ трубы въ отвѣсной плоскости, ползушка перемѣщается го-

ризонтально, если только инструментъ установленъ надлежащимъ образомъ. Чертежъ 321-й указываетъ расположеніе всѣхъ частей инструмента, когда визирная ось горизонтальна, а чертежъ 322-й, когда визирная ось наклонна.

Пусть OA (черт. 323)—горизонтальное положеніе визирной оси, линія Oa—направленіе стержня H; когда же визирная ось направлена на точку B или X отвѣсной рейки, т. е. когда визирная ось наклонна, то направленіе раздвижного стержня H пусть приметъ положеніе Ob или Ox. Очевидно, что отношенія $\frac{ab}{aO}$ и $\frac{ax}{aO}$ суть не что иное, какъ тангенсы угловъ, составленныхъ визирною осью съ горизонтомъ при визированіи на точки B и X.



Черт. 323.

Длина Oa въ тахеометрѣ Шарно взята равной 0,20 метра. Альтиметрическая линейка E раздѣлена на миллиметры, такъ что, если на линейкѣ E прочтемъ отсчетъ въ 2 миллиметра, то уклонъ визирной оси будетъ равенъ $\frac{2\text{ m.m.}}{0{,}20\text{ m.}} = 0{,}01$. Слѣдовательно, если установить инструментъ въ горизонтальномъ положеніи, а въ другой точкѣ въ отвѣсномъ положеніи поставить рейку, провизировать на нее два раза, прочитать оба показанія рейки на горизонтальномъ волоскѣ, прочитать, при каждомъ положеніи трубы, отсчеты на линейкѣ E, то получимъ два уклона; взявъ разность показаній рейки, или BX, и раздѣливъ BX на разность уклоновъ, найдемъ горизонтальное разстояніе AO. Умноживъ же разстояніе AO поочередно на найденные уклоны, получимъ возвышеніе точекъ B и X надъ горизонтальною линіею AO, слѣдовательно, и надъ осью вращенія трубы.

Горизонтальное разстояніе между инструментомъ и рейкою можетъ быть получено еще и иначе, именно изъ чертежа 323-го можно написать изъ подобныхъ треугольниковъ такія пропорціи:

$$\frac{BX}{bx} = \frac{OX}{Ox} \quad \text{и} \quad \frac{OX}{Ox} = \frac{OA}{Oa},$$

откуда

$$\frac{OA}{BX} = \frac{Oa}{bx},$$

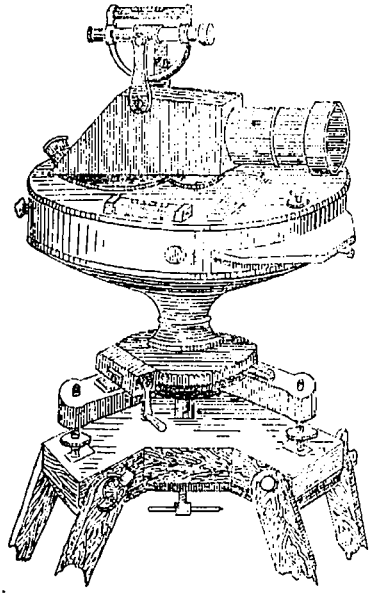
или $$OA = BX \frac{0{,}20}{bx}.$$

Изъ всего изложеннаго становятся понятны и употребленіе тахеометра Шарно, и его повѣрки. Въ дальнѣйшія подробности не вхожу, такъ какъ инструментъ этотъ не былъ еще испытанъ у насъ на практикѣ.

Глава XXIII.

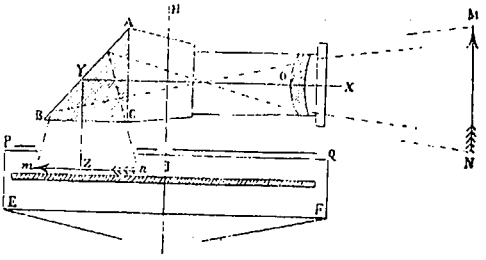
ФОТОГРАФИЧЕСКІЙ ПЛАНШЕТЪ.

254. Описаніе фотографическаго планшета. Инструментъ этотъ можетъ быть употребляемъ съ большимъ успѣхомъ при подробныхъ съемкахъ. При помощи его углы между предметами получаются фотографически, какъ будетъ изложено ниже.



Черт. 324.

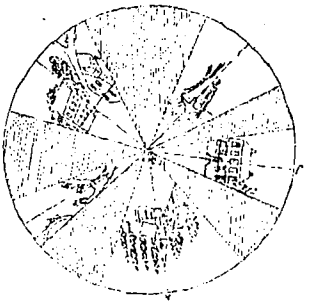
Фотографическій планшетъ состоитъ изъ спеціальной темной камеры (черт. 324 и 325). Труба, двигающаяся горизонтально вокругъ вертикальной оси, имѣетъ одно стекло или комбинацію ихъ. Поверхъ ея придѣлана другая,



Черт. 325.

меньшая, труба для визированія на предметы. Гипотенузная плоскость треугольной призмы ABC, связанной съ объективомъ O большой трубы, амальгамирована, а ребра A и B этой призмы горизонтальны. Когда инструментъ приведенъ, при помощи уровня, въ горизонтальное положеніе, тогда оптическая ось XY параллельна чувствитель-

ной пластинкѣ, расположенной горизонтально въ нижней части камеры, въ особой выдвижной касеткѣ (K). Такимъ образомъ, изображеніе предмета MN, находящагося противъ вертикальной стороны AO призмы, отражается отъ плоскости гипотенузы AB и появляется въ nn на чувствительной пластинкѣ. Подвижная горизонтальная труба, заключающая объективъ O и призму ABC, соединена съ верхнею горизонтальною крышкой цилиндра $PQEF$, въ которомъ расположена темная камера. При движеніи трубы около вертикальной оси, крышка PQ движется вмѣстѣ съ трубою.



Черт. 326.

На крышкѣ PQ вырѣзано, въ видѣ сектора, отверстіе, расположенное подъ стороною призмы BCA. Оно ограничиваетъ пространство изображенія на пластинкѣ EF; въ секторіальномъ отверстіи натянуты двѣ горизонтальныя нити; пересѣченіе ихъ совпадаетъ съ линіей YZ; нити эти, для краткости, будемъ называть f и f'. f идетъ вдоль радіуса сектора и, вмѣстѣ съ тѣмъ, въ плоскости $YZIIJ$, а f' перпендикулярно къ f.

Кругъ PQ поставленъ очень близко къ чувствительной пластинкѣ, поэтому нити f и f' получаются на изображеніи въ то же время, когда образуются изображенія отъ предметовъ. Обѣ онѣ проектируются на пластинкѣ въ видѣ прямыхъ, перпендикулярныхъ другъ къ другу, причемъ для нити f служитъ вертикально-проектирующею плоскостью—плоскость $YZIIJ$.

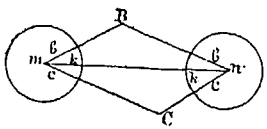
Если ось вращенія HJ установить вертикально надъ точкой стоянія инструмента, и если визировать на сигналы, установленные въ различныхъ точкахъ снимаемой мѣстности, то углы, составленные лучами, идущими отъ этихъ сигналовъ къ точкѣ стоянія инструмента, получаются на пластинкѣ nn, такъ какъ сигналы будутъ проектироваться по линіямъ визированія ji, ki, li, ri, qi (черт. 326).

Если сообщить кругу PQ медленное движеніе и отверстіе пластинки PQ сдѣлать самымъ малымъ, тогда будутъ получаться изображенія, какъ бы надвигающіяся одно на другое.

При этомъ способѣ пластинка nn можетъ получать каждое мгно-

веніе только изображеніе точекъ, расположенныхъ въ вертикальной плоскости и проходящихъ чрезъ оптическую ось трубы, а всѣ линіи полученнаго изображенія образуютъ въ точкѣ i углы, равные угламъ, находящимся между соотвѣтствующими линіями на землѣ.

255. Употребленіе фотографическаго планшета. Получивъ такимъ образомъ два фотографическихъ снимка съ двухъ концовъ базиса, стоитъ только базисъ нанести на бумагу, въ опредѣленномъ масштабѣ, на концахъ его укрѣпить полученныя изображенія, оріентировавъ ихъ по базису, а затѣмъ, имѣя линейку и карандашъ, путемъ засѣчекъ можно получить на бумагѣ всѣ точки, необходимыя для обрисовки снятыхъ контуровъ (черт. 327).



Черт. 327.

Фотографическій планшетъ представляетъ слѣдующія преимущества: 1) ошибки въ визированіи отдѣльныхъ точекъ не вліяютъ на неточное положеніе другихъ точекъ, и ошибки эти совершенно ясны для наблюдателя, такъ какъ при визированіи на предметъ изображеніе нити f находится, въ такомъ случаѣ, въ сторонѣ отъ изображенія предмета; 2) въ каждомъ горизонтальномъ кругѣ нельзя опустить ни одной точки, необходимой для очерчиванія контура, какое бы число этихъ точекъ ни было; 3) одинъ негативъ можетъ дать сколько угодно копій, и 4) нѣсколько чертежниковъ могутъ составлять карты различныхъ съемокъ, безъ всякихъ сомнѣній и затрудненій, въ то время какъ фотографъ приготовляетъ новый матеріалъ въ полѣ.

Фотографическіе снимки и планъ, составленный на основаніи ихъ, могутъ служить для опредѣленія разности высотъ, а слѣдовательно, и отмѣтокъ точекъ. Если инструментъ описываетъ медленное движеніе вокругъ оси HJ, то пересѣченіе нитей f и f' фотографируется на чувствительной пластинкѣ въ видѣ окружности круга, пересѣкающаго изображеніе въ точкахъ, соотвѣтствующихъ пересѣченію изображаемыхъ предметовъ горизонтальною плоскостью, проходящею чрезъ оптическую ось трубы. Эту плоскость можно считать за плоскость сравненія. Изображенія точекъ, расположенныхъ внѣ окружности, будутъ, слѣдовательно, соотвѣтствовать точкамъ, лежащимъ на землѣ выше плоскости сравненія. Точки, лежащія внутри окружности, будутъ ниже плоскости сравненія. Разстоянія этихъ точекъ до

плоскости сравненія въ 1-мъ случаѣ — отрицательныя, а во 2-мъ — положительныя.

Если D — разстояніе отъ одной изъ этихъ точекъ до инструмента, взятое съ плана, H — ея искомое разстояніе до плоскости сравненія, h — разстояніе ея изображенія до окружности круга сравненія, r — радіусъ этого круга, $\frac{1}{n}$ масштабъ плана, то изъ двухъ подобныхъ треугольниковъ, легко строемыхъ, можно написать: $\frac{H}{Dn} = \frac{h}{r}$, откуда $H = \frac{Dnh}{r}$.

Глава XXIV.

ОБЪ ОРОГРАФѢ ШРАДЕРА.

Въ предыдущей главѣ мы видѣли, что фотографическій планшетъ даетъ возможность получить съ двухъ концовъ базиса перспективныя изображенія предметовъ, окружающихъ концы базиса. Достоинства этого способа съемки исчислены выше, но способъ этотъ имѣетъ и нѣкоторыя неудобства. Такъ, напр., не всѣ снимаемыя точки будутъ ясно означены на полученныхъ фотографическихъ снимкахъ, многія изъ нихъ будутъ затемнены полною и неполною тѣнью, всегда сопутствующею фотографическія изображенія; съемщикъ долженъ быть хорошо знакомъ съ фотографированіемъ, чего не всегда возможно требовать; при этомъ способѣ необходимо имѣть съ собой большой запасъ чувствительныхъ пластинокъ, которыя легко могутъ портиться, при тѣхъ неудобствахъ и трудныхъ условіяхъ, въ которыхъ, обыкновенно, находится топографъ при его бивуачной жизни; самое же главное неудобство этого способа заключается въ томъ, что послѣ проявленія фотографической пластинки можетъ совсѣмъ не получиться рисунка, вслѣдствіе недодержки при экспозиціи, и тогда придется возвращаться вновь въ тѣ же точки для новой съемки, безъ увѣренности, что опять не случится того же самого.

Вслѣдствіе всего этого способъ этотъ не получилъ распространеннаго примѣненія.

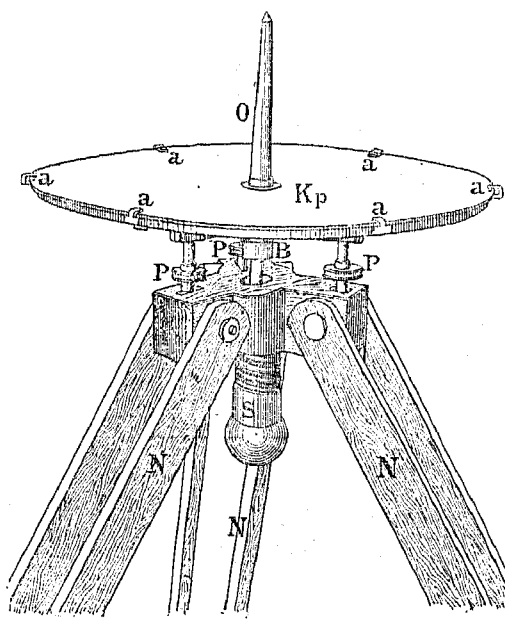
Въ 1869 году французскій географъ Шрадеръ возымѣлъ мысль составить рельефную карту французскаго склона Пиринейскихъ горъ. Онъ занимался этимъ дѣломъ долгое время, и ему удалось запроектиро-

вать инструментъ, названный имъ *орографомъ*, о чемъ онъ публиковалъ въ 1885 году. Идея его въ скорости затѣмъ была осуществлена нѣсколькими французскими механиками, строящими геодезическіе инструменты.

Орографъ основанъ на томъ же принципѣ, какъ и фотографическій планшетъ, т. е. при помощи орографа можно получить перспективное изображеніе предметовъ, окружающихъ концы базиса, но предметы эти получаются по выбору самого съемщика и хотя не фотографическимъ путемъ, но совершенно такъ же, какъ фотографически получается перспективное изображеніе. Орографъ, какъ указываетъ самое его названіе, предназначается для съемокъ гористыхъ мѣстностей.

256. Описаніе и повѣрка орографа Шрадера. Здѣсь мы сдѣлаемъ описаніе орографа, исполненнаго въ 1896 г. со всѣми новѣйшими усовершенствованіями. Треножникъ орографа N, NN (черт. 328) устраивается такъ же, какъ и для всякаго другого геодезическаго инструмента. Черезъ центральное отверстіе столика треножника проходитъ становой винтъ S съ пружиной и утолщеніемъ B въ верхней части винта. На столикѣ треножника сдѣлано три маленькихъ углубленія для подъемныхъ винтовъ P, P и P, ввинчиваемыхъ, какъ всегда, въ концы трехконечника, накладываемаго на столикѣ треножника; трехконечникъ имѣетъ въ центрѣ круглое отверстіе, черезъ которое можетъ свободно проходить конецъ станового винта. Поверхъ трехконечника съ подъемными винтами накладывается кругъ Kp, діаметромъ около 10 дюймовъ, имѣющій въ своемъ центрѣ отверстіе съ винтовою нарѣзкою, въ которую ввинчивается становой винтъ ρ, скрѣпляющій неизмѣнлемымъ образомъ кругъ Kp съ треножникомъ. Кругъ Kp сдѣланъ изъ стекла; верхняя его плоскость отшлифована, а на нижней его поверхности сдѣланы реборды по направленіямъ шести радіусовъ и по направленію двухъ окружностей, концентрическихъ съ внѣшнею окружностью. При помощи этихъ ребордъ достигается большая жесткость круга, не позволяющая ему изгибаться. Одна изъ круговыхъ ребордъ входитъ въ маленькія углубленія, сдѣланныя на трехъ концахъ трехконечника подъемнаго механизма, благодаря чему кругъ Kp прижимается къ трехконечнику очень плотно, такъ что когда становой винтъ завинченъ до откоса, то кругъ Kp не можетъ вращаться.

Въ шести мѣстахъ окружности круга придѣланы пластинки a, a, a на шарнирахъ для закрѣпленія бумаги, положенной на кругъ Kp, на которой будетъ получаться перспективное изображеніе снимаемыхъ предметовъ. Въ центрѣ круга ввинчивается особая коническая стальная ось O, длиною около 4 дюймовъ. Для того, чтобы ось O крѣпко ввинчивать въ кругъ, въ ней сдѣлано, въ нижней части, сквозное отверстіе, въ которое для ввинчиванія вводится особый стальной аншпугъ.



Черт. 228.

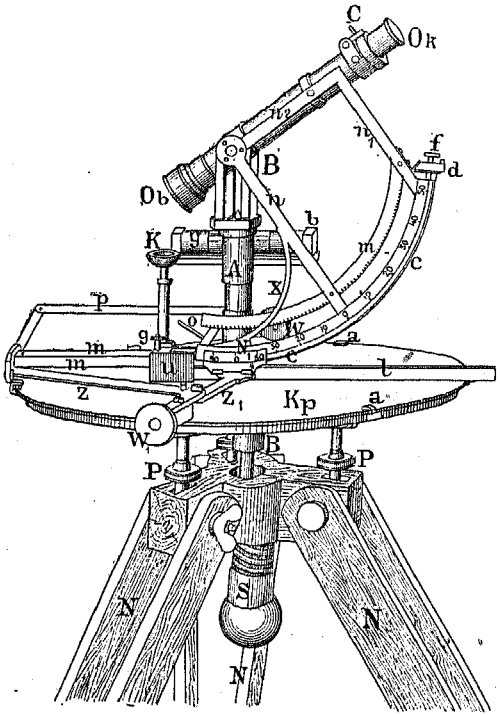
Чертежи 229-й и 230-й представляютъ собою перспективное изображеніе орографа съ двухъ его сторонъ. На ось O надѣвается полый стальной цилиндръ орографа. Въ верхней утолщенной части D этого цилиндра привинчены двѣ подставочки B, на которыхъ положены подшипники для горизонтальной оси вращенія трубы T. Труба орографа, какъ и всѣ трубы геодезическихъ инструментовъ, состоитъ изъ трехъ колѣнъ: объективнаго ($Об$), окулярнаго (OK) и сѣточнаго (CV). Для установки плоскости сѣтки въ фокусѣ объектива служитъ винтъ V, а для передвиженія центра сѣтки—винтъ C.

Къ трубѣ (черт. 229) наглухо прикрѣплены мѣдныя планочки n_2, n_1, n и x, а къ нимъ секторъ C съ градусными дѣленіями и зубчатая пластинка m, за которую зацѣпляетъ шестерня W, имѣющая свое гнѣздо въ особомъ отросткѣ, прикрѣпленномъ къ цилиндру A. Если вращать правою рукою шляпку шестерни W, то труба вмѣстѣ съ секторомъ C тоже получитъ движеніе въ плоскости, перпендикулярной къ кругу Kp.

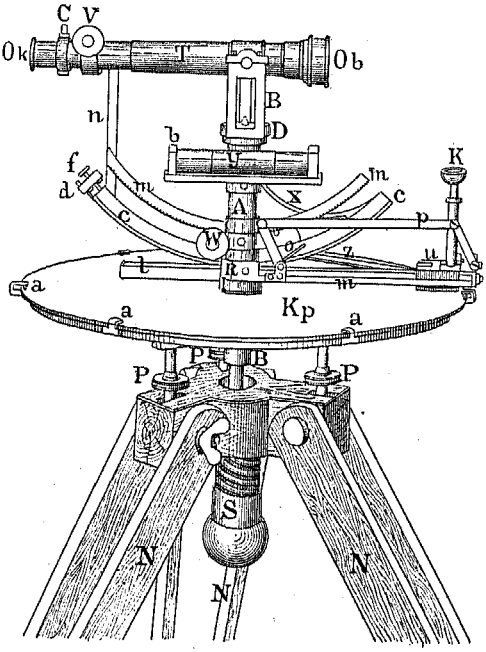
Къ цилиндру A, въ нижнемъ его основаніи R, придѣланы двѣ пластинки m (черт. 230 и 229), служащія салазками для попол-

зушки u, которую можно скрѣпить при помощи винтика g съ линейкой l. Къ поползушкѣ u придѣланъ полый стержень K, служащій оправой для карандаша. Къ верхней части стержня K придѣлана чашечка для надкладыванія тяжести съ цѣлью полученія болѣе ясныхъ линій отъ карандаша.

Линейка l скрѣплена съ секторомъ при помощи трехъ стальныхъ



Черт. 229.

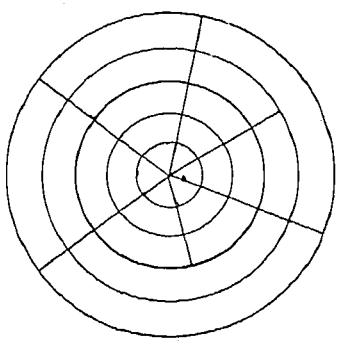


Черт. 230.

ленточекъ, имѣющихъ ширину не болѣе $^1/_{20}$ дюйма. Одна изъ нихъ прикрѣплена у f и d въ серединѣ нижней части сектора, а другой ея конецъ прикрѣпленъ къ линеечкѣ l въ томъ ея концѣ, который находится въ сторонѣ объектива трубы. На противоположномъ концѣ сектора C придѣланы двѣ стальныхъ ленточки, другіе концы которыхъ скрѣплены съ концомъ линейки l, находящимся въ сторонѣ окуляра. Эти двѣ ленточки располагаются по краямъ линейки, а первая, прикрѣпленная къ другому концу, располагается между ними. Средняя ленточка прикрѣплена къ сектору при помощи

винта f и пружины для того, чтобы ее можно было натягивать, сообразно съ удлиненіемъ или укорачиваніемъ стальной ленточки при измѣненіи температуры. Благодаря такому скрѣпленію, линейка l движется продольно въ то время, когда вращаютъ шестерню W, приводящую въ движеніе секторъ C и трубу. Вмѣстѣ съ линейкою передвигается закрѣпленная на ней поползушка u съ карандашомъ K. Такимъ образомъ, при вращеніи шляпки шестерни W, карандашъ чертитъ на бумагѣ линію по направленію радіуса круга Kp.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда, при вращеніи шляпки шестерни W, нѣтъ надобности получать на бумагѣ черту отъ карандаша, то его можно поднять при помощи особаго параллелограмма p, надавливая на отростокъ O. Обыкновенно это дѣлается такъ: съемщикъ держитъ у шляпки шестерни W первые три пальца правой руки, а мизинцемъ надавливаетъ или приподнимаетъ отростокъ O, тогда верхняя планка параллелограмма p зацѣпляетъ за выступъ K, и карандашъ поднимается или опускается.



Черт. 230 a.

Къ нижней части цилиндра A на шарнирѣ придѣлана пластинка Z_1, а къ концу салазокъ m, m придѣлана на шарнирѣ другая пластинка Z; эти двѣ пластинки Z_1 и Z, скрѣпленныя вмѣстѣ, составляютъ собою треугольникъ, который, благодаря шарнирамъ, можно приподнимать и прижимать, по произволу, къ цилиндру A. При укладкѣ инструмента въ ящикъ, треугольникъ прижимаютъ къ цилиндру A. При производствѣ съемокъ, треугольникъ этотъ опускается на бумагу, наложенную на кругъ Kp. Къ концу пластинки Z прикрѣплена маленькая рама съ колесцомъ, могущимъ вращаться при помощи шляпки W_1, которую, при съемкѣ, съемщикъ держитъ лѣвою рукою.

Если двигать шляпку W_1, при опущенномъ карандашѣ, то онъ начертитъ на бумагѣ дугу круга, а если шляпку W_1 обвести по всему кругу, то карандашъ опишетъ цѣлую окружность большаго или меньшаго радіуса, смотря по тому, поднята ли труба шестерней W вверхъ, или опущена ею внизъ (черт. 330 a).

Къ цилиндру A придѣланъ уровень y съ повѣрительнымъ винтомъ b. Ось этого уровня должна быть параллельна плоскости круга Kp, для того, чтобы кругъ Kp можно было установить подъемными винтами, при помощи уровня y, въ горизонтальномъ положеніи.

Секторъ C имѣетъ градусныя дѣленія (черт. 229) отъ 0 до 50 въ обѣ стороны, считая въ окружности 400°, какъ это принято во Франціи. Къ цилиндру A придѣланъ ноніусъ N, прикасающійся къ сектору. Помощью его можно читать сотыя части градуса. Когда нуль ноніуса совпадаетъ съ нулемъ сектора, тогда визирная ось должна быть горизонтальна. Если бы этого не оказалось послѣ провѣрки, дѣлаемой такъ же, какъ и въ пантометрахъ (§ 187), то исправленіе ошибки дѣлается винтомъ C при сѣткѣ трубы. Изъ сдѣланнаго здѣсь описанія видно, что многое въ устройствѣ этого инструмента заимствовано изъ устройства тахеометра Шарно (§ 252).

257. Употребленіе орографа. Собравъ инструментъ въ такомъ видѣ, какъ показано на чертежѣ 228, шесть шарниров a ставятъ въ отвѣсное положеніе, отвинчивая каждый изъ нихъ, потомъ на ось O надѣваютъ кружокъ бристольской гладкой бумаги съ круглымъ вырѣзомъ въ центрѣ, соотвѣтственно оси O, затѣмъ, вынувъ изъ ящика верхнюю часть инструмента, надѣваютъ цилиндромъ A на ось O и опускаютъ треугольникъ ZZ_1W_1 (черт. 229) на бумагу. Устанавливаютъ инструментъ надъ концомъ базиса и приводятъ въ горизонтальное положеніе кругъ Kp по уровню подъемными винтами (§ 96). Вращеніемъ шляпки шестерни W ставятъ нуль сектора въ совпаденіе съ нулемъ ноніуса (черт. 230).

Ослабивъ винтъ g поползушки u и передвинувъ ее такъ, чтобы она заняла середину линейки l, закрѣпляютъ ее винтомъ g.

Если предстоитъ снимать мѣстность съ большими возвышенностями, то поползушку лучше придвинуть ближе къ центру инструмента, насколько это возможно. Если же предстоитъ снимать мѣстность съ большими впадинами, то поползушку лучше отодвинуть, насколько это возможно, къ окружности круга Kp. Карандашъ надо очинить остро, лучше употреблять карандашъ изъ твердаго графита.

Когда нуль ноніуса приведенъ въ совпаденіе съ нулемъ сектора, тогда нужно опустить карандашъ и обвести кругъ шляпкою W. Кругъ, начерченный карандашомъ, будетъ соотвѣтствовать горизонту, проходящему черезъ визирную ось трубы, и каждая точка земной по-

верхности, изображеніе которой получится на этомъ кругѣ, будетъ имѣть такую же высоту, какую имѣетъ визирная ось трубы. Всякая точка, изображеніе которой получится внѣ этого круга, будетъ имѣть высоту большую, чѣмъ высота визирной оси, точно также всякая точка, изображеніе которой получится внутри очерченнаго карандашомъ круга, будетъ имѣть высоту меньшую высоты визирной оси.

Послѣ этого надо измѣрить, при помощи рейки, высоту горизонтальной визирной оси надъ точкою земли, надъ которою установленъ центръ инструмента.

Для того, чтобы получить изображеніе на бумагѣ какой-либо точки земной поверхности или точки, принадлежащей какому-либо предмету, приподнимаютъ карандашъ вверхъ помощью отростка O параллелограмма p и наводятъ центръ сѣтки трубы на эту точку, вращаютъ правою рукою шляпку шестерни W, а лѣвою рукою шляпку колесца W_1, затѣмъ, опустивъ карандашъ, начинаютъ вращать немного въ одну и другую сторону всю верхнюю часть инструмента, держа лѣвую руку у шляпки колесца W_1, послѣ этого на бумагѣ образуется небольшая дуга круга; затѣмъ вращаютъ шляпку колесца W_1 до тѣхъ поръ, пока центръ сѣтки не покроетъ визируемую точку, и, не дотрогиваясь до шляпки W_1, вращаютъ на небольшое число зубцовъ шляпку W въ одну и другую сторону. Такимъ образомъ, на бумагѣ получится черточка, пересѣкающая маленькую дугу, т. е. образуется крестъ, и центръ этого креста будетъ служить изображеніемъ точки, на которую визировали. Вся эта манипуляція полученія изображенія точки продолжается 3 или 4 секунды. Такимъ же образомъ опредѣляется изображеніе всѣхъ точекъ необходимыхъ для съемщика, а также опредѣленныхъ ранѣе тѣмъ или другимъ путемъ, и разстоянія между которыми будетъ служить базисами для съемки орографомъ.

Чтобы получить перспективное изображеніе какого-нибудь зданія, слѣдуетъ, дѣйствуя правою и лѣвою руками на шляпки W и W_1, обводить центръ сѣтки по всѣмъ контурамъ зданія, тогда карандашъ начертитъ перспективное изображеніе этого зданія.

Точно такъ же будутъ получаться контуры дорогъ, урѣзы воды въ рѣкѣ, озерѣ, контуры цѣпи горъ.

Дѣйствуя такъ, какъ сейчасъ указано, можно получить или изображенія отдѣльныхъ точекъ, или изображенія отдѣльныхъ линій и

контуровъ. При постепенномъ полученіи этихъ изображеній слѣдуетъ вращать верхнюю часть инструмента шляпкой W_1 съ лѣвой руки къ правой для того, чтобы ось O не вывинчивалась изъ круга Kp.

Убѣжденіемъ въ вѣрности снятаго перспективнаго изображенія служитъ то обстоятельство, что, обойдя такимъ образомъ цѣлый кругъ, изображеніе начальной точки должно получиться на томъ же мѣстѣ, на какомъ оно получалось въ первый разъ. Этою первою и послѣднею точкою должна быть всегда точка второго конца базиса.

Получивъ всѣ необходимые для цѣлей съемки контуры и отдѣльныя точки и убѣдившись, что все необходимое снято, визируютъ вновь на тѣ точки, высоты которыхъ желаютъ получить, причемъ наводятъ на нихъ центръ сѣтки и читаютъ показанія на вертикальномъ секторѣ, чтенія заносятъ въ особый журналъ, а на планѣ ставятъ у точекъ нумера, соотвѣтствующіе нумерамъ журнала.

Затѣмъ снимаютъ съ оси O цилиндръ A со всѣмъ, что къ нему прикрѣплено, и укладываютъ эту часть орографа въ ящикъ. Послѣ этого, не снимая треножника съ кругомъ, дѣлаютъ надписи на всѣхъ точкахъ и контурахъ для того, чтобы не смѣшать ихъ потомъ съ другими точками и контурами. Когда убѣдятся такимъ образомъ, что все нужное занесено на бумагу, снимаютъ треножникъ съ кругомъ Kp и осью O съ точки стоянія и, установивъ на ея мѣстѣ вѣшку, переходятъ на другой конецъ базиса. Если длина базиса неизвѣстна, то, конечно, надо предварительно измѣрить его.

На второмъ концѣ базиса, совершенно такъ же, какъ и на первомъ концѣ,—поползушка должна быть поставлена въ томъ же положеніи, т. е. винтикъ g не слѣдуетъ ослаблять. Первою точкою изображенія, которую надо получить съ другого конца базиса, должна быть точка, въ которой только-что поставлена вѣшка, т. е. первый конецъ базиса.

Такимъ образомъ, съ двухъ концовъ базиса получатся два перспективныхъ изображенія въ произвольномъ масштабѣ. При помощи этихъ двухъ изображеній можно получить посредствомъ прямыхъ засѣчекъ (§ 244) дѣйствительное положеніе на планѣ проекцій точекъ и контуровъ, на которые визировали (§ 255, черт. 227). При этомъ необходимо сначала подклеить куски тонкой бумаги у центральныхъ вырѣзовъ бристольской бумаги, затѣмъ по двумъ произвольнымъ хордамъ круга, соотвѣтствующаго положенію горизонтальной визирной оси, найти центръ круга, который, какъ извѣстно, будетъ находиться

на пересѣченіи двухъ перпендикуляровъ, возстановленныхъ изъ серединъ хордъ. Найдя такимъ образомъ центры двухъ круговъ бристольской бумаги съ перспективными изображеніями, надо круги эти положить на бумагу, на которой желаютъ получить планъ, такъ, чтобы центры перспективныхъ изображеній покрыли концы базиса, нанесеннаго на эту бумагу въ какомъ-нибудь опредѣленномъ масштабѣ; послѣ чего бристольскую бумагу надо приколоть булавками въ ихъ центрахъ, затѣмъ круги повернуть такъ, чтобы радіусы, соотвѣтствующіе направленіямъ на базисы, совпали съ направленіемъ базиса на большомъ листѣ бумаги. Затѣмъ, приколовъ каждый изъ круговъ къ листу бумаги тремя кнопками, надо вычертить планъ, слѣдуя правилу прямыхъ засѣчекъ (§ 244).

Масштабъ для этого плана долженъ быть, по необходимости, крупнымъ, потому что длина базиса не можетъ быть на планѣ меньше діаметра круга бристольской бумаги, а такъ какъ этотъ діаметръ равенъ 10 дюймамъ, то, при базисѣ въ 250 саженъ, масштабъ будетъ въ одномъ дюймѣ 25 саженъ; если длина базиса равна 100 саженямъ, то масштабъ будетъ въ одномъ дюймѣ 10 саженъ.

Получивъ такимъ образомъ планъ въ крупномъ масштабѣ, можно измѣрить на немъ довольно точно горизонтальное разстояніе отъ концовъ базиса до тѣхъ точекъ, высоты которыхъ желали опредѣлить; зная же горизонтальныя разстоянія и углы наклоненія визирной оси къ горизонту при визированіи на эти точки, найдемъ, по формулѣ $i = D\,tg\,\alpha$ (§ 206), высоту каждой изъ точекъ, на которыя записаны углы, составленные горизонтальною визирною осью. А зная отмѣтку горизонтальной визирной оси, найдемъ отмѣтку каждой изъ точекъ, на которыя взяты вертикальные углы.

Такъ какъ углы на каждую такую точку опредѣляются съ двухъ концовъ базиса, то такимъ путемъ получается по двѣ отмѣтки для каждой точки, а средняя ариѳметическая двухъ этихъ отмѣтокъ дастъ болѣе вѣроятную отмѣтку, а также укажетъ на величину средней ошибки каждаго изъ двухъ опредѣленій.

Разность высотъ между точками земной поверхности и горизонтальною визирною осью инструмента можно найти и изъ графическихъ данныхъ, полученныхъ при помощи ортографа. Если назовемъ разстояніе между концомъ базиса и какою-либо точкою на планѣ буквою d, то это d будетъ выражено въ дюймахъ и частяхъ

дюйма, если масштабъ въ дюймахъ; если же масштабъ въ сантиметрахъ, то d выразится въ сантиметрахъ и его частяхъ. Разстояніе изображенія точки на бристольской бумагѣ отъ круга сравненія, т. е. круга, соотвѣтствующаго горизонтальной визирной оси, назовемъ буквою h, радіусъ круга сравненія—буквою r. Если масштабъ плана $\frac{1}{n}$, то возвышеніе или пониженіе точки относительно визирной оси, которое назовемъ буквою i, найдется изъ слѣдующей пропорціи:

$$\frac{i}{hn} = \frac{dn}{rn};$$

или

$$i = \frac{hdn}{r}.$$

Зная i, высоту горизонтальной визирной оси надъ точкой стоянія инструмента, и зная отмѣтку этой точки, найдемъ (§ 206) отмѣтку искомой точки.

Если всѣ точки, съ которыхъ дѣлались перспективные снимки, уже нанесены на бумагу въ принятомъ масштабѣ, то, понятно, можно составить такимъ путемъ планъ цѣлой страны.

Получивъ планъ съ контурами и отмѣтками точекъ, уже легко составить по общимъ правиламъ планъ и въ горизонталяхъ (§ 20).

Затѣмъ планъ этотъ, составленный въ крупномъ масштабѣ, можно уменьшить по правиламъ, о которыхъ будетъ сказано ниже.

Удобство этого метода съемки заключается въ томъ, что при немъ нѣтъ надобности ставить много вѣшекъ, какъ это необходимо при съемкѣ мензулой, нѣтъ надобности имѣть нѣсколько реечниковъ, какъ это необходимо при съемкѣ тахеометрами или высотомѣрами-дальномѣрами, а главное удобство этого метода, какъ и фотографическаго, заключается въ томъ, что весь матеріалъ для составленія плана получается графическимъ путемъ, и полевые брульены всегда могутъ служить для провѣрки плановъ.

Орографъ былъ примѣненъ Шрадеромъ, какъ сказано выше, при съемкѣ Пиринеевъ. Шрадеръ говоритъ, что при небольшомъ навыкѣ съемка съ одной точки перспективнаго изображенія въ трудной части Пиринеевъ продолжалась максимумъ 3 часа съ полнымъ окончаніемъ рисунка. Такимъ путемъ имъ снята площадь въ 6.000 кв. километровъ въ теченіи 120 дней, причемъ первые 30 или 40 дней получались результаты неточные, вслѣдствіе недостатковъ первона-

чальнаго устройства инструмента, а также вслѣдствіе неопытности съемщика, а потому время, въ которое сняга площадь трудной мѣстности въ 6.000 кв. километровъ, надо считать лишь въ 85 дней.

Средняя ошибка двухъ опредѣленій высоты одной и той же точки не превосходила, по опредѣленіямъ Шрадера, одного метра. Сравненіе же его опредѣленій съ опредѣленіями испанскихъ съемокъ, именно вершинъ Тюрбо и Монсени, отстоящихъ другъ отъ друга на 40 километровъ, привело его къ заключенію, что его собственныя опредѣленія отличаются отъ геодезическихъ работъ испанцевъ менѣе чѣмъ на 2 метра въ высотѣ.

Сравненіе же отдѣльныхъ опредѣленій орографомъ и эклиметромъ или высотомѣромъ дали, по словамъ Шрадера, результаты идентичные.

Было бы очень полезно снять орографомъ нашъ Кавказскій хребетъ.

Глава XXV.

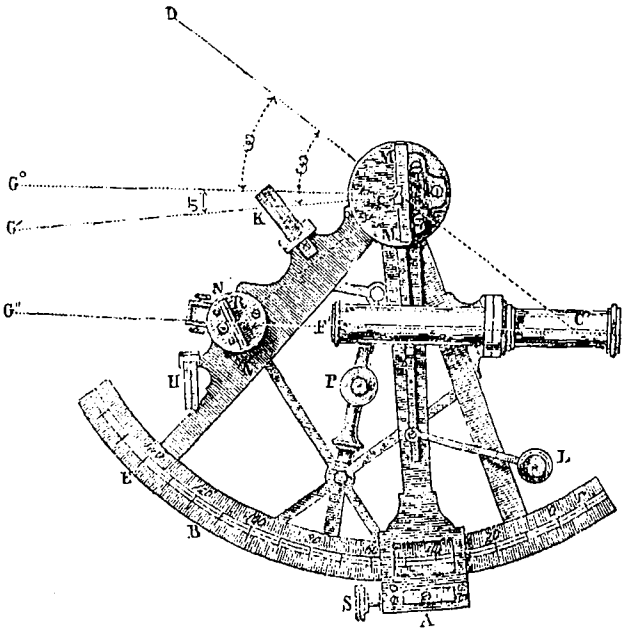
ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ УГЛОМѢРНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ.

258. Общее понятіе объ отражательныхъ инструментахъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ для опредѣленія положенія точки, въ которой находится наблюдатель, приходится опредѣлять углы въ такихъ мѣстахъ, гдѣ установить инструментъ на штативѣ нѣтъ возможности, напр. съ лодки или съ судна, находящихся на рѣкѣ, озерѣ или морѣ. Въ подобныхъ случаяхъ употребляются угломѣрные инструменты, имѣющіе два зеркала или зеркало и стеклянную призму. Такіе инструменты называются *отражательными*. Къ числу отражательныхъ инструментовъ относятся *Секстантъ*, *Писторовъ кругъ*, *отражательный экеръ*, зеркальный и призматическій, а также *двупризменный экеръ*, или *призматическій крестъ*, служащіе для разбивки на землѣ перпендикуляровъ и для нахожденія точки, принадлежащей данной линіи, и, наконецъ, такъ называемый *курвиграфъ*, служащій для разбивки кривыхъ линій.

259. Описаніе секстанта. Секстантъ (черт. 331) не имѣетъ полнаго круга лимба, а только 6-ую или 8-ую часть цѣлой окружности. Съ нижней стороны къ инструменту придѣлана ручка P, ею наблюдатель держитъ инструментъ во время измѣренія угловъ. Лимбъ раз-

дѣленъ на части градуса, равныя 10 или 20 минутамъ. Градусныя надписи поставлены двойныя, т. е. гдѣ, напр., 30°, тамъ стоитъ надпись 60°. Къ одной изъ мѣдныхъ спицъ, направленныхъ по радіусу лимба, равнаго пяти, восьми дюймамъ, придѣлана оправа для ввинчиванія въ нее трубы $C'F'$, визирная ось которой параллельна плоскости лимба.

Къ другой спицѣ придѣлано къ оправѣ R зеркало N, нижняя половина котораго амальгамирована; это зеркало будемъ называть *неподвижнымъ*. Оправа снабжается однимъ или двумя повѣрительными



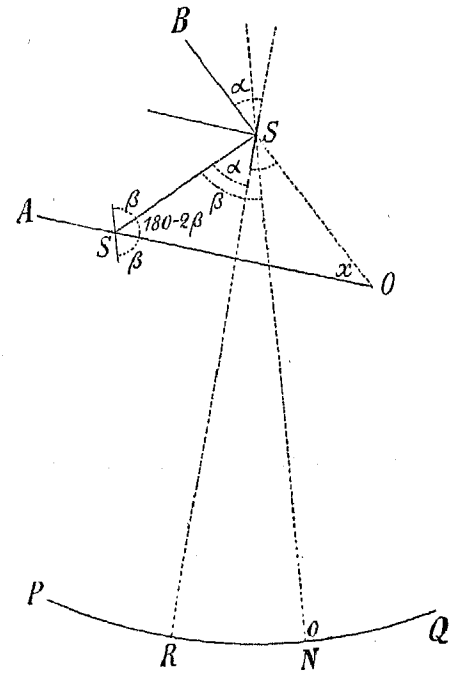
Черт. 331.

винтами. Однимъ изъ нихъ плоскость зеркала можно поставить строго перпендикулярно къ плоскости лимба, другимъ можно повернуть зеркало относительно перпендикуляра къ лимбу въ ту или другую сторону. Послѣдній винтъ не всегда имѣется въ секстантахъ.

Къ алидадѣ, близъ ея точки вращенія, придѣлано въ оправѣ зеркало MM', сплошь амальгамированное; оправа иногда снабжается повѣрительнымъ винтомъ, имъ можно установить плоскость зеркала перпендикулярно къ плоскости лимба. Противъ зеркала алидады, или подвижного зеркала, установлены особыя цвѣтныя стекла K_1, отъ двухъ до 4-хъ, въ оправахъ, вращающихся на шарнирахъ. Противъ зер-

кала N такія же стекла H. Одно изъ этихъ стеколъ имѣетъ обыкновенно синій цвѣтъ, другое—желтый, третье и четвертое—красный, отличающіеся другъ отъ друга большею или меньшею яркостью. Они назначаются для уменьшенія силы свѣта, на случай визированія на слишкомъ яркіе предметы или же на небесныя свѣтила, напр., на солнце или луну. Алидада имѣетъ зажимательный винтъ A и микрометренный S, и къ ней придѣлывается также лупа L, для разсматриванія дѣленій лимба и ноніуса.

Секстантомъ можно измѣрять углы въ какой угодно плоскости,—отвѣсной, наклонной, горизонтальной. Соотвѣтственно этому, *его надо держать, при измѣреніи угла, въ плоскости предметовъ*.



Черт. 332.

260. Теорія секстанта. На чертежѣ 332-омъ дуга $PRNQ$ представляетъ обводъ лимба, SR—направленіе алидады отъ точки вращенія къ нулю ноніуса, S—зеркало алидады, $S\beta\beta$—зеркало лимба. O—вершина измѣряемаго угла.

Если лимбъ секстанта установить въ плоскости предметовъ A и B, то лучъ, идущій отъ предмета A, проходя чрезъ верхнюю часть зеркала $S\beta\beta$, не имѣющую подводки, пойдетъ по направленію AO. Лучъ, идущій отъ предмета B, упавъ на зеркало $S_{\alpha\alpha}$, подъ нѣкоторымъ угломъ, отразится отъ него подъ тѣмъ же угломъ. Отраженный лучъ упадетъ на зеркало $S\beta\beta$ подъ нѣкоторымъ другимъ угломъ и подъ этимъ вторымъ угломъ отразится отъ зеркала $S\beta\beta$. Этотъ послѣдній, двояко-отраженный лучъ, можетъ попасть въ глазъ наблюдателя лишь въ томъ случаѣ, когда алидада поставлена такимъ образомъ, что лучъ двояко-отраженный SO пойдетъ по тому же направленію, какъ и лучъ AO, или близко къ нему. Положимъ, что при этомъ нуль ноніуса алидады занимаетъ мѣсто R,

и нуль лимба находится въ точкѣ N, слѣдовательно, уголъ, прочтенный на лимбѣ, выразится дугою RN въ то время, когда прямо-видимый предметъ A и двояко-отраженный B сливаются между собою.

Выведемъ зависимость между угломъ x и величиной чтенія по лимбу. Продолживъ линію BS (черт. 332) до пересѣченія съ AS у точки O, получимъ уголъ x, составленный лучами, идущими отъ предметовъ къ глазу. Изъ треугольника SSO имѣемъ:

$$2\alpha + 180^\circ - 2\beta + x = 180^\circ,$$

откуда:

$$x = 2\ (\beta - \alpha).$$

Если SN параллельна слѣду зеркала $S\beta\beta$ на плоскости лимба, то уголъ $\beta - \alpha$ равенъ углу RSN, или дугѣ RN, такимъ образомъ, имѣемъ:

$$x = 2\ RN.$$

Слѣдовательно,—если алидаду поставить такъ, что прямо-видимый предметъ и двояко-отраженный покрываютъ другъ друга, то *уголъ между лучами, идущими отъ предметовъ, равенъ двойному углу между зеркалами.* Отсчетъ по нониусу надо, слѣд., удвоить, чтобы получить величину угла, заключенную между лучами, идущими отъ данныхъ предметовъ. Но такъ какъ надписи на лимбѣ секстанта поставлены двойныя, то дѣлать умноженія нѣтъ надобности: отсчетъ по лимбу дастъ непосредственно величину угла x, если только алидада закрѣплена въ томъ положеніи, когда наблюдатель видитъ изображенія данныхъ предметовъ въ трубѣ покрывающими другъ друга.

261. Какимъ условіямъ долженъ удовлетворять секстантъ, чтобы возможно было вѣрно измѣрять имъ углы. При выводѣ высказаннаго выше правила были сдѣланы два предположенія:—1-е, нуль лимба находится въ точкѣ N, и 2-е, линія NS параллельна слѣду плоскости зеркала $S\beta\beta$ на плоскости лимба (черт. 332).

Поэтому, для вѣрнаго измѣренія угловъ секстантомъ, необходимо, чтобъ, при совпаденіи нуля нониуса съ нулемъ лимба, плоскости зеркалъ были параллельны или, лучше сказать, чтобы были параллельны слѣды зеркалъ на плоскости лимба.

Такъ какъ лучи, падающій и отраженный, лежатъ въ одной пло-

скости, то, для того чтобы лучи BS и SS лежали въ той же плоскости, какъ и лучи SS и OS, необходимо, чтобы всѣ они лежали въ одной плоскости, перпендикулярной къ плоскостямъ зеркалъ $S\beta\beta$ и S, что возможно лишь въ томъ случаѣ, когда зеркала перпендикулярны къ плоскости лимба, такъ какъ лучи BS и AS лежатъ въ одной плоскости.

Итакъ, въ вѣрномъ секстантѣ должны быть удовлетворены слѣдующія условія:

1) Алидадное зеркало должно быть перпендикулярно къ плоскости лимба.

2) Неподвижное зеркало тоже должно быть перпендикулярно къ плоскости лимба.

3) Слѣды зеркалъ на плоскости лимба должны быть параллельны, когда нуль ноніуса совпадаетъ съ нулемъ лимба.

4) Ось вращенія алидады должна находиться въ центрѣ лимба.

5) Дѣленія лимба должны быть вѣрны.

6) Плоскости, ограничивающія каждое цвѣтное стекло, должны быть параллельны между собою.

Чтобы уяснить себѣ, какъ производятся повѣрки указанныхъ сейчасъ условій, необходимо вспомнить нѣкоторыя теоремы, относящіяся къ оптикѣ.

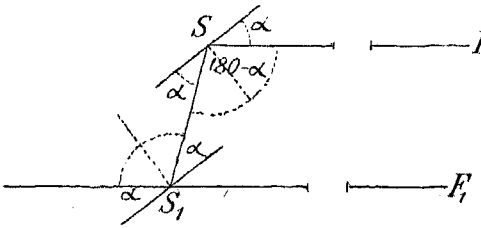
1) Изображеніе предмета перпендикулярно къ зеркалу, если самый предметъ перпендикуляренъ къ нему, или предметъ и изображеніе составляютъ одну линію.

2) Если на параллельныя зеркала, (черт. 333) изъ которыхъ одно S—имѣетъ полную подводку, а другое S_1—половинную, падаютъ параллельные лучи, то прямо-видимый лучъ, проходящій чрезъ неамальгамированную часть 2-го зеркала, и двояко-отраженный идутъ по одному направленію S_1F_1.

3) Если на непараллельныя зеркала (черт. 334), изъ которыхъ одно S имѣетъ полную подводку, а другое S_1—половинную, падаютъ параллельные лучи, то прямо-видимый лучъ и двояко-отраженный идутъ по разнымъ направленіямъ, а именно лучъ двояко-отраженный уклоняется отъ ребра двугранаго угла, составленнаго зеркалами.

262. Какъ узнать, перпендикулярно ли подвижное зеркало секстанта къ плоскости лимба. Отвинчиваютъ трубу, ставятъ нуль ноніуса близко около нуля лимба и смотрятъ вкось на зеркало MM'

(черт. 331), чтобы видѣть изображеніе въ немъ плоскости лимба. Если изображеніе лимба и самый лимбъ представляются у зеркала не параллельными, а какъ бы служатъ продолженіемъ одинъ другого, то зеркало перпендикулярно къ плоскости лимба. Въ противномъ слу-



Черт. 333.

Черт. 334.

чаѣ, т. е. если лимбъ и его изображеніе у зеркала кажутся ломаной линіей, то зеркало неперпендикулярно къ лимбу, и исправленіе слѣдуетъ произвести повѣрительнымъ винтомъ у зеркала MM'.

263. Какъ узнать, перпендикулярно ли малое зеркало секстанта къ плоскости лимба и параллельно ли оно плоскости большого зеркала. Если подвижное зеркало вывѣрено, а зеркало неподвижное неперпендикулярно къ плоскости лимба, то мысленно продолженныя плоскости зеркалъ пересѣкутся, и притомъ, если лимбъ держать въ отвѣсной плоскости, то линія пересѣченія окажется также отвѣсною.

Если неподвижное зеркало перпендикулярно къ плоскости лимба, но слѣдъ его непараллеленъ плоскости подвижнаго зеркала, то пересѣченіе зеркалъ, при отвѣсномъ положеніи лимба, произойдетъ по линіи горизонтальной.

Поэтому для повѣрки сводятъ нули ноніуса и лимба въ совпаденіе и, установивъ противъ зеркалъ цвѣтныя стекла, наводятъ трубу на солнце, при отвѣсномъ положеніи лимба. Если въ трубѣ получится одно изображеніе, то это укажетъ, что лучи, прямо-видимые и двояко-отраженные отъ неподвижнаго зеркала, идутъ по одному направленію, — что возможно лишь тогда, когда зеркала параллельны. Такъ какъ подвижное зеркало перпендикулярно къ плоскости лимба, то 2-е зеркало, кромѣ того, также перпендикулярно къ плоскости лимба.

Если въ трубѣ получатся два изображенія, то они могутъ расположиться трояко—или одно возлѣ другого на одной горизонтальной линіи, или одно надъ другимъ на одной отвѣсной линіи, или одно относительно другого по наклонной линіи.

Два изображенія на одной горизонтальной линіи соотвѣтствуютъ тому положенію, при которомъ зеркала составляютъ между собою двугранный уголъ съ отвѣснымъ ребромъ, что равносильно тому, что малое зеркало неперпендикулярно къ плоскости лимба.

Два изображенія на одной отвѣсной линіи соотвѣтствуютъ тому положенію, при которомъ линія пересѣченія зеркалъ горизонтальна, что равносильно тому, что слѣдъ малаго зеркала непараллеленъ плоскости большого.

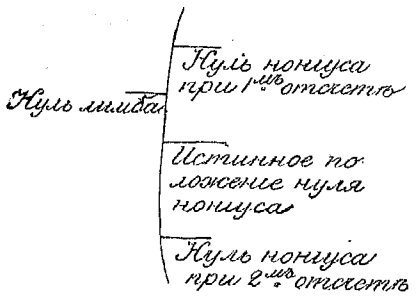
Два изображенія расположатся по нѣкоторой наклонной линіи при неперпендикулярности малаго зеркала къ плоскости лимба и непараллельности его слѣда на плоскости лимба большему зеркалу, т. е. при существованіи обѣихъ невѣрностей одновременно.

Исправленіе этихъ невѣрностей производится такъ, — удерживая инструментъ *лѣвою* рукою, смотрятъ въ трубу на солнце, вращаютъ повѣрительный винтъ неподвижнаго зеркала *правою* рукою до тѣхъ поръ, пока оба изображенія солнца не будутъ находиться на одной отвѣсной линіи, тогда неперпендикулярность малаго зеркала къ плоскости лимба уничтожится. Но слѣды зеркалъ еще не параллельны. Невѣрность инструмента въ этомъ отношеніи называется *колимаціей*; чтобы ее уничтожить, надо дѣйствовать другимъ повѣрительнымъ винтомъ неподвижнаго зеркала до тѣхъ поръ, пока оба изображенія не сольются. Но достигнуть совпаденія обоихъ изображеній затруднительно, поэтому, обыкновенно опредѣляютъ величину колимаціонной ошибки.

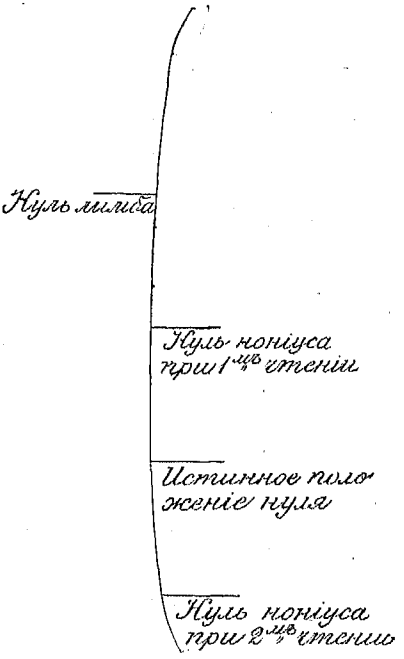
264. Какъ опредѣлить колимаціонную ошибку секстанта. Если не имѣется винта, при помощи котораго можетъ быть уничтожена

непараллельность слѣда неподвижнаго зеркала зеркалу подвижному въ инструментѣ, или если желаютъ знать величину колимаціи, то неправильность не уничтожается, но вліяніе этой неправильности на величину измѣряемыхъ угловъ опредѣляютъ такъ: сведя нуль ноніуса съ нулемъ лимба, визируютъ въ трубу на солнце, приводятъ микрометреннымъ винтомъ оба изображенія солнца въ положеніе другъ другу касательное, читаютъ по ноніусу и полученный отсчетъ записываютъ. Дѣйствуя микрометреннымъ винтомъ въ другую сторону, ставятъ верхнее изображеніе ниже нижняго, но такъ, чтобы они вновь касались краями, и читаютъ вторично по ноніусу. Это чтеніе можетъ быть или въ одну сторону съ прежнимъ, или въ другую.

Если нуль ноніуса былъ при обоихъ чтеніяхъ или справа, или слѣва



Черт. 335.



Черт. 336.

отъ нуля лимба, то положеніе нуля ноніуса при параллельности зеркалъ должно находиться справа или слѣва отъ нуля лимба, и истинное положеніе нуля ноніуса будетъ равно полусуммѣ чтеній; причемъ, если оба чтенія были справа отъ нуля лимба, то отсчетъ по лимбу меньше надлежащаго, а потому ошибку надо прибавлять ко всѣмъ измѣреннымъ угламъ. Если оба чтенія были слѣва отъ нуля лимба, то полученную величину ошибки слѣдуетъ вычитать изъ измѣренныхъ угловъ, какъ это видно изъ чертежа 336-го.

Если оба чтенія были съ разныхъ сторонъ отъ нуля лимба, то ошибка равна полусуммѣ чтеній, независимо отъ знака, и ее при-

ходится прикладывать или вычитать изъ измѣренной величины угла, смотря по тому, съ какой стороны нуля лимба было бо́льшее чтеніе, — съ правой или лѣвой, какъ это видно изъ чертежа 336-го. При этомъ надо имѣть въ виду, что чтеніе по ноніусу для положенія нуля ноніуса справа отъ нуля лимба будетъ дополненіемъ до точности ноніуса.

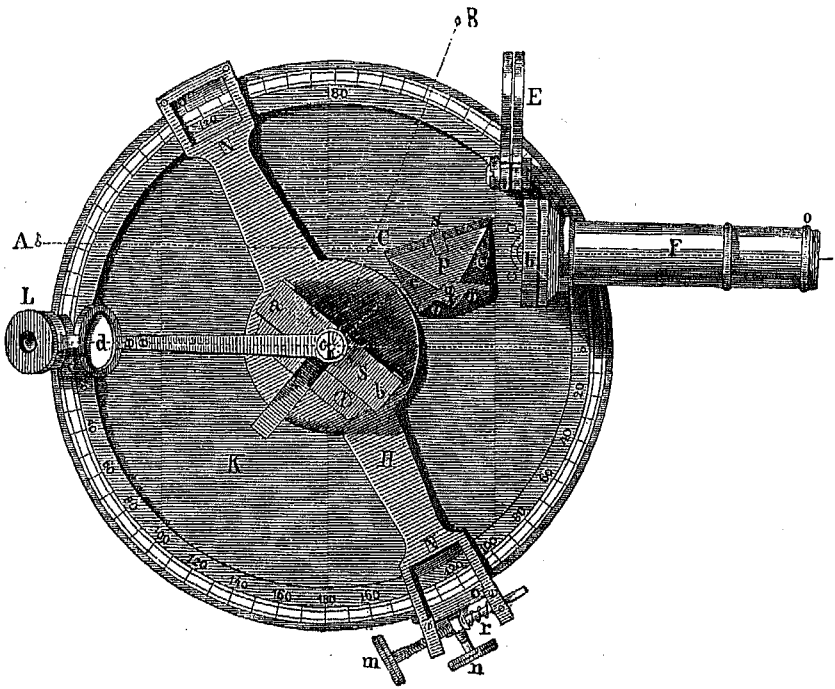
265. Какъ произвести повѣрку совпаденія центра лимба съ осью вращенія алидады. Чтобы узнать, совпадаетъ ли центръ лимба съ осью вращенія алидады, измѣряютъ углы уже извѣстные между какими-нибудь предметами,—напр., измѣренные хорошимъ и точнымъ теодолитомъ или вычисленные,—напр., углы между лучами, идущими отъ неподвижныхъ звѣздъ. Во всякомъ случаѣ, углы эти должны быть разнообразной величины. Если измѣреніе секстантомъ дастъ величины, равныя дѣйствительнымъ величинамъ этихъ угловъ, то секстантъ вѣренъ относительно изслѣдуемаго условія. Невѣрный въ этомъ отношеніи инструментъ лучше не употреблять въ дѣло, такъ какъ исправленія сдѣлать нельзя. Вводить же эту ошибку въ вычисленіе слишкомъ затруднительно, такъ какъ для разныхъ угловъ она будетъ различная.

Вывѣрка дѣленій лимба и ноніуса дѣлается такъ же, какъ и въ другихъ угломѣрныхъ инструментахъ.

266. Какъ произвести повѣрку параллельности плоскостей цвѣтныхъ стеколъ. Повѣрку параллельности плоскостей каждаго цвѣтного стекла дѣлаютъ такъ: ставятъ предъ зеркалами по одному цвѣтному стеклу, сводятъ нуль ноніуса съ нулемъ лимба, визируютъ на солнце и, если инструментъ уже вывѣренъ во всѣхъ другихъ отношеніяхъ, то получаютъ одно изображеніе солнца. Снимаютъ цвѣтное стекло, поставленное противъ алидаднаго зеркала, и надѣваютъ его на ось такъ, чтобы оно пришлось противъ зеркала другою своею плоскостью. Визируютъ вновь на солнце. Если получатъ опять одно изображеніе, то значитъ плоскости, ограничивающія это стекло, параллельны между собою. Если получатъ два изображенія, то плоскости стекла непараллельны, и его надо перемѣнить. Точно такъ же дѣлается повѣрка и всѣхъ другихъ стеколъ, расположенныхъ предъ алидаднымъ зеркаломъ, а потомъ и расположенныхъ предъ зеркаломъ лимба.

267. Кругъ Пистора. Если центръ вращенія алидады въ секстантѣ не совпадаетъ съ центромъ лимба, то чтеніе по лимбу и ноніусу не выра-

жаетъ дѣйствительной величины измѣряемыхъ угловъ, и такъ какъ избѣгнуть этой ошибки при устройствѣ секстанта затруднительно, то вмѣсто секстанта употребляютъ *кругъ Пистора*. Чертежи 337 и 338 представляютъ этотъ инструментъ въ планѣ и разрѣзѣ, отличающійся отъ секстанта тѣмъ, что онъ имѣетъ для лимба полный кругъ, діаметра равнаго пяти, восьми дюймамъ. Слѣдовательно, углы можно читать по двумъ ноніусамъ, полусумма обоихъ чтеній дастъ вѣрную

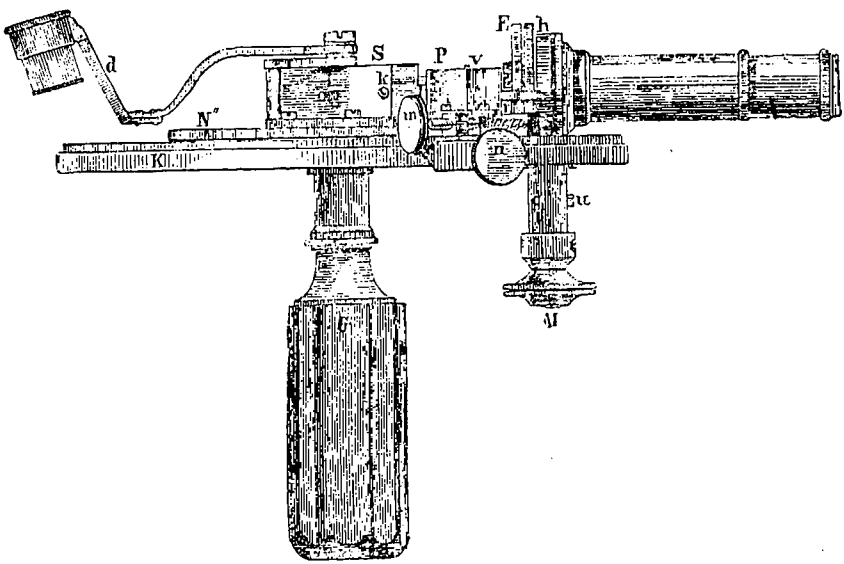


Черт. 337.

величину угла, хотя бы ось вращенія алидады и не совпадала съ центромъ лимба. Отличіе Писторова круга отъ секстанта заключается еще въ томъ, что вмѣсто малаго зеркала поставлена призма P, гипотенузная плоскость которой параллельна плоскости большого зеркала S, когда нули лимба и ноніуса совпадаютъ. Большое зеркало S устанавливается въ серединѣ алидады NHN'. Цвѣтныя стекла E ставятся между объективомъ и призмой, а также навинчиваются на окуляръ. Призма поставлена вмѣсто зеркала, для того чтобы уменьшить разсѣваніе двояко-отраженныхъ лучей; n—зажимательный; m—микрометренный винтъ

алидады; *d*—иллюминаторъ для освѣщенія дѣленій нонiуса; *L*—лупа для разсматриванія отсчетовъ на лимбѣ; *h* — оправа, въ которую ввинчивается труба; *M*—винтъ, при помощи котораго труба устанавливается такъ, чтобы визирная ея ось приходилась противъ верхней плоскости призмы; *k*—повѣрительный винтъ для зеркала *S*; *G*—ручка, за которую держатъ инструментъ во время измѣренія угла. Кругъ Пистора дѣлаютъ еще такъ же, какъ изображено на чертежѣ 339-мъ, т. е. лимбъ сдѣланъ въ немъ не изъ цѣльнаго куска мѣди.

Теорія Писторова круга та же, что и секстанта, т. е. въ немъ



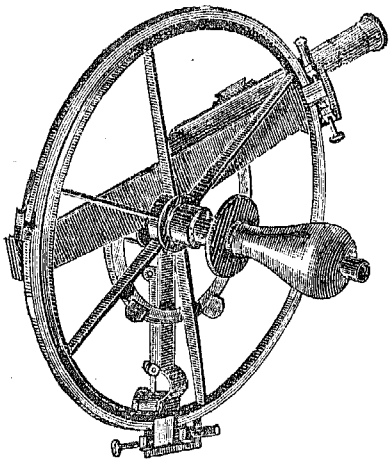
Черт. 338.

уголъ, составленный лучами, идущими отъ двухъ предметовъ, вдвое больше угла, составленнаго плоскостью алидаднаго зеркала съ гипотенузною плоскостью призмы, когда совпадаютъ прямо-видимый лучъ, идущій отъ одного предмета поверхъ призмы, и лучъ, двояко-отраженный зеркаломъ и призмою и идущій отъ 2-го предмета.

Повѣрки Писторова круга дѣлаются совершенно такъ же, какъ и секстанта.

268. Измѣреніе угловъ въ плоскостяхъ наклонной и горизонтальной секстантомъ и кругомъ Пистора. Предъ употребленіемъ секстанта или Писторова круга надо установить трубу надлежащимъ

образомъ, т. е. такъ, чтобы изображенія въ ней получались ясными и отчетливыми, и чтобы визирная ось приходилась противъ линіи раздѣла амальгамы на маломъ зеркалѣ, или противъ верхней грани призмы, — для этого трубу надо поднять или опустить винтомъ M, находящимся при ней; затѣмъ правою рукою берутъ инструментъ за ручку (G черт. 338 и P черт. 331), ослабивъ лѣвою рукою, зажимательный винтъ алидады ставятъ лимбъ, по возможности, въ плоскости предметовъ, и визируютъ въ трубу на *лѣвый* предметъ. Затѣмъ, держа крѣпко инструментъ, передвигаютъ лѣвою рукою алидаду до тѣхъ поръ, пока не увидятъ въ трубѣ *праваго* предмета, тогда закрѣпляютъ зажимательный винтъ и приводятъ микрометреннымъ винтомъ, въ точности, въ совпаденіе изображенія обоихъ предметовъ. Отсчетъ, прочтенный на лимбѣ отъ нуля лимба до нуля ноніуса, будетъ равенъ углу, заключенному между лучами, идущими отъ предметовъ.



Черт. 339.

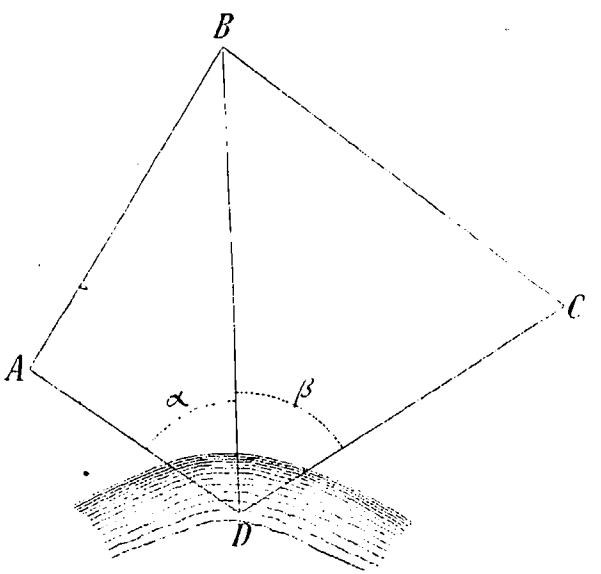
Измѣреніе угловъ между земными предметами секстантомъ или кругомъ Пистора употребляется, главнымъ образомъ, для опредѣленія положенія точекъ стоянія судна на рѣкѣ, озерѣ или морѣ.

Если на берегу рѣки, озера или моря выставлены три сигнала въ точкахъ A, B и C (черт. 340), положеніе которыхъ на планѣ вполнѣ опредѣленно, и если относительно этихъ знаковъ желаютъ опредѣлить положеніе, плывущихъ или стоящихъ на якорѣ, лодки или катера, въ моментъ, когда съ нихъ измѣряется, напр., глубина лотомъ или шестомъ, раздѣленнымъ на части сажени, то наблюдателю, находящемуся на лодкѣ, достаточно измѣрить два угла α и β, заключенные между лучами, идущими къ его глазу отъ знаковъ, поставленныхъ на берегу.

Имѣя эти углы, на планѣ легко опредѣлить построеніемъ, съ достаточною точностью, положеніе мѣста, съ котораго произведенъ промѣръ глубины рѣки, озера или моря (§ 246).

269. Измѣреніе угловъ секстантомъ или Писторовымъ кругомъ въ отвѣсной плоскости. Для этого измѣренія употребляется искусственный горизонтъ. Напр., если бы желали опредѣлить угловую высоту нижняго или верхняго края солнца надъ горизонтомъ, то нужно было бы измѣрить уголъ между лучами, идущими отъ одного изъ этихъ краевъ къ глазу наблюдателя, и лучемъ, идущимъ отъ изображенія того же края въ искусственномъ горизонтѣ.

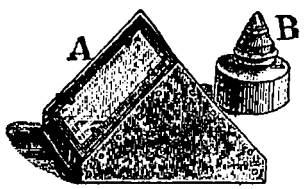
Измѣренный уголъ, дѣленный пополамъ, дастъ величину для угловой высоты одного изъ краевъ солнца въ моментъ измѣренія. Измѣ-



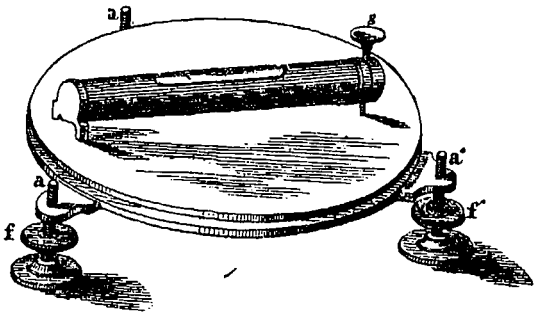
Черт. 340.

реніе же въ этомъ случаѣ производится слѣдующимъ образомъ. Наблюдатель устанавливаетъ искусственный горизонтъ. Если искусственный горизонтъ состоитъ изъ деревяннаго продолговатаго ящика, наполненнаго ртутью, имѣющаго длину 6 дюймовъ, а ширину 2 дюйма, то установка его заключается въ томъ, чтобы по направленію длинныхъ краевъ ящика не было тѣни (черт. 341). Если искусственный горизонтъ сдѣланъ изъ темнаго отшлифованнаго стекла (черт. 342), то надо плоскость его привести въ горизонтальное положеніе подъемными винтами $f_1 f'$ при помощи особаго съемнаго уровня, ось котораго должна быть параллельна плоскости стекла искусственнаго

горизонта, для выполненія чего служитъ винтъ *s*. Затѣмъ наблюдатель съ секстантомъ или кругомъ Пистора устанавливается предъ искусственнымъ горизонтомъ такъ, чтобы отчетливо увидѣть въ немъ изображеніе солнца; ставитъ цвѣтныя стекла, чтобы изображеніе прямо-видимое было краснымъ, а двояко-отраженное — желтымъ. При этомъ наблюдатель держитъ правою рукою инструментъ за его ручку такъ, чтобы лимбъ былъ въ отвѣсномъ положеніи, а лѣвою за зажимательный винтъ алидады; ставитъ трубу между глазомъ и изображеніемъ солнца въ искусственномъ горизонтѣ и подводитъ глазъ къ окуляру трубы. Если наблюдатель держитъ инструментъ твердо, то онъ непремѣнно увидитъ въ трубѣ красное изображеніе солнца. Если



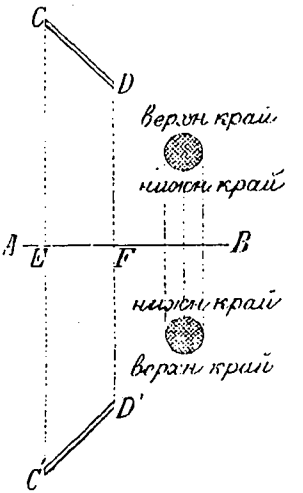
Черт. 341.



Черт. 342.

же не увидитъ, то это укажетъ, что онъ передвинулъ глазъ съ прежняго мѣста, и онъ долженъ вновь установиться предъ искусственнымъ горизонтомъ такъ, чтобы увидѣть въ немъ изображеніе солнца. Когда красное изображеніе солнца или изображеніе отъ искусственнаго горизонта получится въ трубѣ, то оно будетъ бѣгать въ полѣ зрѣнія трубы, оттого что рука, какъ бы крѣпка она ни была, все-таки колеблется. Наблюдатель этимъ не долженъ смущаться, а долженъ заботиться о томъ, чтобы изображеніе не вышло совсѣмъ изъ поля зрѣнія трубы. Затѣмъ лѣвою рукою онъ долженъ быстро передвинуть нѣсколько разъ алидаду по лимбу, и когда въ трубѣ появится желтое изображеніе отъ лучей двояко-отраженныхъ, идущихъ отъ самого солнца, то алидаду надо двигать медленно, сводя изображенія ближе одно къ другому, и когда они окажутся другъ отъ друга на разстояніи не болѣе $^1/_2$ дюйма, надо закрѣпить зажимательный винтъ алидады и дѣйствовать микрометреннымъ винтомъ,

пока, напр., желтое изображеніе своимъ нижнимъ краемъ не коснется верхняго края краснаго солнца, или пока желтое изображеніе своимъ верхнимъ краемъ не коснется нижняго края краснаго солнца. Отсчетъ, прочтенный по лимбу и ноніусу, въ первомъ случаѣ, равенъ углу между лучами, идущими отъ верхняго края солнца и изображенія его въ искусственномъ горизонтѣ, а во 2-мъ случаѣ, равенъ углу между лучами, идущими отъ нижнихъ краевъ солнца, потому что въ искусственномъ горизонтѣ изображенія получаются обратныя. На чертежѣ 343-мъ, линія AB изображаетъ слѣдъ плоскости искусственнаго горизонта, и какъ видно, нижній край солнца въ искусственномъ горизонтѣ будетъ наверху, а верхній край внизу; труба же вновь дастъ обратное изображеніе и дѣйствительнаго солнца, и его изображенія въ искусственномъ горизонтѣ. Половина измѣреннаго угла равна высотѣ нижняго или верхняго края солнца.



Черт. 343.

270. Двузеркальный эккеръ. Теорія двузеркальнаго эккера основана на томъ же началѣ, на какомъ устроенъ секстантъ и кругъ Пистора, т. е. на томъ, что уголъ, составленный лучами, идущими отъ двухъ предметовъ къ глазу наблюдателя, равенъ двойному углу, составляемому зеркалами, когда лучъ прямо-видимый, идущій отъ одного изъ предметовъ, и двояко-отраженный двумя зеркалами, идущій отъ другого предмета, совпадаютъ между собою. Поэтому, если уголъ между зеркалами равенъ 45°, то уголъ между предметами долженъ быть равенъ 90°.

Такъ, если глазъ наблюдателя находится въ D (черт. 344) и видитъ непосредственно предметъ P_1 поверхъ зеркала S_2, а лучъ, идущій отъ P_2 къ D, отразившись два раза отъ зеркалъ S_1 и S_2, пойдетъ по тому же направленію, какъ и лучъ, идущій отъ P_1, то въ точкѣ D образуется уголъ равный 2α, гдѣ α—уголъ, составленный зеркалами. Дѣйствительно, изъ треугольниковъ AS_1S_2 и DS_2S_1 можемъ написать:

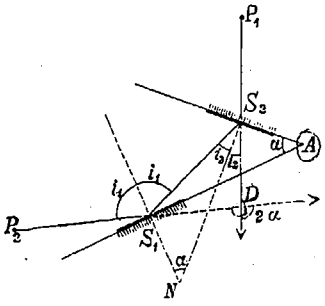
$$\alpha + (90 + i_2) + (90 - i_1) = 180$$

и $$D + 2i_2 + 2(90 - i_1) = 180.$$

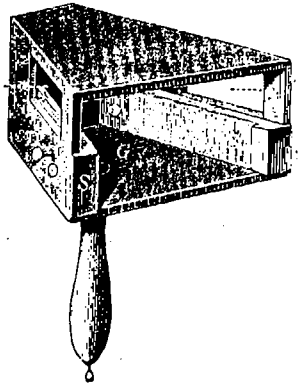
или: $$\alpha = i_1 - i_2 \text{ и } D = 2(i_1 - i_2),$$

откуда $D = 2\alpha$. А потому, если $\alpha = 45°$, то $D = 90°$.

Устраивается двузеркальный эккеръ такъ, какъ показано на чертежѣ 345-омъ. Къ металлической оправѣ, имѣющей видъ треугольной призмы, придѣлывается ручка съ крючкомъ, на который можно вѣшать отвѣсъ. Одна изъ граней оправы, перпендикулярныхъ къ



Черт. 344.



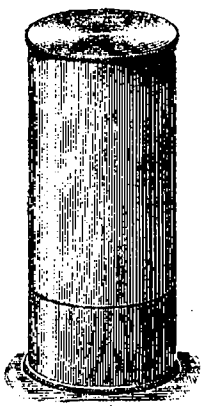
Черт. 345.

грани D, открыта на всемъ своемъ пространствѣ, двѣ другія грани имѣютъ въ верхнихъ своихъ частяхъ четыреугольныя отверстія, а къ нижнимъ частямъ, внутри оправы, прикрѣплены два зеркала, плоскости которыхъ составляютъ двугранный уголъ въ 45°. Чтобы углу, составляемому зеркалами, дать, въ точности, величину равную 45°, между оправой и однимъ изъ зеркалъ помѣщается пружина шириною немного меньше, чѣмъ ширина зеркала; особымъ повѣрительнымъ винтомъ, входящимъ въ оправу, можно надавливать немного на пружину и тѣмъ давать надлежащее положеніе плоскости зеркала.

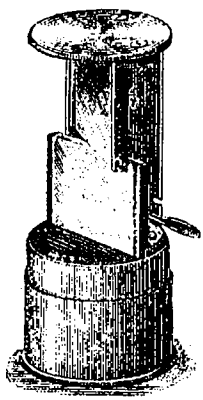
Къ числу двузеркальныхъ эккеровъ должно отнести *курвиграфъ* Жургейля, изображенный на чертежахъ 346-мъ и 347-мъ. Онъ имѣетъ высоту 85, а діаметръ 35 миллиметровъ, поэтому очень портативенъ. Инструментъ этотъ состоитъ, главнымъ образомъ, изъ двухъ зеркалъ, одного неподвижнаго и другого, могущаго быть вращаемымъ при помощи особаго рычажка, виднаго на чертежѣ 347-мъ. Инстру-

ментъ этотъ не устанавливаютъ на треножникѣ, а держатъ въ рукѣ, какъ и прочіе отражательные инструменты. Употребляется онъ для разбивки и провѣрки кривыхъ, о чемъ будетъ сказано въ главѣ о разбивкѣ кривыхъ линій.

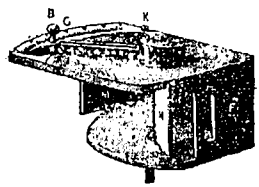
Для той же цѣли можетъ служить инструментъ, называемый *дезенсекстантомъ*, состоящій (черт. 348) тоже изъ двухъ зеркалъ, одного неподвижнаго и другого, могущаго вращаться при помощи особаго рычага, который служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ алидадой для маленькаго лимба, укрѣпленнаго въ верхней части инструмента.



Черт. 346.



Черт. 347.



Черт. 348.

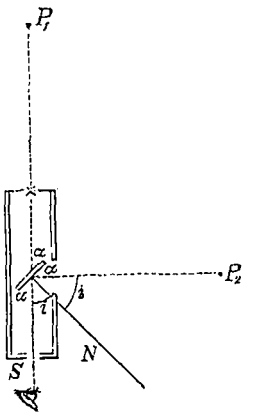
271. Употребленіе двузеркальнаго эккера. Употребляется двузеркальный эккеръ для разбивки на землѣ перпендикулярныхъ другъ къ другу линій. Если требуется къ данной линіи возстановить перпендикуляръ, то съ этою цѣлью устанавливаются съ вывѣреннымъ эккеромъ въ какой угодно или въ данной точкѣ на направленіи данной линіи, посылаютъ рабочаго поставить вѣху по направленію приблизительно перпендикулярному къ данной линіи, а когда онъ отойдетъ на 20 или 30 саж. и поставитъ вѣху, то берутъ эккеръ за ручку такъ, чтобы она была отвѣсна, обращаютъ широкимъ отверстіемъ эккера въ сторону поставленной вѣхи, а чрезъ прорѣзы, имѣющіеся надъ зеркалами, визируютъ по направленію данной линіи и точно устанавливаются по ней; даютъ соотвѣтственные сигналы рабочему, чтобы онъ переставлялъ вѣху до тѣхъ поръ, пока изображеніе ея въ зеркалѣ, видное наблюдателю, не окажется по направленію сигналовъ, означающихъ данную линію. Тогда линія, идущая отъ

вѣхи къ точкѣ земли, на которую указываетъ отвѣсъ, будетъ перпендикулярна къ данной линіи.

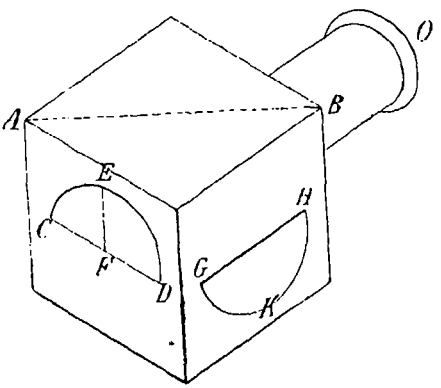
Если надо изъ данной точки опустить перпендикуляръ на данную линію, то, поставивъ вѣху въ данной точкѣ, наблюдатель устанавливается съ двузеркальнымъ эккеромъ по направленію данной линіи, въ точкѣ близкой къ искомой подошвѣ перпендикуляра, и, обративъ широкое отверстіе эккера къ вѣхѣ, стоящей въ данной точкѣ, смотритъ въ узкіе прорѣзы, передвигается по данной линіи до тѣхъ поръ, пока не увидитъ въ зеркалѣ вѣху, поставленную имъ въ данной точкѣ, и, наконецъ, устанавливается, въ точности, такъ, чтобы эта вѣха видна была въ зеркалѣ по тому же направленію, по какому стоятъ сигналы на данной линіи. Точка, въ которую падаетъ отвѣсъ двузеркальнаго эккера, будетъ искомымъ основаніемъ перпендикуляра.

272. Повѣрка двузеркальнаго эккера. Повѣрка двузеркальнаго эккера производится такъ же, какъ и обыкновенныхъ эккеровъ (§ 44), т. е. надо назначить, при помощи двузеркальнаго эккера, двѣ другъ къ другу перпендикулярныхъ линіи, какъ объяснено въ § 271-мъ, поставить вѣшки по направленію линій, уже назначенныхъ, такъ, чтобы образовались четыре угла, и затѣмъ визировать въ узкіе прорѣзы эккера, поочередно на каждую изъ четырехъ линій; при этомъ, по направленію линій визированія, каждый разъ въ зеркалѣ должна находиться вѣха, установленная на линіи, перпендикулярной къ линіи визированія, а если эта вѣха покажется не по направленію визированія, то это укажетъ, что зеркала поставлены невѣрно, т. е. что уголъ между ними неравенъ строго 45°. Чтобы сдѣлать исправленіе, посылаютъ поставить новую вѣху около той, которая въ зеркалѣ находится не по направленію линіи визированія; установивъ эту вторую вѣху такъ, чтобы она была видна въ зеркалѣ по направленію линіи визированія, получаютъ линію, идущую отъ этой вѣхи къ точкѣ стоянія, также не перпендикулярную къ линіи визированія чрезъ малые прорѣзы эккера. Но очевидно, что положеніе среднее между двумя поставленными вѣхами дастъ направленіе для искомой перпендикулярной линіи. Установивъ по этому среднему направленію третью вѣху, повѣрительнымъ винтомъ измѣняютъ положеніе зеркала такъ, чтобы третья вѣха оказалась видною въ прорѣзы по линіи визированія. Тогда двузеркальный эккеръ будетъ исправленъ.

273. Однозеркальный эккеръ. Однозеркальные эккеры устраиваются или въ видѣ трубки (черт. 349), или въ видѣ куба съ трубкою (черт. 350). Въ первомъ случаѣ по направленію оси трубки имѣются два отверстія: круглое—глазное и продолговатое съ натянутымъ въ серединѣ его волоскомъ — предметное. Поперекъ трубки, подъ угломъ въ 45°, къ ея оси укрѣпляется въ нижней части полукруглое зеркало; противъ зеркала, въ оправѣ трубки сдѣлано широкое отверстіе. Если глазъ наблюдателя находится у точки S, то, смотря въ глазное отверстіе поверхъ зеркала, онъ увидитъ, что волосокъ,



Черт. 349.



Черт. 350.

натянутый въ широкомъ отверстіи, покроетъ предметъ P_1, а если вмѣстѣ съ тѣмъ онъ увидитъ въ зеркалѣ предметъ P_2 по направленію предмета P_1, то это будетъ означать, что лучъ, идущій отъ P_2, перпендикуляренъ къ оси трубки, такъ какъ, въ этомъ случаѣ, углы i и i паденія и отраженія луча, идущаго отъ P_1, равны 45°, а слѣд., лучъ падающій съ лучемъ отраженнымъ составляютъ 90°.

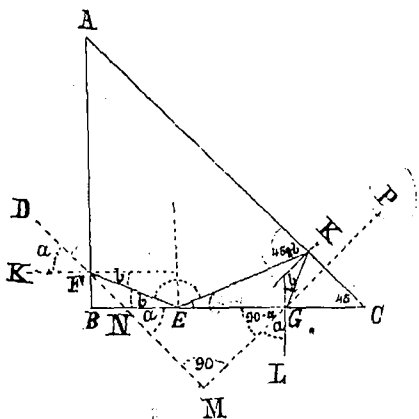
Если однозеркальный эккеръ состоитъ изъ куба съ трубкою, то онъ имѣетъ въ трубкѣ маленькое круглое глазное отверстіе, а въ противоположной грани куба—полукруглое отверстіе CED съ натянутымъ въ немъ волоскомъ EF; въ гранѣ сосѣдней съ этою имѣется также полукруглое отверстіе GHK, обращенное выпуклостью въ противоположную сторону выпуклости отверстія CED. По направленію AB діагональной плоскости куба къ грани его, параллельной плоскости AB, укрѣпляется зеркало, верхній край котораго вмѣстѣ съ линіями CD и GH составляетъ плоскость, параллельную грани

AB куба; слѣдовательно, зеркальная поверхность приходится противъ прорѣза GHK.

Болѣе точная установка зеркала подъ угломъ 45° къ визирной оси совершается особымъ повѣрительнымъ винтомъ, входящимъ въ оправу эккера.

Употребленіе однозеркальныхъ эккеровъ такое же, какъ двузеркальныхъ.

274. Призматическій эккеръ. Призматическій эккеръ состоитъ изъ стеклянной равно-бедренной призмы, обдѣланной въ металлическую оправу, покрывающую треугольныя основанія призмы, и ребра ея перпендикулярны къ этимъ основаніямъ; къ металлической оправѣ придѣлывается ручка, за которую держатъ эккеръ во время разбивки перпендикулярныхъ линій. Теорія такого эккера заключается въ слѣдующемъ: если лучъ, идущій отъ предмета D (черт. 351), падаетъ на катетъ призмы вблизи прямого угла B подъ угломъ a, а преломившись, пойдетъ по FE, подъ нѣкоторымъ угломъ b, то уголъ паденія его у точки E на плоскость BC равенъ $90° - b$; подъ этимъ угломъ лучъ отразится у точки E и упадетъ на грань AC у точки K, величину угла паденія у точки K опредѣлимъ изъ треугольника ECK; уголъ EKA какъ внѣшній уголъ, равенъ $45° + b$, слѣд. уголъ паденія и отраженія у точки K будетъ равенъ $45° - b$.



Черт. 351.

Отразившись отъ грани AC, лучъ упадетъ опять на грань BC у точки G, и величина угла паденія у этой точки опредѣлится изъ треугольника KEG; назвавъ уголъ паденія у точки G буквою y, можемъ написать:

$$(y + 90°) + b + 2(45° - b) = 180°,$$

откуда

$$y = b,$$

т. е. уголъ паденія у точки G равенъ углу b, а потому лучъ KG, преломившись у точки G, выйдетъ изъ призмы по направленію GM подъ угломъ, равнымъ углу паденія на грань AB, т. е. подъ угломъ a.

Въ треугольникѣ GMN уголъ при M равенъ a, при G, — $90°-a$, слѣд. уголъ у M равенъ $90°$. Такимъ образомъ, *лучъ MP, прямовидимый поверхъ призмы отъ предмета P, составляетъ съ лучемъ, идущимъ отъ другого предмета D, уголъ равный $90°$, если лучъ, идущій отъ D, дважды преломленный и дважды отраженный въ призмѣ, выйдетъ изъ нея по тому же направленію, какъ и лучъ прямо-видимый отъ предмета P*

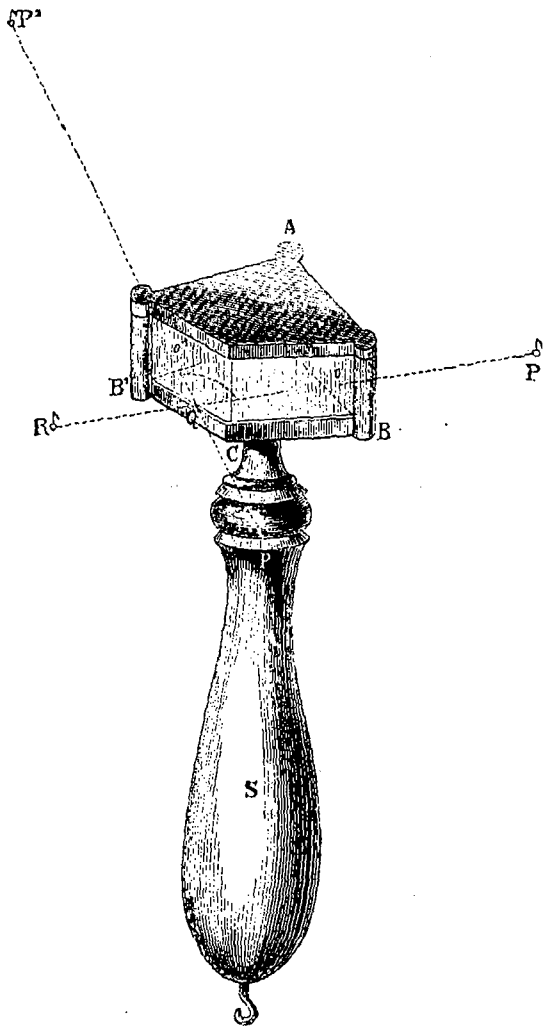
Для призматическаго эккера берутъ также четырехъ-гранную призму, одинъ уголъ которой равенъ прямому углу; четырехъ-угольныя грани, прилегающія къ прямому углу, равны между собою, точно также равны между собою и двѣ другія грани.

Перпендикуляры, опущенные изъ вершины прямого угла на эти послѣднія грани, составляютъ между собою уголъ въ $45°$. Для призмы четырехъ-гранной имѣетъ мѣсто тотъ же законъ, что и для равнобедренной призмы, т. е. лучи, идущіе отъ двухъ предметовъ къ глазу наблюдателя составляютъ между собою $90°$, если прямо-видимый лучъ отъ одного предмета поверхъ призмы и двояко-отраженный, двояко-преломленный призмою, идущій отъ другого предмета видны по одному и тому же направленію.

Описанныя четырехъ-гранныя призмы, образующія собою эккеры, обдѣлываются также въ металлическую оправу (черт. 352) ABB', къ которой придѣлывается ручка S съ крючкомъ для отвѣса. Такимъ эккеромъ на линіи PR легко найти точку O, въ которой линія PP' перпендикулярна къ линіи PR.

275. Употребленіе призматическаго эккера. Чтобы возставить перпендикуляръ къ данной линіи при помощи однопризменнаго эккера, становятся на данной линіи, посылаютъ рабочаго поставить вѣху по направленію близкому къ перпендикуляру, держатъ эккеръ за ручку, направленную отвѣсно, и поворачиваютъ его такъ, чтобы лучи, идущіе отъ сигналовъ, означающихъ данную линію, падали на одну изъ плоскостей призмы, составляющихъ прямой уголъ; когда въ другой сторонѣ, составляющей прямой уголъ, появятся изображенія этихъ сигналовъ, сливающіяся другъ съ другомъ, то, смотря поверхъ призмы, даютъ знаки рабочему, чтобы онъ переставлялъ вѣху въ ту или другую сторону до тѣхъ поръ, пока вѣхи рабочаго и сигналы, видимые въ призму, не будутъ находиться въ одной отвѣсной плоскости, тогда линія, идущая отъ поставленной вѣхи къ точкѣ, указываемой отвѣсомъ эккера, дастъ направленіе перпендикулярное къ данной линіи.

276. Двупризменный эккеръ, или призматическій крестъ, и его употребленіе. Двупризменный эккеръ состоитъ изъ двухъ равнобедренныхъ призмъ ABC и $A'B'C'$ (черт. 353), положенныхъ одна на другую и обдѣланныхъ оправою $EDGF$, закрывающею треугольныя основанія призмъ, а также гипотенузныя плоскости ихъ. Со стороны же катетовъ BC и $B'C'$ въ оправѣ сдѣланъ вырѣзъ по всей высотѣ обѣихъ призмъ; со стороны катета $A'C'$ сдѣланъ вырѣзъ EF вверху оправы, а со стороны AC—вырѣзъ GD внизу оправы.

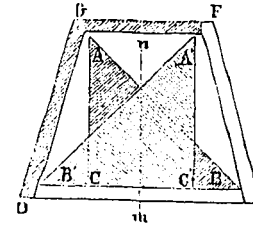


Черт. 352.

Такимъ образомъ, въ призматическомъ крестѣ соединены два призматическихъ эккера, а потому, при помощи каждой изъ призмъ, можно возстановлять перпендикуляры къ данной линіи. Вмѣстѣ съ тѣмъ, помощью такого эккера, можно еще находить точки, принадлежащія одной и той же линіи, когда на концахъ ея поставлены какіе-либо сигналы, напр., вѣшки. Когда лучи, идущіе отъ обѣихъ вѣшекъ, упавъ на катеты призмъ по направленіямъ перпендикулярнымъ къ этимъ катетамъ, отразятся отъ гипотенузъ обѣихъ призмъ по линіи nm (черт. 353), то глазъ наблюдателя, находящійся въ m, увидитъ чрезъ

одну призму одну вѣху, а чрезъ другую призму другую вѣху. Перемѣщаясь понемногу, онъ, наконецъ, увидитъ обѣ вѣхи по одному направленію, слѣдовательно въ это время точка *n* будетъ находиться въ отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ данную линію, и если эта точка *n* будетъ спроектирована на земную поверхность при помощи отвѣса, прикрѣпленнаго къ ручкѣ эккера, то найдется точка, принадлежащая данной линіи на землѣ.

На этомъ основаніи, когда желаютъ найти на линіи точку между двумя сигналами, то становятся, по возможности, вблизи данной линіи, держа двупризменный эккеръ за ручку въ отвѣсномъ ея положеніи, передвигаются понемногу впередъ и назадъ по перпендикуляру къ данной линіи до тѣхъ поръ, пока не увидятъ въ каждую изъ призмъ по сигналу, стоящему на концахъ линіи. Когда же, наконецъ, оба сигнала покажутся у точки *m* составляющими продолженіе другъ друга, тогда точка, на которую укажетъ отвѣсъ, будетъ искомою точкою. При этомъ лучше всего имѣть для этой цѣли двѣ вѣхи, окрашенныя въ красную и бѣлую краски. Идея устройства однопризменныхъ и двупризменныхъ эккеровъ принадлежитъ Баурнфейндту.



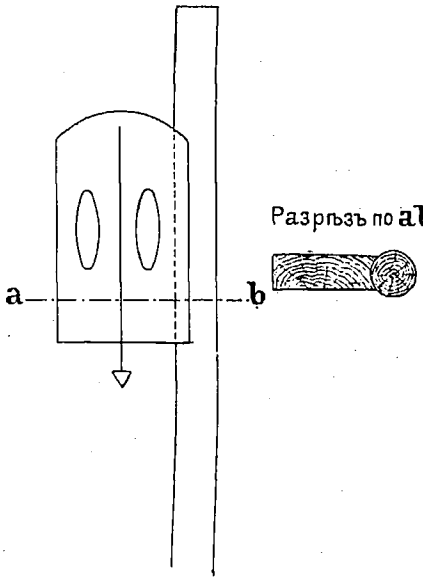
Черт. 353.

277. Повѣрка однопризменнаго и двупризменнаго эккеровъ. Отъ однопризменнаго эккера надо требовать, чтобы призма была отшлифована вѣрно, т. е. чтобы прямой уголъ дѣйствительно былъ равенъ 90°, а острые углы равны 45°. Отъ двупризменнаго эккера, кромѣ того, надо еще требовать, чтобы оси обѣихъ призмъ были параллельны другъ другу, и стороны одной призмы, составляющія между собою прямой уголъ, были параллельны соотвѣтственнымъ сторонамъ другой призмы.

1) *Призмы должны быть отшлифованы вѣрно.* Для повѣрки этого условія возстановляютъ къ данной линіи перпендикуляръ, какъ сказано въ § 275, затѣмъ къ возстановленному перпендикуляру возстановляютъ точно такъ же перпендикуляръ въ ту сторону, гдѣ расположены сигналы данной линіи; если вѣха, поставленная для этого второго перпендикуляра, окажется покрывающею вѣхи, стоящія на данной линіи, то это значитъ, что призма отшлифована вѣрно. Если

имѣютъ двупризменный эккеръ, то повѣряютъ такимъ же образомъ сначала одну, а затѣмъ другую призму. Если повѣрка приведетъ къ заключенію, что призма или обѣ призмы отшлифованы неправильно, то такого эккера не слѣдуетъ пріобрѣтать.

2) *Оси обѣихъ призмъ двупризменнаго эккера должны быть параллельны другъ другу.* Для повѣрки этого условія надо установить двѣ вѣшки совершенно отвѣсно. При этомъ можно употребить ватерпасъ, описанный въ § 66-мъ и изображенный на чертежѣ 354-мъ. Затѣмъ надо найти точку, принадлежащую линіи, проходящей чрезъ данныя отвѣсныя вѣхи (§ 276). Если, при разсматриваніи этихъ двухъ вѣхъ чрезъ призму, окажется, что изображенія ихъ идутъ также по прямой, а не по ломанной, то вывѣряемое условіе удовлетворено; въ противномъ случаѣ, надо произвести исправленіе помощью особыхъ винтиковъ, имѣющихся при оправѣ эккера.



Черт. 354.

3) *Въ двупризменномъ эккерѣ стороны одной призмы, составляющія ея прямой уголъ, должны быть параллельны соотвѣтственнымъ сторонамъ другой призмы.* Для вывѣрки этого условія провѣшиваютъ какую-либо линію тремя вѣхами, устанавливаемыми по ватерпасу; среднюю вѣху снимаютъ и на ея мѣстѣ забиваютъ колышекъ, становятся съ двупризменнымъ эккеромъ такъ, чтобы его отвѣсъ проектировался подъ забитымъ колышкомъ; смотрятъ—совпадаютъ ли въ одну линію изображенія крайнихъ вѣхъ, поворачиваются съ эккеромъ на 180°, т. е. лицомъ въ обратную сторону, и, держа эккеръ попрежнему надъ точкой, означенной колышкомъ, опять смотрятъ, совпадаютъ ли изображенія двухъ вѣхъ въ одну линію. Если оба раза это совпаденіе имѣло мѣсто, то стороны одной призмы, составляющія ея прямой уголъ, параллельны соотвѣтственнымъ сторонамъ другой призмы;

если этого не окажется, то, при помощи повѣрительныхъ винтиковъ, поворачиваютъ немного одну изъ призмъ около ея вертикальной оси такъ, чтобы придать сторонамъ ея положеніе параллельное соотвѣтственнымъ сторонамъ другой призмы.

Въ обыкновенныхъ эккерахъ, съ которыми мы познакомились въ главѣ XI, точность визированія зависитъ, какъ знаемъ, отъ толщины волоска предметнаго діоптра и отъ ширины прорѣза глазного; именно, чѣмъ эти величины меньше, тѣмъ визированіе точнѣе, точно также визированіе тѣмъ точнѣе, чѣмъ больше разстояніе между діоптрами. Всѣ эти обстоятельства въ призматическихъ эккерахъ не играютъ никакой роли, поэтому призматическіе эккеры болѣе совершенные инструменты, чѣмъ обыкновенные эккеры, лишь бы условія, коимъ они должны удовлетворять, были выполнены

Глава XXVI.

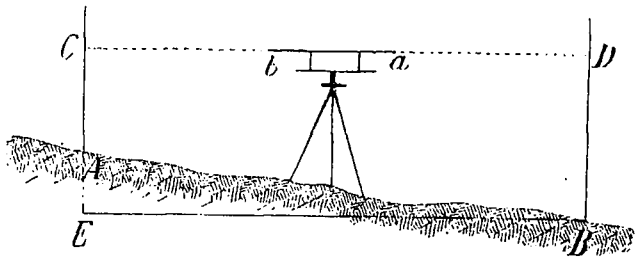
ОБЩІЯ НАЧАЛА, НА КОТОРЫХЪ ОСНОВАНО ПРОИЗВОДСТВО ГЕОМЕТРИЧЕСКАГО НИВЕЛЛИРОВАНІЯ.

278. О геометрическомъ нивеллированіи изъ середины. Въ главѣ XVIII о топографическомъ нивеллированіи мы видѣли, что способъ этотъ даетъ разность высотъ точекъ съ ошибками, зависящими отъ ошибокъ инструментальныхъ, отъ ошибокъ наблюденія и, наконецъ, отъ ошибокъ вслѣдствіе сферичности земли и рефракціи.

Поэтому, чтобы получить вѣрную отмѣтку той или другой точки земли, надо вводить поправки за всѣ указанныя ошибки. Эти исправленія требуютъ все-таки значительнаго времени, и при исполненіи ихъ легко сдѣлать ошибку въ вычисленіи, поэтому топографическое нивеллированіе, большею частію производятъ въ тѣхъ случаяхъ, когда не требуется большой точности въ опредѣленіи разности высотъ точекъ, и въ этомъ случаѣ не дѣлаютъ также исправленій за указанныя выше ошибки.

Чтобы получить, по возможности, точнѣе разность высотъ двухъ точекъ и не вводя въ вычисленіе указанныхъ поправокъ, употребляютъ другой пріемъ нивеллированія, называемый *геометрическимъ нивеллированіемъ*.

Пріемъ этотъ заключается въ слѣдующемъ: въ двухъ точкахъ, разность высотъ которыхъ желаютъ опредѣлить, вбиваютъ колышки, на нихъ ставятъ отвѣсно рейки, а между рейками — геодезическій инструментъ, имѣющій горизонтальную визирную ось. Установивъ инструментъ надлежащимъ образомъ, руководствуясь при этомъ правилами, изложенными въ §§ 97 и 137-мъ, приводятъ ab, визирную ось инструмента, строго въ горизонтальное положеніе, затѣмъ визируютъ на одну и на другую рейку, читаютъ показанія на гори-



Черт. 355.

зонтальномъ волоскѣ на обѣихъ рейкахъ. Положимъ, на одной рейкѣ (черт. 355) прочтутъ длину AC равную h_1, а на другой длину BD равную h_2.

Если провести горизонтальную линію BE, то AE будетъ представлять собою возвышеніе точки A надъ точкою B.

Такъ какъ рейки поставлены въ A и B отвѣсно, а линіи CD и EB, какъ горизонтальныя, параллельны между собою, то изъ чертежа 355-го имѣемъ:

$$EC = BD, \text{ или } AE + AC = BD,$$

откуда

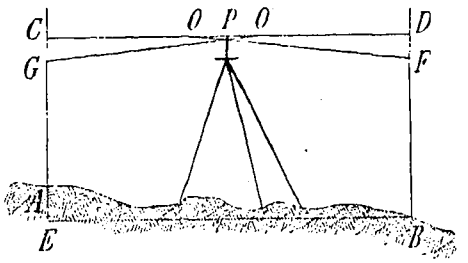
$$AE = BD - AC = h_2 - h_1,$$

т. е. *возвышеніе точки A надъ B, или разность высотъ (AE) этихъ точекъ, равна, въ точности, разности показаній, прочтенныхъ на рейкахъ по направленію визирной оси, если эта ось строго горизонтальна.*

Можно доказать, что разность показаній, прочтенныхъ на рейкахъ, выразитъ вѣрную разность высотъ данныхъ точекъ и въ томъ

случаѣ, если визирная ось не занимаетъ положенія горизонтальнаго, лишь бы только инструментъ находился отъ реекъ *строго* на равныхъ разстояніяхъ.

Дѣйствительно, если инструментъ установленъ на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ, и визирная линія, положимъ, не горизонтальна, то показанія на обѣихъ рейкахъ (черт. 356) могутъ быть таковы: $AG = h_3$ и $BF = h_4$. Если бы визирная ось была горизонтальна, т. е. занимала мѣсто OC и OD, то показанія на рейкахъ были бы $AC = h_1$ и $BD = h_2$. Слѣдовательно, h_3 и h_4 невѣрныя показанія, а h_1 и h_2 показанія вѣрныя. Если, какъ предполагали, $PC = PD$, и наклоненіе визирной оси одно и то же при визированіи на обѣ рейки, то треугольники GCO и OFD равны, откуда слѣдуетъ, что $CG = DF$. Слѣдовательно, величины CG и DF представляютъ собою ошибки въ чтеніяхъ по рейкамъ отъ негоризонтальности визирной оси.



Черт. 356.

Линіи CD и EB—линіи горизонтальныя, а EC и BD—вертикальныя, а такъ какъ параллельныя между параллельными равны, то точная величина разности высотъ точекъ A и B равна попрежнему:

$$EA = BD - AC = h_2 - h_1.$$

Замѣняя же BD и AC равными имъ величинами, найдемъ:

$$EA = BF + DF - (GA + GC) = BF - AG = h_4 - h_3.$$

Сравнивая написанныя два равенства, получимъ:

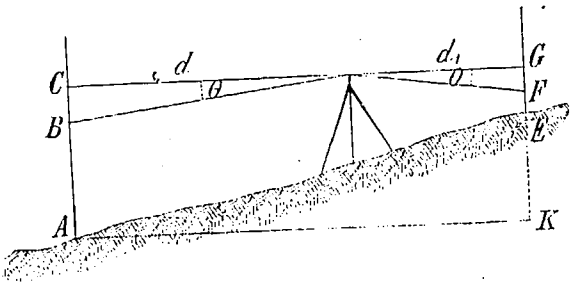
$$h_4 - h_3 = h_2 - h_1 = EA.$$

Эта послѣдняя формула показываетъ, что если инструментъ установленъ на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ, и если его визирная ось негоризонтальна, то, вычитая одно показаніе на рейкѣ, прочтенное на

горизонтальномъ волоскѣ, изъ другого, получаемъ, что разность двухъ невѣрныхъ показаній, прочтенныхъ по рейкамъ, равна разности двухъ вѣрныхъ показаній, и обѣ онѣ равны разности высотъ точекъ стоянія реекъ.

Кромѣ того, такъ какъ ошибки въ показаніяхъ на рейкахъ, зависящія отъ сферичности земли и рефракціи, при одинаковыхъ разстояніяхъ до реекъ, равны между собою, то, слѣдовательно, если инструментъ, въ точности, находится на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ, то, при вычитаніи одного показанія рейки изъ другого, вліяніе этихъ ошибокъ уничтожается.

Ошибки въ чтеніяхъ на рейкахъ, зависящія отъ недостатковъ глаза наблюдателя, при одинаковыхъ разстояніяхъ отъ реекъ, надо



Черт. 357.

считать также одинаковыми, поэтому и эти ошибки не вліяютъ на разность высотъ точекъ, если только инструментъ находится на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ.

Всѣ эти обстоятельства указываютъ, что для того, чтобы избѣжать ошибокъ въ опредѣленіи разности высотъ точекъ, нивеллиръ надо стараться ставить непремѣнно въ равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ.

Если этого не исполнять, то можно сдѣлать все-таки значительныя ошибки. Дѣйствительно, изъ чертежа 357 видно, что если линія CG горизонтальная, а визирная ось не вполнѣ горизонтальна и составляетъ съ горизонтомъ уголъ Θ, то, при визированіи на рейки, будутъ прочтены на нихъ невѣрныя показанія AB и EF, а не AC и EG, т. е. не тѣ, какія бы слѣдовало прочесть, если бы визирная ось была горизонтальна, и будутъ сдѣланы ошибки въ чтеніяхъ по рейкамъ равныя CB и GF, причемъ, если $d > d_1$, то и ошибка $CB > GF$.

Проведемъ изъ точки A горизонтальную линію AK, тогда разность высотъ точекъ EK выразится въ этомъ случаѣ такъ:

$$EK = AC - EG = AB + BC - [EF + FG] \text{ или}$$

$$EK = AB - EF + [BC - FG], \text{ или}$$

$$EK = AB - EF + [d\,tg\,\Theta - d_1\,tg\,\Theta], \text{ или}$$

$$x = h - h_1 + tang\,\Theta\,[d - d_1].$$

Такимъ образомъ, истинная разность высотъ (x) данныхъ точекъ равна разности прочтенныхъ показаній реекъ $h - h_1$, сложенной съ величиною $tg\,\Theta\,(d - d_1)$. Поэтому, если бы для разности высотъ точекъ взяли только разность показаній, прочтенныхъ на рейкахъ, то сдѣлали бы ошибку равную $tg\,\Theta\,(d - d_1)$. Ошибка эта тѣмъ меньше, чѣмъ меньше разность $d - d_1$ и чѣмъ меньше величина Θ. Кромѣ того, если инструментъ находится на неравныхъ разстояніяхъ отъ реекъ, то, кромѣ ошибки $tg\,\Theta\,(d - d_1)$, зависящей отъ неодинаковости разстояній и наклонности визирной оси, разность показаній, прочтенныхъ на рейкахъ, не будетъ выражать собою строго разности высотъ точекъ стоянія реекъ, еще и благодаря разности между ошибками на каждой изъ реекъ, зависящими отъ сферичности, рефракціи и особенностей глаза наблюдателя.

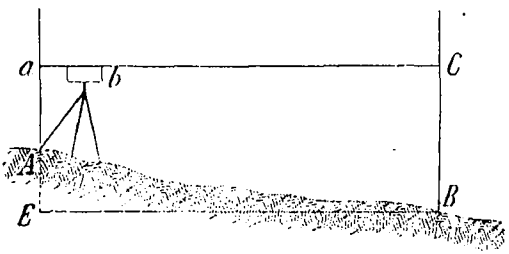
На практикѣ не всегда возможно ставить инструментъ на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ вслѣдствіе мѣстныхъ препятствій, а также и вслѣдствіе того, что точное измѣреніе разстояній отъ инструмента до реекъ требуетъ лишней работы. Чтобы избѣжать этихъ измѣреній для строгой установки инструмента на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ, визирную ось *инструмента надо устанавливать строго горизонтально*. Тогда хотя разстоянія до реекъ будутъ и неравныя, но показанія на нихъ окажутся вѣрными, и, слѣдовательно, разность высотъ точекъ, полученная изъ разности показаній реекъ, будетъ ошибочна лишь на разность ошибокъ отъ сферичности земли, рефракціи и особенностей глаза наблюдателя.

Но ошибки эти, какъ знаемъ, вообще, малы (§§ 210 и 211), и тѣмъ меньше, чѣмъ меньше разстояніе; въ данномъ случаѣ ошибка

въ разности высотъ зависитъ отъ разности $d - d_1$, которая можетъ быть равной нѣсколькимъ саженямъ.

Итакъ, все сказанное приводитъ къ такому заключенію: *для того, чтобы нивеллировать, или получать разность высотъ двухъ точекъ земной поверхности, при помощи вычисленій, заключающихся лишь въ вычитаніи одной величины изъ другой, и, по возможности, точнье, надо имѣть инструментъ, визирная ось котораго могла бы быть приведена точно въ горизонтальное положеніе, тогда разность показаній реекъ, прочтенныхъ на визирной оси, будетъ вѣрною разностью высотъ данныхъ точекъ. А чтобы не вводить въ вычисленіе никакихъ поправокъ, какъ зависящихъ отъ самаго инструмента, такъ и независящихъ отъ него, инструментъ надо ставить на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ.*

279. Нивеллированіе впередъ. Способъ нивеллировки, при которомъ инструментъ устанавливается на равныхъ разстояніяхъ отъ нивеллируемыхъ точекъ, называется, какъ сказано выше, *нивеллировкою изъ середины*.



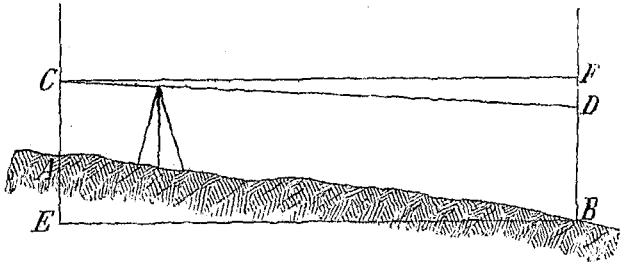
Черт. 358.

Но можно нивеллировать и иначе: устанавливаютъ нивеллиръ такъ, чтобы одинъ конецъ визирной оси проектировался въ одну изъ нивеллируемыхъ точекъ, напр., A, (черт. 358), приведя визирную линію въ горизонтальное положеніе, визируютъ на рейку, стоящую въ B, получаютъ отсчетъ BC, затѣмъ измѣряютъ разстояніе точки a до A по рейкѣ, т. е. получаютъ высоту визирной оси надъ точкою A, тогда, очевидно, разность уровней точекъ A и B равна $AE = BC - Aa$.

Этотъ способъ называется *нивеллировкою впередъ*. Очевидно, при нивеллированіи впередъ, ошибки отъ сферичности земли и рефракціи не уничтожаются. Точно также не могутъ уничтожиться вліянія инструментальныхъ ошибокъ. Дѣйствительно, если бы, по какимъ-нибудь причинамъ, нивеллируя впередъ, визировали бы не вполнѣ точно по горизонтальному направленію, напр., по CD (черт. 359), тогда какъ линіи CF и EB горизонтальныя, то на рейкѣ прочли бы

показаніе $B\mathfrak{B}$, а не BD, какъ бы слѣдовало; поэтому, вычитая изъ показанія рейки $B\mathfrak{B}$ величину высоты центра окуляра AC, найдемъ возвышеніе точки A надъ B невѣрное на величину FD.

Способъ нивеллированія впередъ употребляютъ только въ крайнихъ случаяхъ, когда между нивеллируемыми точками стать нельзя,



Черт. 359.

или когда требуется опредѣлить разность высотъ только двухъ точекъ, не заботясь о точности.

Вообще же, слѣдуетъ употреблять способъ нивеллировки изъ середины, какъ дающій наиболѣе вѣрные результаты, въ особенности въ тѣхъ случаяхъ, когда нивеллировка производится на значительномъ протяженіи, чтобы избѣжать накопленія ошибокъ.

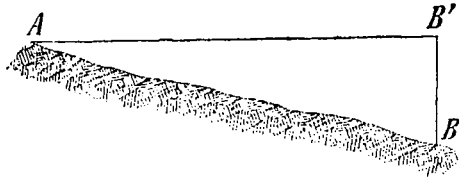
Глава XXVII.

ПРОСТѢЙШІЕ ИНСТРУМЕНТЫ, СЛУЖАЩІЕ ДЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКАГО НИВЕЛЛИРОВАНІЯ, — ВАТЕРПАСЫ.

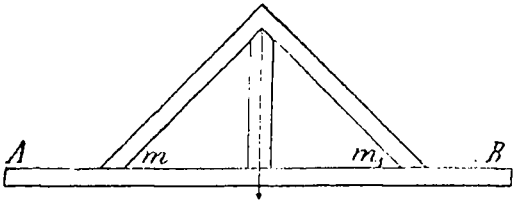
280. Плотничій ватерпасъ. Мы видѣли (§ 279), что для того, чтобы опредѣлить разность высотъ точекъ, необходимо имѣть два инструмента: одинъ, при помощи котораго можно было бы получать горизонтальную линію, и другой—рейку, по которой можно было бы измѣрить разстоянія отъ двухъ данныхъ точекъ до линіи горизонтальной.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда разстояніе между нивеллируемыми точками не болѣе, напр., 2-хъ саженъ, можно измѣрять по рейкѣ разстояніе только отъ одной изъ данныхъ точекъ до горизонтальной линіи (черт. 360) и въ этомъ случаѣ можетъ быть употребленъ простѣйшій нивеллирный инструментъ,—*плотничій ватерпасъ*. Онъ

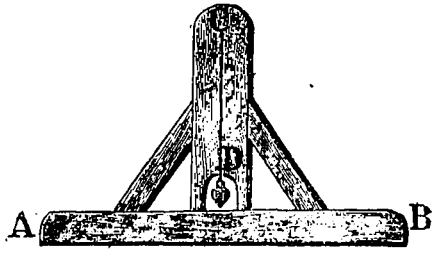
состоитъ (черт. 361) изъ деревяннаго бруска AB, длиною немного болѣе 2-хъ саж.; въ серединѣ этого бруска, по направленію перпендикулярному, къ нему придѣлываютъ меньшій брусокъ съ желобкомъ, подпертый двумя подкосами. Въ вершинѣ желобка прикрѣпляютъ отвѣсъ. Желобокъ проводится перпендикулярно къ нижней плоскости бруска AB. Такимъ образомъ, приподымая или опуская одинъ конецъ AB, можно достигнуть того, что нить отвѣса совершенно точно покроетъ желобокъ вертикальнаго бруска, и, слѣдовательно, направленіе желобка сдѣлается также отвѣснымъ, а потому направленіе нижняго края бруска AB, какъ перпендикулярное къ направленію желобка, займетъ въ это время *горизонтальное положеніе.*



Черт. 360.



Черт. 361.



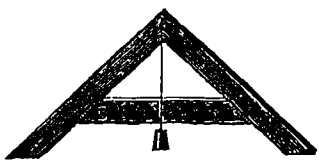
Черт. 362.

Ватерпасы устраиваютъ и иначе, напримѣръ, такъ, какъ показано на чертежахъ 362 и 363.

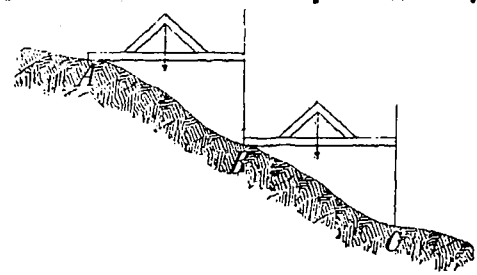
281. Употребленіе ватерпаса. Ватерпасъ употребляется слѣдующимъ образомъ: положивъ одинъ конецъ (черт. 364) горизонтальнаго бруска ватерпаса на верхнюю точку A, отмѣченную небольшимъ колышкомъ, вбитымъ вровень съ землею, поднимаютъ другой конецъ ватерпаса до тѣхъ поръ, пока нить отвѣса не покроетъ желобка, тогда у поднятаго конца ватерпаса ставятъ рейку, по возможности, отвѣсно. У подошвы рейки забиваютъ вровень съ землею другой колышекъ, затѣмъ ставятъ на него рейку и во второй разъ, съ возможной точностью, приводятъ отвѣсъ ватерпаса по направленію желобка, приподнимая или опуская горизонтальный конецъ ватерпаса, и дѣлаютъ отсчетъ у нижней грани его по рейкѣ.

Вмѣсто описаннаго ватерпаса, часто употребляютъ другую рейку MC (черт. 365), причемъ на нее накладываютъ уровень n, ось котораго должна быть параллельна его нижней сторонѣ.

Для большаго удобства на рейкѣ дѣлаютъ маленькую подвижную

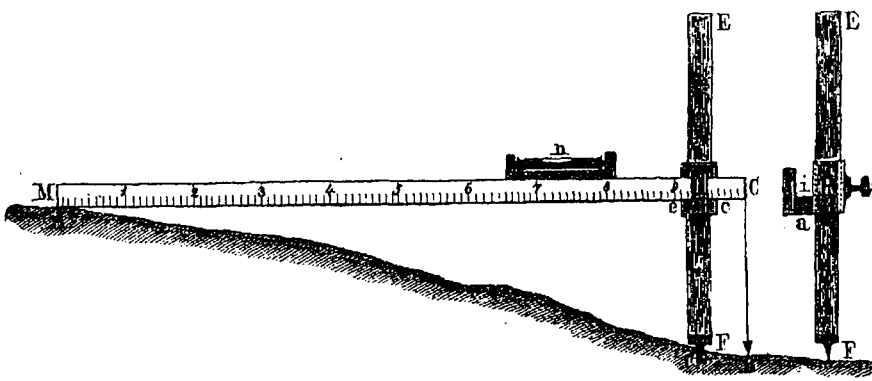


Черт. 363.



Черт. 364.

пе-образную рамку ha и въ образованной этой рамкою паз i вкладываютъ рейку съ уровнемъ, съ другой же стороны рамки, противъ поверхности пластинки, имѣется указатель для опредѣленія отсче-



Черт. 365.

товъ на рейкѣ. Рамка на рейкѣ закрѣпляется винтомъ s. Къ одному изъ концовъ рейки иногда привѣшиваютъ отвѣсъ, чтобы при его помощи устанавливать рейку EF въ отвѣсномъ положеніи.

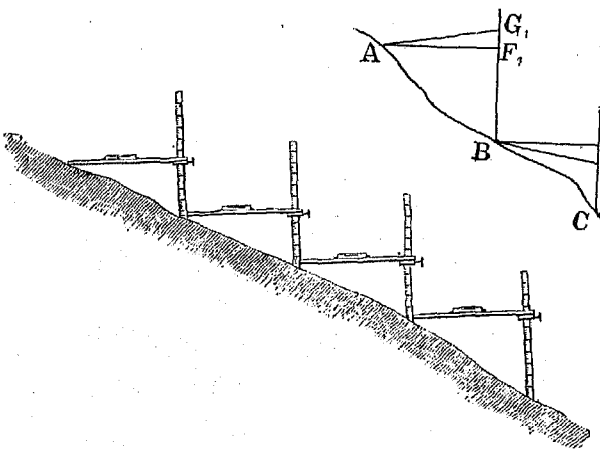
На чертежѣ 366-мъ показано производство нивеллированія этимъ инструментомъ, причемъ на томъ-же чертежѣ изображены четыре послѣдовательныхъ положенія ватерпаса.

Иногда на ватерпасахъ, въ основаніи треугольника, придѣлываютъ шкалу съ дѣленіями, соотвѣтствующими угламъ наклоненія нижняго края ватерпаса къ горизонту (черт. 367b). При наклонномъ положе-

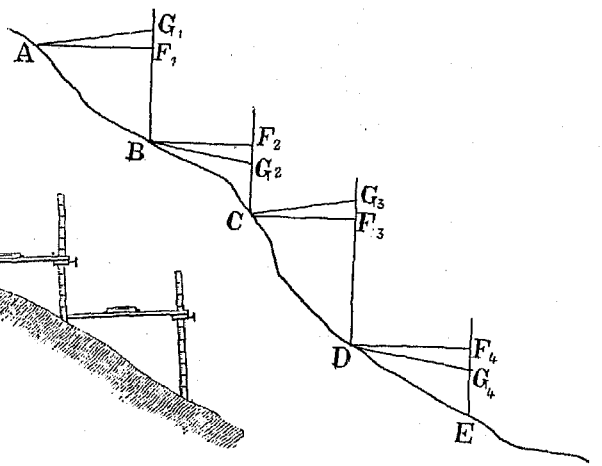
нiи нижней грани ватерпаса, дѣленіе, покрываемое нитью отвѣса, указываетъ на величину угла наклоненія къ горизонту.

Ватерпасъ съ удобствомъ употребляется въ тѣхъ случаяхъ, когда нивеллируемыя точки расположены по довольно крутымъ откосамъ.

282. Повѣрка ватерпаса. Для повѣрки ватерпаса, его ставятъ на два кола, вбитыхъ въ землю, отмѣчаютъ на брускѣ AB точку,

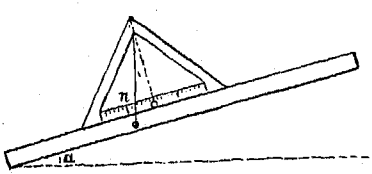


Черт. 366.



Черт. 367*a*.

покрываемую нитью отвѣса, перекладываютъ ватерпасъ на 180°, т. е. такъ, чтобы концы бруска AB перемѣнили свои мѣста, и опять отмѣчаютъ точку, въ которой нить отвѣса пересѣкаетъ брусокъ AB.



Черт. 367*b*.

Если обѣ черты находятся въ совершенно равныхъ разстояніяхъ отъ желобка, то это укажетъ, что направленіе желобка перпендикулярно къ нижней грани бруска AB, въ противномъ случаѣ, нижнюю грань бруска AB (черт. 361) надо подстругать или назначить новое направленіе желобка, но послѣднее гораздо труднѣе исполнить.

Впрочемъ, и невѣрнымъ ватерпасомъ можно нивеллировать вполнѣ точно, если, пронивеллировавъ между первой и второй точкой A и B (черт. 367*a*), положить ватерпасъ на вторую точку тѣмъ же его концомъ, какимъ онъ лежалъ на этой точкѣ, а у рейки, стоящей на третьей точкѣ C, положить тотъ конецъ ватерпаса, который былъ на первой точкѣ; тогда разность высотъ 1-ой и 3-ей точки получится

совершенно вѣрною, потому что на сколько нижняя грань ватерпаса была наклонена въ одну сторону, при нивеллированіи между первой и второй точкой, на столько же она наклонена, но въ другую сторону, при нивеллированіи между второй и третьей точкой, и, слѣдовательно, ошибки G_1F_1 и F_2G_2 уничтожатся. Но разность высотъ между первою и второю точкою, а также разность высотъ между второю и третьею точкою будетъ невѣрна на величину ошибки. Такимъ образомъ, вѣрныя разности при такомъ способѣ нивеллированія будутъ получаться черезъ точку, т. е. въ точкахъ A, C и E.

Глава XXVIII.

О НИВЕЛЛИРАХЪ.

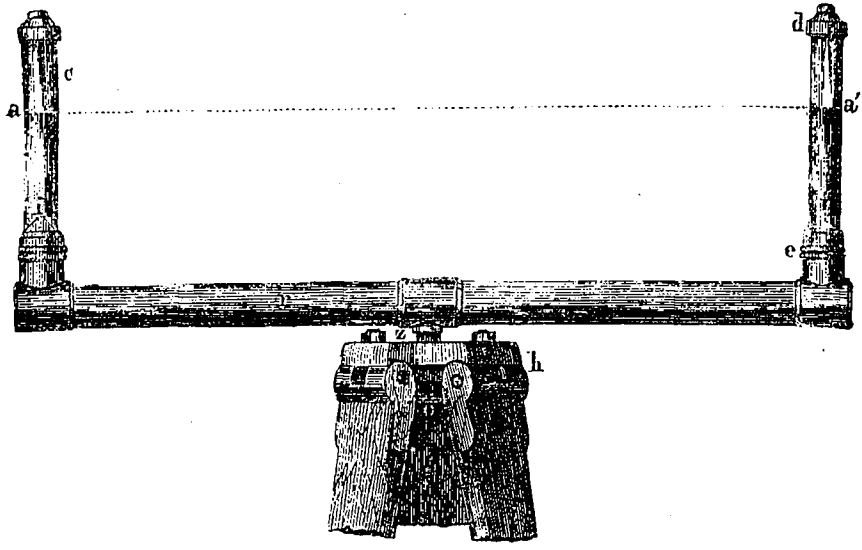
283. Общія понятія о нивеллирахъ. Для производства геометрическаго нивеллированія, или для опредѣленія разности высотъ точекъ, удаленныхъ другъ отъ друга на разстоянія большіе чѣмъ 2 сажени, употребляютъ *нивеллиры* различной конструкціи. Въ главѣ XXVI-ой мы видѣли, что для возможности точнаго геометрическаго нивеллированія необходимо, чтобы инструментъ, назначенный для этой цѣли, имѣлъ визирную ось строго горизонтальную, поэтому нивеллиры всегда устраиваются такъ, что *визирная линія, приведенная въ горизонтальное положеніе по двумъ взаимно-перпендикулярнымъ направленіямъ, остается горизонтальною при всѣхъ поворотахъ инструмента около вертикальной оси вращенія.*

284. Водяной уровень. Одинъ изъ самыхъ простыхъ нивеллировъ и вмѣстѣ съ тѣмъ теперь почти неупотребляемый, это—*водяной уровень*. Онъ состоитъ изъ жестяной трубки (черт. 368), длиною отъ 2-хъ до 4-хъ футовъ, а въ діаметрѣ около дюйма; въ открытые концы трубки, загнутые подъ прямымъ угломъ, вставляются стеклянные цилиндры, закрываемые пробками. Въ трубку наливается подкрашенная вода, верхнія поверхности которой a и a' принимаютъ положеніе одной горизонтальной плоскости. Къ горизонтальной трубѣ придѣлывается въ серединѣ втулка, насаживаемая на штативъ.

Въ водяномъ уровнѣ горизонтальною визирною линіей служитъ линія aa', поэтому визированіе водянымъ уровнемъ, очевидно, совершается съ значительною неточностью.

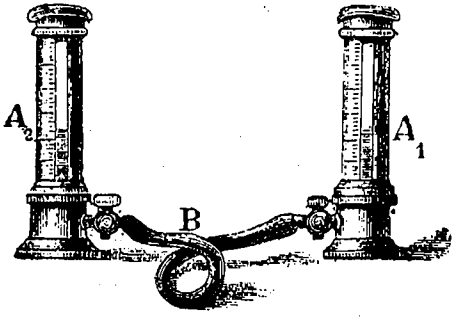
Иногда водяные уровни дѣлаются такъ, какъ изображено на чертежѣ 369-мъ; здѣсь стеклянныя трубки въ металлическихъ оправахъ A_1 и A_2 соединены каучуковой трубкою B. Стеклянныя трубки наполняются водою.

Если трубки A_1 и A_2 поставить въ двухъ точкахъ земной по-

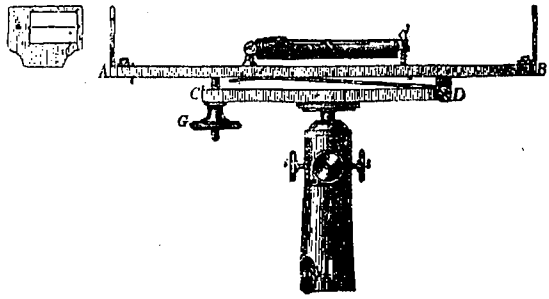


Черт. 368.

верхности, то вода окажется въ нихъ обѣихъ на одномъ уровнѣ, но показанія на шкалахъ трубокъ у горизонта воды будутъ разныя. Разность между этими показаніями, очевидно, равна разности высотъ точекъ, въ которыхъ поставлены трубки A_1 и A_2.



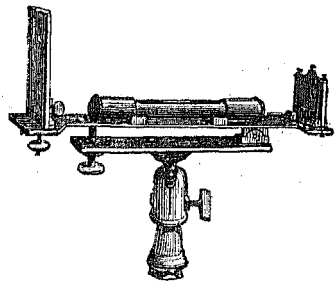
Черт. 369.



Черт. 370.

285. Нивеллиръ съ діоптрами. Нивеллиръ съ діоптрами (черт. 370) состоитъ изъ мѣдной линейки AB длиною отъ 1 до $1^1/_2$

фута, на серединѣ которой помѣщенъ уровень въ оправѣ, скрѣпленной съ нею; на концахъ линейки AB утверждены діоптры, каждый діоптръ имѣетъ по горизонтальному волоску и по маленькому круглому отверстію. Подъ линейкой AB находится 2-я линейка CD, скрѣпленная съ AB посредствомъ шарнира D и винта G. Нивеллиръ насаживается на штативъ и закрѣпляется на немъ зажимательнымъ винтомъ. Приводится пузырекъ на середину горизонтальными подъемными винтами. Ось уровня должна быть перпендикулярна къ оси вращенія. Исправленія въ этомъ отношеніи производятся винтомъ d. Визирная ось, т. е. линія, проходящая чрезъ круглое отверстіе одного діоптра и чрезъ горизонтальный волосокъ другого діоптра или чрезъ оба горизонтальные волоска, должна быть параллельна оси уровня. Если этого нѣтъ, то исправленіе производится винтомъ, находящимся подъ однимъ изъ діоптровъ.



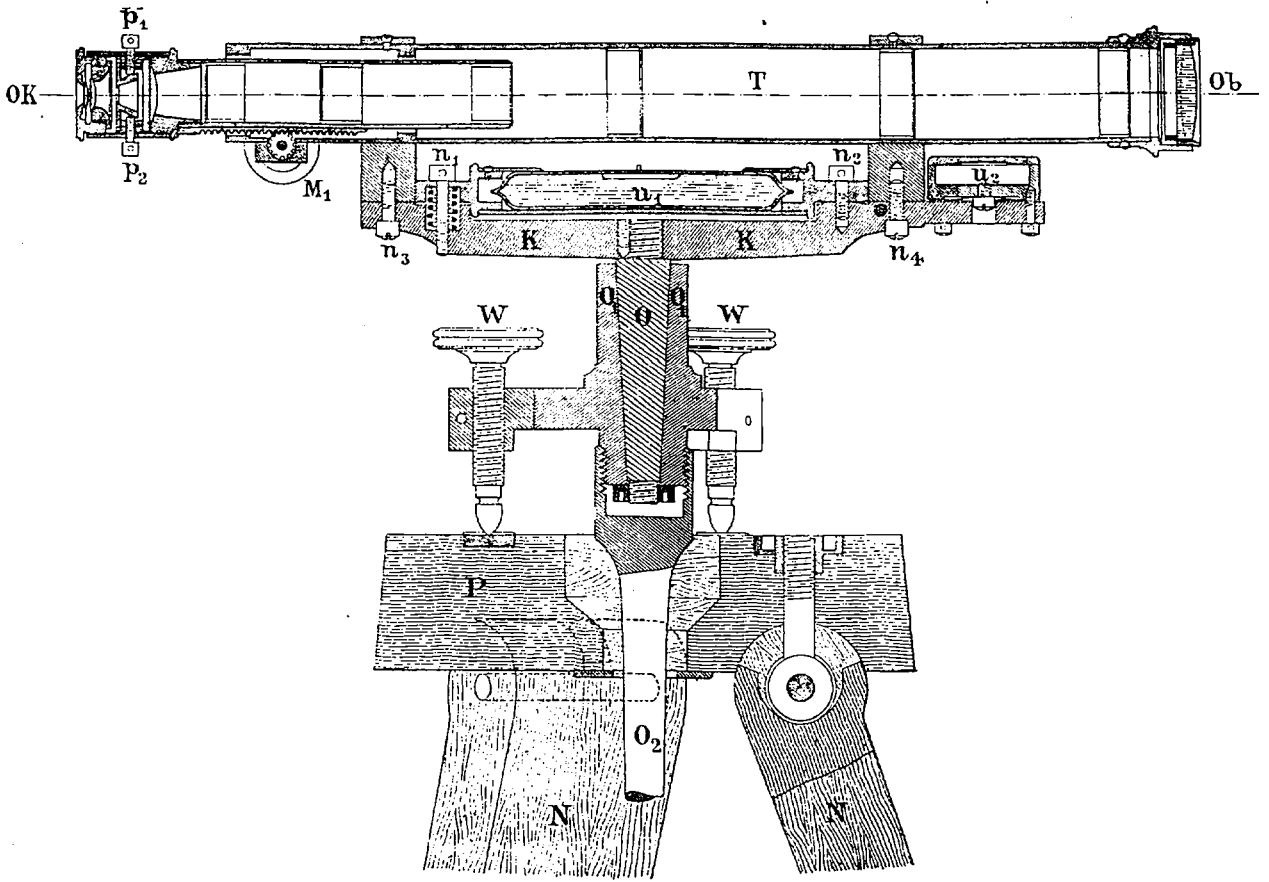
Черт. 371.

Устраиваютъ нивеллиры съ діоптрами безъ подъемныхъ винтовъ, но на баксѣ, какъ показано на чертежѣ 371-мъ.

286. Нивеллиры съ зрительными трубами. Наиболѣе употребительные нивеллиры снабжаются зрительными трубами; въ самыхъ совершенныхъ изъ нихъ, изготовляемыхъ на фабрикахъ Керна въ Арау, Каради въ Цюрихѣ, Брейтгаупта и Гильдебрандта въ Берлинѣ, Старке и Камереръ въ Вѣнѣ, въ мастерской военно-топографическаго отдѣла главнаго штаба въ Петербургѣ и другихъ, увеличеніе трубы доходитъ до 40, вслѣдствіе чего визированіе совершается болѣе точнымъ образомъ.

Главныя составныя части нивеллира, это—труба и уровень, затѣмъ имѣются: подъемные винты для приведенія оси уровня въ горизонтальное положеніе; повѣрительные винты, коими центръ сѣтки можетъ быть приподнятъ или опущенъ; повѣрительные винты уровня; повѣрительный винтъ, коимъ одинъ конецъ трубы можетъ быть поднятъ или опущенъ; пе-образный брусокъ, концы котораго служатъ обоймицами трубы; зажимательный и микрометренный винты; винтъ для выдвиганія сѣточнаго колѣна трубы.

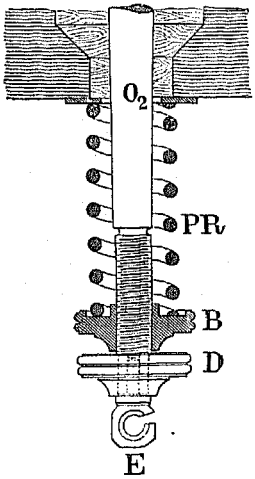
287. Описаніе нивеллира, называемаго глухимъ. Чертежъ 372-й изображаетъ разрѣзъ нивеллира, изготовленнаго фабрикой Гильдебрандта въ Берлинѣ; N и N—ножки треножника, P—столикъ треножника, дѣлаемые обыкновенно изъ дерева; W и W—подъемные винты, ввинчиваемые въ концы трехконечника, отвѣтвляющагося отъ втулки O_1; втулка O_1 имѣетъ коническое отверстіе, въ которое входитъ конусъ O; геометрическая ось этого конуса служитъ *вертикальною осью вращенія всего нивеллира*. На обоихъ концахъ конуса O имѣются винтовыя нарѣзки; на нижній тонкій конецъ конуса навинчивается особая гайка, благодаря которой ось O не можетъ быть вынута изъ втулки. Верхній конецъ конуса O ввинченъ въ горизонтальное *коромысло* K и закрѣпленъ въ немъ при помощи особой маленькой винтовой чеки, благодаря чему коромысло соединено съ конусомъ неразрывно и не можетъ быть развинчено при вращеніи нивеллира около его оси вращенія. Къ коромыслу K прикрѣплены двумя винтами n_3 и n_4 вертикальныя стойки, имѣющія въ верхнихъ своихъ частяхъ кольца, въ которыя входитъ труба T. Труба наглухо закрѣплена въ этихъ кольцахъ-обоймицахъ при помощи особыхъ винтиковъ, видныхъ сверху. Труба состоитъ изъ трехъ колѣнъ: объективнаго (ob), окулярнаго (ok) и сѣточнаго, передвигаемаго вмѣстѣ съ окуляромъ, при помощи винта M_1; объективъ трубы — апланатическій, окуляръ—Гюгенса, кольцо для сѣтки можетъ быть передвигаемо винтиками p_1 и p_2. Къ коромыслу K, между обоймицами, прикрѣпленъ уровень u_1, винтами n_1 и n_2, служащими, вмѣстѣ съ тѣмъ, повѣрительными винтами уровня u_1. Вокругъ винта n_1 вьется спиральная пружина, для уменьшенія мертваго хода винтовъ n_1 и n_2. Къ выступающему концу коромысла въ сторону объектива прикрѣпленъ круглый уровень u_2. Для скрѣпленія нивеллира съ треножникомъ служитъ становой винтъ O_2, проходящій чрезъ центральное отверстіе столика P. Становой винтъ имѣетъ въ верхней своей части гайку, навинчиваемую на конецъ втулки O_1, имѣющей винтовую нарѣзку. Становой винтъ изображенъ въ разрѣзѣ на чертежѣ 373-мъ, D — его шляпка, къ ней привинченъ крючекъ E, на который привѣшивается отвѣсъ въ тѣхъ случаяхъ, когда желаютъ нивеллиръ установить его осью вращенія надъ какою-либо точкою земной поверхности; выше этой *шляпки* становой винтъ имѣетъ нарѣзку, по которой можетъ ходить гайка B; между гайкой B и столикомъ P вокругъ винта



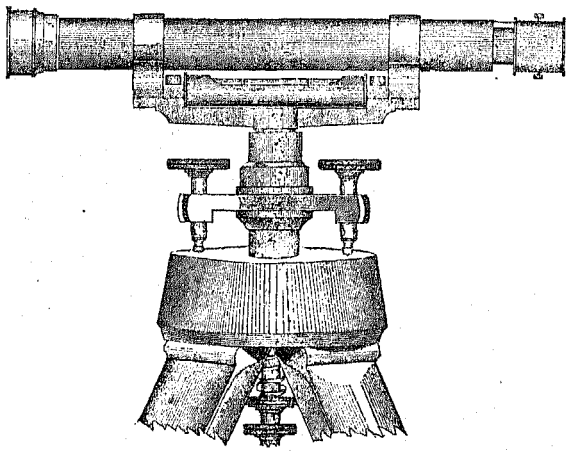
Черт. 372.

навита стальная спиральная пружина PR. Когда винтъ O_2 свинченъ со втулкой O_1, тогда начинаютъ навинчивать гайку B, вслѣдствіе чего пружина крѣпче надавливаетъ на столикъ P, а чтобы она не врѣзывалась въ дерево столика, къ нему, въ мѣстѣ прикосновенія пружины, придѣлано мѣдное кольцо. Для того, чтобы смазать конусъ O костянымъ масломъ и очистить отъ грязи, накопляющейся между осью O и втулкою O_1, нужно предварительно отвинтить гайку, навинченную на нижней части оси O.

Нивеллиръ долженъ быть устроенъ такъ, чтобы визирная ось его трубы, т. е. линія, проходящая чрезъ центръ сѣтки объектива, была



Черт. 373.



Черт. 374.

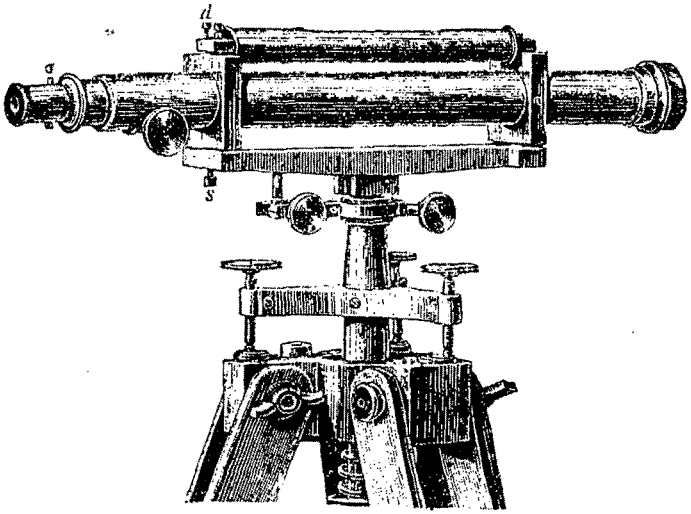
параллельна оси уровня. Если это условіе выполнено, то когда ось уровня приведена подъемными винтами въ горизонтальное положеніе, тогда визирная ось будетъ горизонтальна, а для того, чтобы визирная ось, кромѣ того, сохраняла горизонтальное положеніе, при всѣхъ поворотахъ нивеллира около оси вращенія, необходимо, чтобы ось уровня при всѣхъ этихъ поворотахъ также сохраняла свое положеніе, что возможно, если она перпендикулярна къ оси вращенія всего инструмента (§ 168).

Чертежъ 374-й изображаетъ внѣшній видъ нивеллира подобнаго же устройства, какъ и изображенный на чертежѣ 372-мъ.

Трубы такихъ нивеллировъ не могутъ быть вынимаемы изъ обой-

мицъ и не могутъ быть вращаемы въ нихъ, поэтому нивеллиры такихъ устройствъ называются *глухими*.

Глухіе нивеллиры устраиваютъ и такимъ образомъ, что уровень прикрѣпляютъ наглухо не къ коромыслу, а къ трубѣ, и притомъ поверхъ ея, какъ показано на чертежѣ 375-мъ. На этомъ чертежѣ, какъ и на предыдущемъ, не вездѣ поставлены буквы съ тою цѣлью, чтобы изучающій самъ нашолъ и назвалъ каждую изъ частей инструмента. Винтъ *d*—это повѣрительный винтъ уровня для приведенія оси его въ положеніе, параллельное къ визирной оси трубы, винтъ *s*—по-



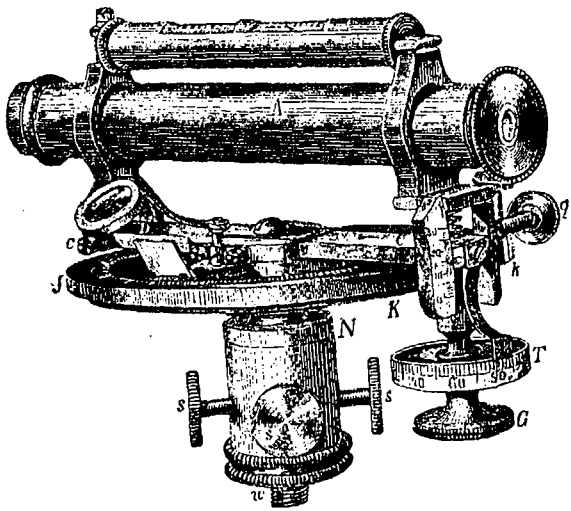
Черт. 375.

вѣрительный винтъ, служащій для приведенія оси уровня въ положеніе перпендикулярное къ вертикальной оси вращенія инструмента. Винты σ служатъ для передвиженія центра сѣтки.

Къ числу глухихъ нивеллировъ относится также нивеллиръ, изображенный на чертежѣ 376-мъ. Труба *A* задѣлана наглухо въ обоймицахъ, уровень также придѣланъ къ обоймицамъ наглухо, но имѣетъ повѣрительный винтъ, при помощи котораго ось его можетъ быть приведена въ положеніе, параллельное визирной оси. Коромысло *CD*, своимъ концомъ *D*, соединено съ лѣвою обоймицею при помощи шарнира *c*. Чрезъ другой конецъ коромысла проходитъ винтъ *G*, упирающійся въ пе-образный приливокъ *KK* обоймицы трубы. Между коромысломъ и верхнею перекладиной пе-образнаго приливка вокругъ

винта навита пружина. Благодаря такому устройству, когда винтъ G ввинчиваютъ или вывинчиваютъ, труба принимаетъ большее или меньшее наклонное положеніе.

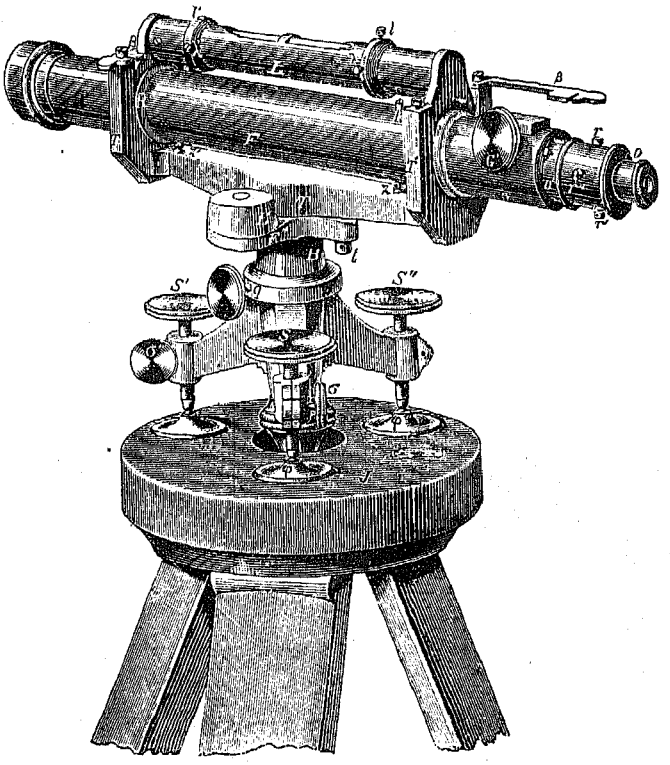
Для закрѣпленія трубы въ томъ или другомъ положеніи служитъ винтъ q. На одномъ отросткѣ пе-образнаго приливка K нанесена шкала съ дѣленіями равными миллиметру, и такихъ дѣленій сдѣлано 30. Къ коромыслу придѣланъ индексъ для этой шкалы. Съ винтомъ G соединенъ барабанъ T, раздѣленный на 100 частей; чрезъ каждыя 10 частей на немъ поставлены цифры. Индексъ для барабана соединенъ съ концомъ коромысла. Когда винтомъ G сдѣлаютъ одинъ полный оборотъ, тогда индексъ коромысла передвигается на вертикальной шкалѣ на одно дѣленіе, слѣдовательно, когда барабанъ T дѣлаетъ часть оборота, равную одному своему дѣленію, то индексъ коромысла поднимается или опускается на $^1/_{100}$ часть миллиметра. Такое устройство предложено Штампферомъ, и нивеллиры съ подобными винтами носятъ его имя. Въ этомъ нивеллирѣ имѣется горизонтальный лимбъ J, алидада съ ноніусомъ, зажимательный ея винтъ и лупа для разсматриванія дѣленій ноніуса. Вертикальная ось вращенія проходитъ чрезъ цилиндръ N, снабженный 4 горизонтальными подъемными винтами s. На треножникъ нивеллиръ навинчивается винтомъ w, придѣланнымъ къ цилиндру N.



Черт. 376.

288. Нивеллиры съ перекладными трубами въ обоймицахъ и уровнями, перекладываемыми на трубѣ. Чертежъ 377-й изображаетъ нивеллиръ, труба котораго F лежитъ въ обоймицахъ T и T' своими утолщеніями R и R, называемыми *цапфами*. Она можетъ быть перекладываема въ обоймицахъ и поворачиваема въ нихъ на

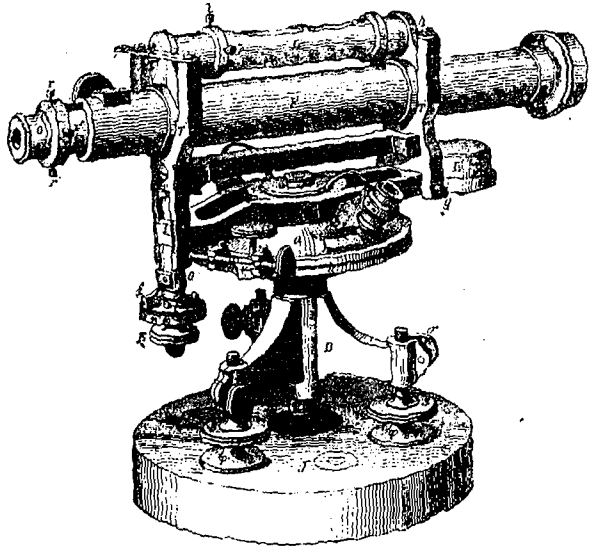
180°. Чтобы она поворачивалась не болѣе какъ на 180°, къ ней придѣланы особые штифтики, могущіе упираться въ пластинки z и z', придѣланныя къ обоймицамъ T и T'. Винтомъ G' уничтожается паралаксъ нитей трубы (§ 137). Кольцо съ волосками удерживается четырьмя винтиками r_1, r' и r''. Окуляръ выдвигается рукою. На трубу накладывается съемный уровень, который можно перекладывать на



Черт. 377.

трубѣ; при вращеніи же трубы въ обоймицахъ уровень не вращается. Онъ снабженъ повѣрительными винтами l и l' для приведенія его оси въ положеніе, перпендикулярное къ вертикальной оси вращенія инструмента; повѣрительные винтики λ и λ служатъ для приведенія оси уровня въ одну отвѣсную плоскость съ геометрическою осью трубы. Для того, чтобы при переноскѣ инструмента труба и уровень не могли выпасть изъ обоймицъ служатъ особыя защелки β и β. Обоймицы трубы придѣланы наглухо къ коромыслу T, къ которому

придѣлана коническая ось, могущая вращаться во втулкѣ B и зажимаемая особымъ винтомъ, входящимъ въ кольцо q. Съ коромысломъ соединена пластинка F''', а къ ней придѣланъ круглый уровень L' съ повѣрительнымъ его винтомъ t. Съ втулкою B, какъ обыкновенно, соединенъ трехконечникъ, имѣющій винтовыя гайки для подъемныхъ винтовъ S, S', S'', концы которыхъ шарообразны и входятъ въ приливки φ, прикрѣпленные къ столику I треножника. Винты σ слу-

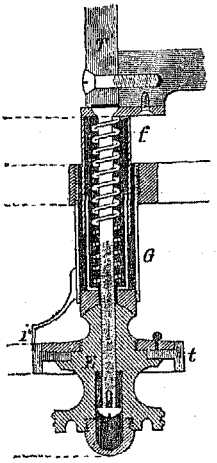


Черт. 378.

жатъ для большаго или меньшаго зажиманія подъемныхъ винтовъ въ ихъ гайкахъ.

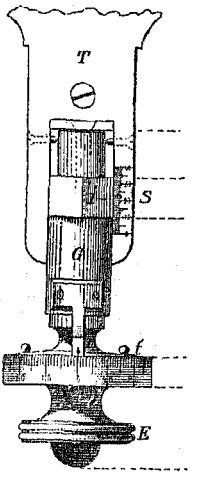
Чертежъ 378-й изображаетъ также нивеллиръ съ перекладной трубою въ обоймицахъ и уровнемъ L, перекладываемымъ на трубѣ; χ и λ — повѣрительные винты уровня L; r и r' — винты при сѣткѣ. Нивеллиръ этотъ отличается отъ предыдущаго тѣмъ, что въ немъ имѣется винтъ Et Штампфера, описанный въ предыдущемъ параграфѣ; болѣе подробное устройство винта Штампфера показано на чертежахъ 379-мъ и 380-мъ. Кромѣ того, нивеллиръ этотъ снабженъ горизонтальнымъ лимбомъ h, алидадою a съ ноніусомъ, зажимательнымъ и микрометреннымъ къ ней винтомъ, лупою и, наконецъ, круглымъ уровнемъ L'. Подъемный механизмъ устроенъ совершенно такъ же, какъ въ нивеллирѣ, изображенномъ на чертежѣ 377-мъ.

Чертежъ 381-й изображаетъ собою нивеллиръ устройства въ главныхъ частяхъ совершенно сходнаго съ нивеллиромъ, изображеннымъ на чертежѣ 378-мъ.

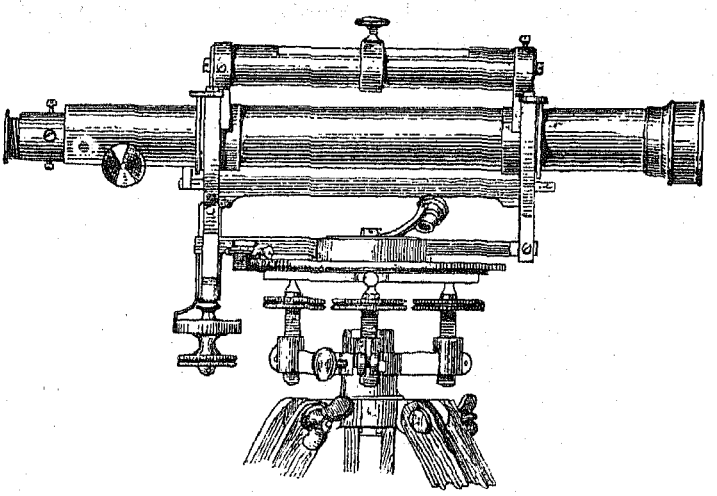


Черт. 379.

Нивеллиръ, изображенный на чертежѣ 382-мъ, отличается отъ нивеллира, изображеннаго на чертежѣ 377-мъ, тѣмъ, что онъ не имѣетъ обоймицъ, и вмѣсто цапфъ его труба имѣетъ квадратныя утолщенія, которыми она накладывается на горизонтальный кругъ. Въ серединѣ трубы надѣтъ цилиндръ, къ которому придѣланы двѣ оси, одна вкладывается въ центральное отверстіе горизонтальнаго круга и служитъ вертикальною осью вращенія, а другая—въ отверстіе, сдѣланное въ нижней подкладкѣ уровня. Трубу можно,



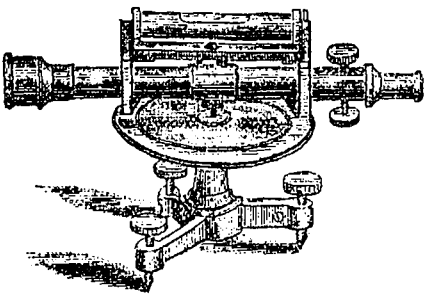
Черт. 380.


Черт. 381.

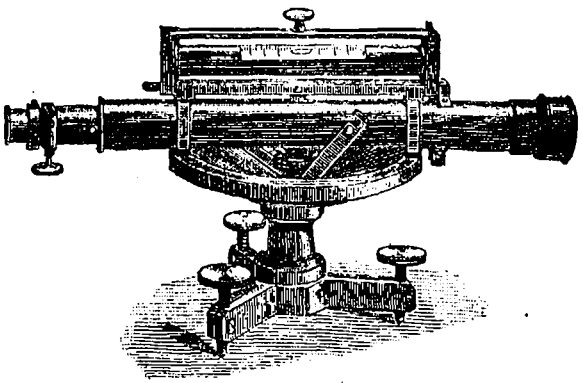
слѣдовательно, снимать, переворачивать и перекладывать, точно также можно перекладывать и уровень на трубѣ.

Нивеллиръ, изображенный на чертежѣ 383-мъ, отличается отъ

предыдущаго тѣмъ, что уровень съ трубою можетъ быть скрѣпленъ особыми защелками, что представляетъ то удобство, что при пере-



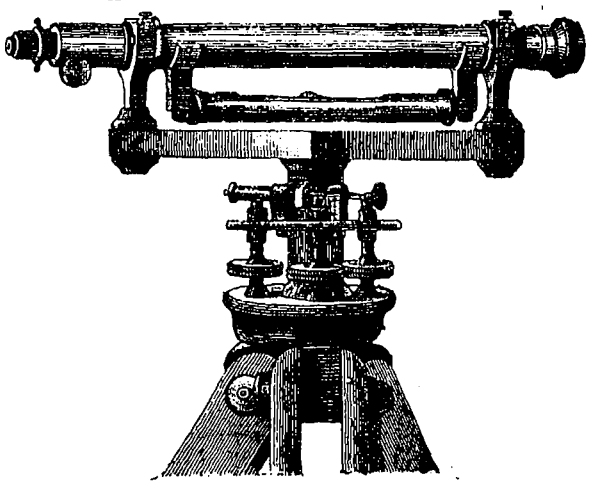
Черт. 382.



Черт. 383.

носкѣ нѣтъ надобности снимать трубу и уровень, какъ это необходимо при употребленіи нивеллира, изображеннаго на чертежѣ 382-мъ.

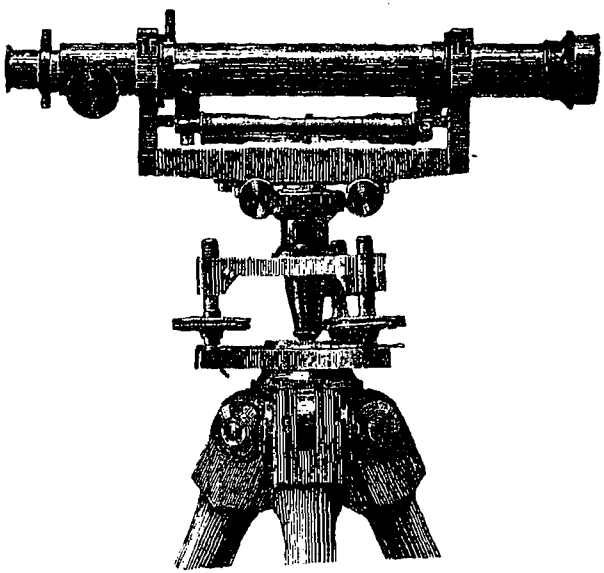
289. Нивеллиры съ перекладными трубами въ обоймицахъ и уровнями, прикрѣпленными наглухо къ трубѣ. Нивеллиры, изображенные на чертежахъ 384-мъ и 385-мъ, имѣютъ трубу, скрѣпленную съ уровнемъ наглухо, труба же вмѣстѣ съ уровнемъ можетъ быть вынимаема изъ обоймицъ и въ нихъ перекладываема, а также ее можно вращать около ея геометрической оси R или на 360° (черт. 384), или на 180° (черт. 385). Уровень въ одномъ концѣ снабженъ повѣрительнымъ винтомъ для приведенія оси его въ положеніе, параллельное съ производящею цилиндровъ, образующихъ собою цапфы трубы. На другомъ концѣ имѣются боковые повѣрительные



Черт. 384.

винты для приведенія оси уровня и геометрической оси трубы въ одну отвѣсную плоскость При одной изъ обоймицъ, въ такихъ нивеллирахъ имѣется повѣрительный винтъ для приведенія оси уровня въ положеніе, перпендикулярное къ вертикальной оси вращенія инструмента.

На чертежѣ 386-мъ изображенъ нивеллиръ этой системы, употреблявшійся съ 1883 года нашимъ военно-топографическимъ отдѣломъ при точныхъ нивеллировкахъ. Уровень въ немъ снабженъ боковымъ зеркаломъ для отсчитыванія наклонности оси уровня, не отходя отъ окуляра.

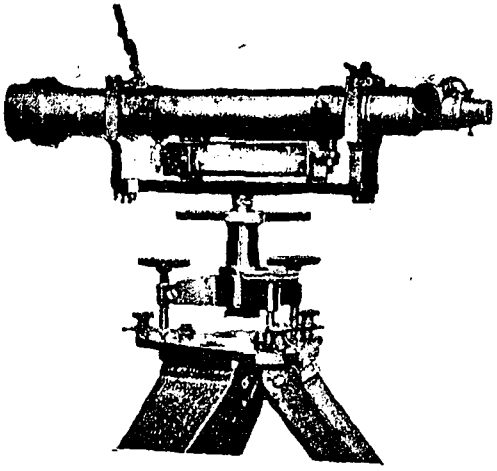


Черт. 385.

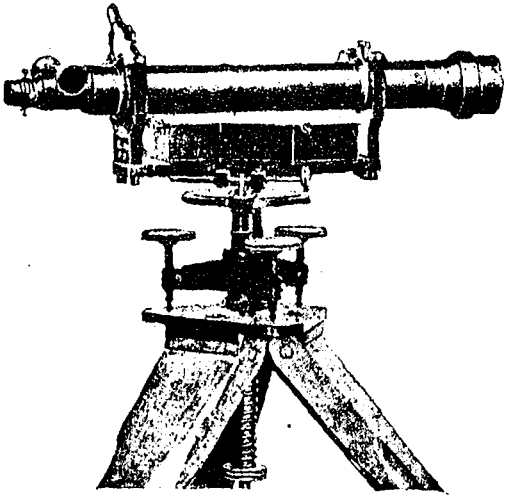
Труба вкладывается въ лагери коромысла и удерживается въ нихъ посредствомъ особыхъ двухъ задвижекъ. Она имѣетъ увеличеніе около 40, при фокусномъ разстояніи въ 15 дюймовъ и діаметрѣ объектива въ 1,5 дюйма. Сѣтка состоитъ изъ одной вертикальной и трехъ горизонтальныхъ нитей. Крайнія горизонтальныя нити находятся на разстояніи 0,040 и 0,035 дюйма отъ средней; такъ что угловое разстояніе нитей, въ среднемъ, около 9 и 8 минутъ. Пользуясь крайними нитями, нивеллиръ можно употреблять, какъ дальномѣръ. Сѣтка удерживается четырьмя повѣрительными винтиками.

Нивеллиръ устанавливается на деревянномъ прочномъ штативѣ, съ которымъ скрѣпляется посредствомъ станового винта со спиральною пружинкою. Хотя упругостью пружины уничтожается мертвый ходъ подъемныхъ винтовъ, но зато этотъ способъ скрѣпленія нивеллира со штативомъ не представляетъ достаточной прочности, въ особенности во время переноски инструмента

290. Нивеллиры съ перекладными трубами и уровнями, скрѣпленными съ коромысломъ. Въ такого рода нивеллирахъ труба не закрѣпляется въ обоймицахъ, а можетъ быть вынимаема изъ нихъ; съ этою цѣлью, обоймицы дѣлаются не въ видѣ кольца, а въ видѣ вилки (черт. 386) съ особою пластинкой, могущею вращаться на шарнирѣ, придѣланномъ къ одному концу вилки; на другомъ концѣ вилки имѣется винтикъ, которымъ эта пластинка можетъ быть закрѣплена. Части трубы, *лежащія въ обоймицахъ, снабжены кольцеобразными утолщеніями, называемыми цапфами.* Поверхности этихъ



Черт. 386.



Черт. 387.

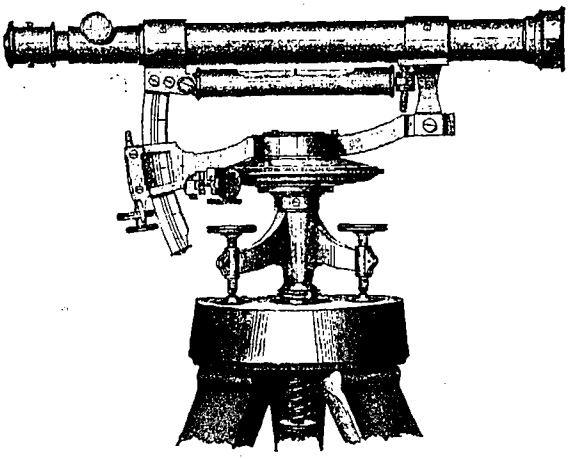
колецъ, обыкновенно, дѣлаются такъ, что онѣ принадлежатъ одному цилиндру, концентрическому съ цилиндромъ трубы. На этихъ кольцахъ ставится по одному штифтику, благодаря чему, когда труба положена въ обоймицы и замки закрыты, она не можетъ получать продольнаго перемѣщенія, но можетъ быть вращаема около оси цилиндра трубы.

Чертежъ 387-й изображаетъ нивеллиръ, которымъ производились точныя нивеллировки нашимъ военно-топографическимъ отдѣломъ въ 1875—1877 и 1881—1882 г.г., исполненъ онъ Вольфрамомъ.

Онъ состоитъ, въ главнѣйшихъ частяхъ, изъ треножника съ тремя подъемными винтами, коромысла съ уровнемъ и астрономической трубы. Треножникъ имѣетъ такое же устройство, какъ и въ обыкновенныхъ нивеллирахъ. Внутри вертикальной колонки треножника

помѣщается стальная вертикальная ось инструмента, къ верхнему концу которой наглухо прикрѣплено мѣдное коромысло. Послѣ закрѣпленія зажимательнаго винта, коромыслу можетъ быть сообщено небольшое движеніе въ горизонтальномъ направленіи при помощи микрометреннаго винта.

Коромысло состоитъ изъ мѣдной линейки съ двумя мѣдными вертикальными стойками. Въ стойкахъ сдѣланы прямоугольныя обоймицы, или лагери, въ которыхъ труба помѣщается своими цапфами. Одна изъ стоекъ скрѣплена съ коромысломъ наглухо, другая же можетъ быть нѣсколько приподнимаема или опускаема посредствомъ трехъ повѣрительныхъ винтиковъ, проходящихъ черезъ коромысло. Этими винтами ось уровня ставится въ положеніе, перпендикулярное къ вертикальной оси вращенія инструмента.



Черт. 388.

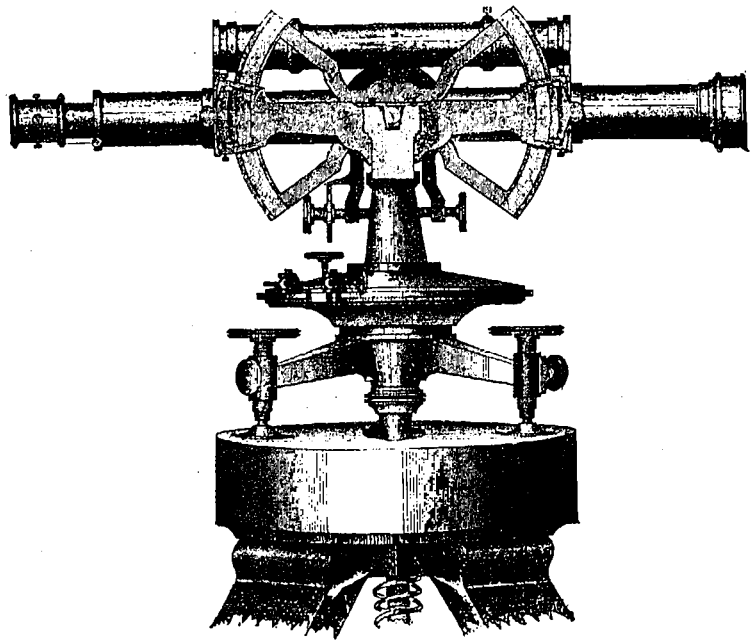
На линейкѣ коромысла помѣщается уровень, заключенный въ просторную желѣзную коробку, прикрытую сверху стеклянною крышкою. Коробка назначается для предохраненія уровня отъ быстрыхъ измѣненій температуры. Къ боковымъ стѣнкамъ коробки прикрѣплены два плоскія зеркала, образующія съ осью уровня уголъ въ 45°. Посредствомъ этихъ зеркалъ, наблюдатель, глядя черезъ соотвѣтственныя отверстія къ коробкѣ, можетъ отсчитывать показаніе уровня, не отходя отъ окуляра.

291. Нивеллиры съ однимъ или двумя секторами, или нивеллиръ-теодолиты. Такого рода нивеллиры изображены на чертежахъ 388-мъ и 389-мъ. Они устраиваются такъ же, какъ и теодолиты, но трубы въ нихъ болѣе сильныя, уровни болѣе чувствительные и точность ноніусовъ-секторовъ выражается нѣсколькими секундами. Уровни въ нихъ прикрѣплены къ трубѣ. Труба соединяется съ обоймицами или наглухо, или можетъ перекладываться въ нихъ. Такого рода

нивеллиры могутъ служить для тѣхъ же цѣлей, какъ и простые теодолиты, такъ какъ лимбъ въ нихъ не вращается.

292. Общія замѣчанія о нивеллирахъ. Такимъ образомъ, изъ всего сказаннаго видно, что нивеллиры съ трубами устраиваютъ трояко: у однихъ трубы вынимаются изъ обоймицъ, такіе нивеллиры называются *нивеллирами съ перекладными трубами*; у другихъ трубы закрѣпляются наглухо, такіе нивеллиры называются *глухими*; а третьи устраиваются такъ же, какъ теодолиты.

Нивеллиры съ перекладными трубами встрѣчаются трехъ видовъ:



Черт. 389.

у однихъ уровень прикрѣпленъ къ трубѣ, у другихъ онъ перекладывается на трубѣ, у третьихъ прикрѣпленъ къ бруску, на концахъ котораго находится подставка, или обоймицы трубы, или же къ самымъ обоймицамъ. Во всѣхъ этихъ нивеллирахъ трубы не только могутъ быть вынуты изъ обоймицъ и, слѣдовательно, переложены въ нихъ противоположными концами, но могутъ еще быть поворачиваемы въ обоймицахъ около своихъ геометрическихъ осей — или на 360°, или на 180°.

Глухіе нивеллиры имѣютъ трубы неперекладныя и неповорачиваемыя около геометрической оси, уровни у нихъ прикрѣпляются

либо къ трубѣ, либо къ обоймицамъ, либо къ бруску, на которомъ покоются обоймицы.

Трубы всѣхъ нивеллировъ имѣютъ сѣтку съ двумя перекрестными волосками, а иногда съ однимъ вертикальнымъ и тремя горизонтальными, причемъ крайніе волоски находятся на равныхъ разстояніяхъ отъ средняго; въ этомъ послѣднемъ случаѣ нивеллиры служатъ и дальномѣрами. Нѣкоторые нивеллиры снабжаются горизонтальными лимбами и буссолями.

Каждый изъ этихъ родовъ нивеллировъ изготовляется различными механиками съ нѣкоторыми другъ отъ друга отличіями, но большею частью несущественными. Иногда къ нивеллирамъ того или другого рода придѣлывается, такъ называемый, винтъ Штампфера.

293. Установка нивеллира съ зрительною трубою. Какъ бы ни были устроены нивеллиры, установка и употребленіе ихъ производятся всегда однимъ и тѣмъ же образомъ, а именно: *устанавливаютъ ножки* нивеллира такъ, чтобы ось уровня была приблизительно горизонтальна, ослабивъ закрѣпительный винтъ, ставятъ уровень по направленію осей двухъ подъемныхъ винтовъ и, дѣйствуя винтами въ разныя стороны, приводятъ пузырекъ уровня на середину, затѣмъ поворачиваютъ верхнюю часть нивеллира около его вертикальной оси на 90°, *т. е. такъ, чтобы уровень былъ по направленію третьяго* винта, и, дѣйствуя этимъ винтомъ, приводятъ пузырекъ на середину. Если повторить эту манипуляцію нѣсколько разъ, то въ вѣрномъ инструментѣ пузырекъ уровня не будетъ отходить отъ середины при всѣхъ поворотахъ его. Далѣе, выдвигаютъ окуляръ, пока сѣтка не представится въ видѣ ясныхъ рельефныхъ линій, затѣмъ, наведя трубу на рейку, установленную въ одной изъ нивеллируемыхъ точекъ, дѣйствуютъ сѣточнымъ винтомъ до тѣхъ поръ, пока изображеніе рейки не будетъ совершенно ясно, и пока, при передвиженіи глаза вверхъ и внизъ, волоски не будутъ сходить съ тѣхъ дѣленій, какія они покрывали раньше (§ 137), что случится тогда, когда рейка неподвижна, напр., установлена на треногѣ: иначе, отъ колебанія рейки, волоски сходятъ съ своихъ прежнихъ мѣстъ, хотя и на малыя разстоянія.

294. Условія, которымъ долженъ удовлетворять вѣрный глухой нивеллиръ съ зрительною трубою. *Въ § 278-мъ мы видѣли, что при нивеллировкѣ визирная ось нивеллира, приведенная въ горизонтальное положеніе, должна сохранять постоянно это поло-*

женіе при всѣхъ поворотахъ инструмента около вертикальной оси вращенія.

Условіе это будетъ выполнено, во первыхъ, тогда, когда ось уровня перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента.

Если инструментъ удовлетворяетъ высказанному выше условію, то ось уровня, приведенная, подъемными винтами въ горизонтальное положеніе, по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ, всегда горизонтальна, при всѣхъ поворотахъ инструмента около вертикальной оси вращенія.

При несоблюденіи же этого условія, визирная ось трубы, параллельная оси уровня, не будетъ горизонтальна, хотя бы ось уровня и была приведена въ горизонтальное положеніе. Дѣйствительно, если ось уровня не перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія, то ось уровня, приведенная въ горизонтальное положеніе, послѣ поворота на 180° не сохранитъ этого положенія, а сдѣлается наклонною (§ 168).

Второе условіе, которому долженъ удовлетворять нивеллиръ, чтобы высказанное выше требованіе имѣло мѣсто, состоитъ въ томъ, что ось уровня, будучи перпендикулярной къ оси вращенія инструмента, въ то же время была бы параллельна визирной оси.

Если ось уровня непараллельна визирной оси трубы, то, при существованіи перпендикулярности оси уровня къ вертикальной оси вращенія, визирная ось также будетъ непараллельна оси уровня, а слѣдовательно, не будетъ и горизонтальна, несмотря на то, что ось уровня приведена въ горизонтальное положеніе.

Итакъ, въ вѣрномъ глухомъ нивеллирѣ должны быть выполнены слѣдующія условія:

1) ось уровня должна быть перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента;

2) ось уровня должна быть параллельна визирной оси трубы нивеллира.

Несуществованіе одного изъ этихъ условій влечетъ за собою, какъ видѣли сейчасъ, несоотвѣтствіе нивеллира главному требованію, т. е. визирная ось нивеллира, приведенная въ горизонтальное положеніе, отклоняется отъ этого положенія при поворотахъ нивеллира около его вертикальной оси вращенія.

295. Какъ повѣрить въ глухомъ нивеллирѣ, перпендикулярна ли ось уровня къ оси вращенія, или какъ повѣрить мѣсто нуля уровня. Повѣрка перпендикулярности оси уровня къ оси вращенія производится слѣдующимъ образомъ: поворачивая верхнію часть инструмента, ставятъ уровень по двумъ подъемнымъ винтамъ, приводятъ ими пузырекъ на середину, поворачиваютъ уровень по 3-му винту и этимъ винтомъ также приводятъ пузырекъ, въ точности, на середину. Затѣмъ поворачиваютъ верхнюю часть инструмента на 180° около вертикальной оси вращенія. Если послѣ поворота пузырекъ уровня останется на серединѣ, то, слѣдовательно, ось уровня заняла то же мѣсто, что и до поворота, а такъ какъ это возможно лишь тогда, когда ось уровня перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія, то условіе перпендикулярности осей соблюдено.

Если послѣ поворота на 180° пузырекъ отойдетъ отъ середины, то очевидно, что ось уровня заняла послѣ поворота другое мѣсто, и уголъ, составленный двумя положеніями оси уровня—до поворота и послѣ поворота, измѣряется тѣмъ числомъ дѣленій, на какое пузырекъ отошолъ отъ середины, уголъ же отклоненія оси уровня отъ перпендикулярнаго положенія къ оси вращенія измѣряется половиною отклоненія середины пузырька уровня отъ середины трубки уровня, а потому исправленіе должно быть произведено повѣрительнымъ винтомъ при уровнѣ на половину всего отклоненія. Такъ, если пузырекъ послѣ поворота на 180° отойдетъ на 4 дѣленія, то надо поправить винтомъ при уровнѣ на два дѣленія и, приведя пузырекъ, въ точности, на середину подъемнымъ винтомъ, повторять ту же операцію до тѣхъ поръ, пока, при всѣхъ поворотахъ, пузырекъ уровня, приведенный на середину, уже не отходитъ отъ нея.

На чертежѣ 372-мъ повѣрительный винтъ, о которомъ сейчасъ говорилось, это означенъ буквою n_1. Въ нивеллирѣ, изображенномъ на чертежѣ 375-мъ, указанное исправленіе слѣдуетъ исполнить винтомъ s.

296. Какъ узнать, параллельна ли ось уровня визирной оси въ глухомъ нивеллирѣ. Для того, чтобы узнать, параллельна ли ось уровня визирной оси глухого нивеллира, надо измѣрить отъ какой-нибудь точки два равныхъ разстоянія, напримѣръ, цѣпью, поставить въ этой точкѣ нивеллиръ, а по концамъ измѣренныхъ отъ нея линій поставить отвѣсно рейки; установивъ нивеллиръ въ горизонтальномъ положеніи (§ 293), надо прочесть показанія горизонтальнаго волоска трубы на

обѣихъ рейкахъ, вычесть меньшее показаніе изъ большаго; полученная разность x будетъ выражать собою точное возвышеніе одной точки стоянія рейки надъ другою, будетъ ли ось уровня параллельна визирной оси, или непараллельна, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ ошибки въ чтеніяхъ на рейкахъ одинаковы, а потому при вычитаніи ошибки эти сократятся (§ 278). Затѣмъ надо нивеллиръ переставить въ другую точку такъ, чтобы разстоянія отъ него до реекъ были неодинаковы. Установивъ вновь нивеллиръ въ горизонтальномъ положеніи, прочитавъ на горизонтальномъ волоскѣ показанія на рейкахъ и вычтя одно показаніе изъ другого, найдемъ вновь разность высотъ точекъ стоянія реекъ. Разность эта будетъ вѣрная, иначе—равная найденной раньше, т. е. она будетъ равна x лишь въ томъ случаѣ, если ось уровня параллельна визирной оси, такъ какъ въ этомъ случаѣ визирная ось будетъ горизонтальна (§ 278). Если же вторая разность будетъ отлична отъ первой, т. е. не равна x, то это укажетъ, что ось уровня непараллельна визирной оси.

Въ § 278-мъ мы видѣли, что когда визирная ось нивеллира наклонена къ горизонту подъ угломъ 0, чтенія на рейкахъ равняются h и h_1, а разстоянія до реекъ—d и d_1, то возвышеніе одной точки надъ другою выражается формулой:

$$x = h - h_1 + tg\,0\,(d - d_1).$$

Или называя $d - d_1 = \Delta$, найдемъ:

$$x = h - h_1 + tg\,0.\,\Delta \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Подобнымъ образомъ, поставивъ нивеллиръ въ другой точкѣ, найдемъ:

$$x = h' - h'_1 + tg\,0\,(d' - d'_1),$$

или, называя $d' - d'_1 = \Delta'$, получимъ:

$$x = h' - h'_1 + tg\,0.\,\Delta' \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

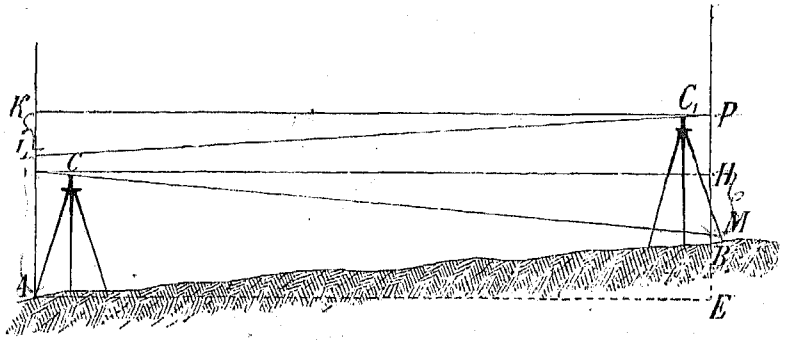
Вычитая одно равенство (1) изъ другого (2), найдемъ:

$$tg\,0 = \frac{[h - h_1] - [h' - h'_1]}{\Delta' - \Delta}.$$

Такъ какъ въ правой части всѣ величины извѣстныя, то $tg0$ найдется.

А разъ величина $tg\,\theta$ найдена, то во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда нивеллиръ ставится на разныхъ разстояніяхъ отъ реекъ, можно вычислить величину ошибки въ чтеніи на каждой рейкѣ, а именно эта ошибка будетъ такая: $y = D\,tg\,\theta$, гдѣ D разстояніе до рейки.

297. Другой способъ опредѣленія величины вліянія ошибки отъ непараллельности оси уровня визирной оси въ глухомъ нивеллирѣ. Чтобы опредѣлить величину этой ошибки, поступаютъ еще такъ: въ точкѣ A (черт. 390) ставятъ нивеллиръ такъ, чтобы окуляръ трубы, при визированіи на рейку B, находился отвѣсно надъ точкой A. Дѣлаютъ установку нивеллира по правиламъ, изложеннымъ



Черт. 390.

выше (§ 293). На колѣ, въ точкѣ B, ставятъ рейку въ отвѣсномъ положеніи. Направляютъ трубу на рейку и замѣчаютъ на послѣдней дѣленіе, покрываемое горизонтальнымъ волоскомъ.

Если бы визирная ось была параллельна оси уровня, то она имѣла бы горизонтальное направленіе DH, при непараллельности же положеніе визирной оси будетъ наклонное, напр., CM.

Пусть высота BM точки M надъ верхушкою кола $= h$, а высота AD, центра окуляра, надъ верхушкою кола $= i$.

Послѣ того, ставятъ нивеллиръ въ точкѣ B, а рейку въ A и въ дальнѣйшемъ поступаютъ по предыдущему. Употребляя такой методъ при повѣркѣ, дѣйствуютъ совершенно согласно съ общими правилами повѣрокъ, т. е. поворачиваютъ визирную ось около горизонтальной линіи на 180°.

Когда инструментъ установленъ въ точкѣ B, оптическая ось трубы уклонится отъ горизонтальнаго направленія PK на тотъ же уголъ, какъ и въ первомъ положеніи, и встрѣтитъ рейку въ точкѣ L,

поэтому треугольники DHM и PKL равны между собою, и, слѣдовательно, $LK = MH$. Назовемъ эти величины буквою u. Пусть, кромѣ того, показаніе, прочтенное на рейкѣ, $AL = h_1$, а высота BP оси визирной трубы $= i_1$.

Изъ чертежа имѣемъ: $DK = PH$,

какъ параллельныя между параллельными, но

$$DK = DL + LK = LA - AD + LK,$$

и

$$PH = PM - HM = PB - BM - HM,$$

или

$$DK = h_1 - i + u,$$

$$PH = i_1 - h - u,$$

подставляя равныя вмѣсто равныхъ, получимъ:

$$h_1 - i + u = i_1 - h - u,$$

уравненіе 1-й степени относительно u, изъ котораго найдемъ:

$$u = \frac{i + i_1}{2} - \frac{h + h_1}{2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1).$$

Если для u получится величина отличная отъ нуля, то визирная ось уклоняется отъ горизонтальнаго направленія вверхъ или внизъ. Если u получится со знакомъ $+$, то визирная ось трубы отклоняется внизъ, какъ представлено на чертежѣ 288; если же со знакомъ $-$, то визирная ось трубы отклоняется вверхъ.

Для уничтоженія погрѣшности положительной, трубу надо поднять на столько, чтобы горизонтальный волосокъ покрывалъ на рейкѣ не точку L, а точку K. Для этого къ прочтенному раньше показанію h прибавляютъ вычисленную величину u и поднимаютъ трубу повѣрительнымъ винтомъ на столько, чтобы горизонтальный волосокъ покрывалъ рейку въ точкѣ K.

Исправленіе это должно быть повторено нѣсколько разъ, причемъ, если u будетъ выражаться нѣсколькими тысячными сажени, то подобную ошибку можно и не исправлять, потому что такая ошибка можетъ произойти отъ невѣрности отсчетовъ по рейкамъ.

Въ нивеллирѣ, изображенномъ на чертежѣ 372-мъ, исправленіе надо сдѣлать винтами p_1 и p_2 при сѣткѣ трубы, т. е. привести ось визирную въ положеніе параллельное оси уровня. Въ нивеллирѣ же, изображенномъ на чертежѣ 375-мъ, исправленіе надо произвести такъ: поднять или опустить подъемнымъ винтомъ визирную ось на требуемое дѣленіе, послѣ чего визирная ось займетъ горизонтальное положеніе, но пузырекъ уровня отойдетъ отъ середины, а потому его надо привести на середину винтомъ a.

298. Условія, какимъ долженъ удовлетворять вѣрный нивеллиръ съ перекладною зрительною трубою. *При нивеллировкѣ визирная ось нивеллира, приведенная въ горизонтальное положеніе, должна сохранять постоянно это горизонтальное положеніе.* Условіе это будетъ выполнено, если 1) ось уровня перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія и 2) параллельна оси визирной. Послѣднее требованіе въ нивеллирѣ съ перекладными трубами разлагается на слѣдующія: визирная ось должна совпадать съ геометрическою осью трубы; труба должна быть цилиндрическою; производящая цилиндра трубы или цапфъ трубы должна быть параллельна оси уровня, и эта послѣдняя перпендикулярна къ оси вращенія всего инструмента.

Такимъ образомъ, въ этомъ случаѣ должны быть параллельными слѣдующія линіи: 1) *ось геометрическая трубы, совпадающая съ осью визирной*, 2) *производящая цапфъ*, 3) *ось уровня*, и, *кромѣ того, ось уровня должна быть перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента.*

Дѣйствительно, если инструментъ удовлетворяетъ высказаннымъ выше условіямъ, то ось уровня, приведенная, по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ, подъемными винтами въ горизонтальное положеніе, а слѣдовательно, и визирная ось, всегда горизонтальны, при всѣхъ поворотахъ инструмента около вертикальной оси вращенія, а также и при перекладываніи трубы въ обоймицахъ, если только цапфы трубы и обоймицы содержатся въ чистотѣ, и на нихъ нѣтъ пыли или окиси мѣди.

При несоблюденіи же одного какого-нибудь изъ этихъ условій, визирная ось трубы не будетъ горизонтальна, хотя бы ось уровня и была приведена въ горизонтальное положеніе.

Если, при существованіи всѣхъ прочихъ условій, ось уровня неперпендикулярна къ вертикальной оси вращенія, то ось уровня, а

слѣдовательно, и параллельная ей визирная ось, приведенная въ горизонтальное положеніе, послѣ поворота на 180° не сохраняетъ этого положенія.

Если ось уровня непараллельна производящей трубы, то, при существованіи всѣхъ прочихъ условій, визирная ось будетъ непараллельна оси уровня, а слѣдовательно, негоризонтальна, несмотря на то, что ось уровня приведена въ горизонтальное положеніе.

Если визирная ось не совпадаетъ съ геометрической, то, при существованіи всѣхъ прочихъ условій, геометрическая ось горизонтальна, когда ось уровня приведена въ горизонтальное положеніе, а визирная, какъ проходящая чрезъ центръ сѣтки и центръ объектива и, слѣдовательно, пересѣкающая, въ этомъ случаѣ, геометрическую ось, не будетъ горизонтальна (§ 120).

И наконецъ, если труба не цилиндръ, а конусъ, то, при существованіи всѣхъ прочихъ условій, визирная ось, совпадая съ геометрическою, непараллельна производящей трубы или производящей цапфъ трубы, а слѣдовательно, непараллельна и оси уровня, а потому она будетъ негоризонтальна, хотя ось уровня приведена въ горизонтальное положеніе.

Вслѣдствіе всего этого, отъ нивеллировъ съ перекладными трубами надо требовать выполненія слѣдующихъ условій:

1) ось уровня должна быть перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія;

2) ось уровня должна быть параллельна производящей трубы нивеллира или производящей цапфъ трубы, если труба имѣетъ цапфы;

3) ось визирная и геометрическая должны совпадать, или, другими словами, центръ сѣтки долженъ лежать на геометрической оси;

4) труба или цапфы ея не должны быть коничны, а должны принадлежать одному точному цилиндру.

Несуществованіе одного изъ этихъ условій влечетъ за собою, какъ видѣли сейчасъ, несоотвѣтствіе нивеллира главному требованію, т. е. визирная ось нивеллира, приведенная въ горизонтальное положеніе, отклоняется отъ этого положенія при поворотахъ нивеллира около его вертикальной оси. Но одновременное несуществованіе двухъ какихъ-нибудь условій изъ трехъ послѣднихъ можетъ привести къ тому, что нивеллиръ окажется вѣрнымъ, если только двѣ ошибки другъ друга уничтожаютъ.

299. Какъ повѣрить, перпендикулярна ли ось уровня нивеллира къ вертикальной оси вращенія, или какъ повѣрить мѣсто нуля уровня въ нивеллирѣ съ перекладною трубою. Повѣрка перпендикулярности оси уровня къ вертикальной оси вращенія производится совершенно такъ же, какъ и въ глухихъ нивеллирахъ, т. е. поворачиваютъ верхнюю часть инструмента такъ, чтобы уровень былъ направленъ по двумъ подъемнымъ винтамъ, приводятъ ими пузырекъ уровня на середину, поворачиваютъ уровень по 3-му винту и этимъ винтомъ также приводятъ пузырекъ, въ точности, на середину. Затѣмъ поворачиваютъ верхнюю часть инструмента на 180°. Если послѣ поворота на 180° пузырекъ уровня останется на серединѣ, то ось уровня заняла то же мѣсто, что и до поворота, и это возможно лишь тогда, когда ось уровня перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія.

Если послѣ поворота на 180° пузырекъ отойдетъ отъ середины, то очевидно, что ось уровня заняла послѣ поворота другое мѣсто, и уголъ, составленный двумя положеніями оси уровня—до поворота и послѣ поворота, измѣряется тѣмъ числомъ дѣленій, на какое пузырекъ отошелъ отъ середины, уголъ же наклоненія оси уровня съ плоскостью вращенія измѣряется половиною этого отклоненія, а потому исправленіе должно быть произведено на половину всего отклоненія, повѣрительнымъ винтомъ при обоймицѣ, а въ нивеллирахъ Штампфера съ перекладными трубами—винтомъ Штампфера.

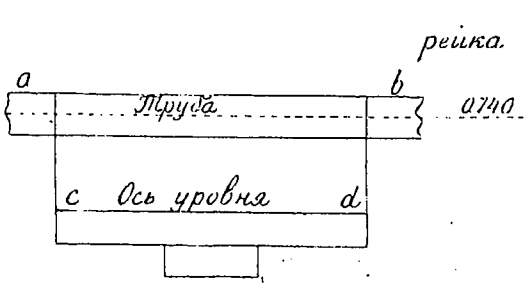
Если послѣ новаго поворота на 180°, пузырекъ уровня будетъ отходить на величину, меньшую половины дѣленія трубки уровня, то дальнѣйшаго исправленія лучше не дѣлать.

300. Какъ повѣрить, параллельна ли ось уровня производящей трубы нивеллира или производящей цапфъ трубы нивеллира, въ которомъ труба перекладывается въ обоймицахъ, или лагеряхъ. Повѣрка параллельности оси уровня и производящей трубы или производящей цапфъ, если онѣ имѣются въ трубѣ, производится различно, смотря по тому, будетъ ли уровень прикрѣпленъ къ трубѣ, или къ обоймицамъ, или же онъ перекладывается на трубѣ.

Въ первомъ случаѣ, т. е. когда уровень прикрѣпленъ къ трубѣ, повѣрка производится такъ: приведя ось уровня въ горизонтальное положеніе, трубу вынимаютъ изъ обоймицъ и перекладываютъ въ нихъ. Если послѣ этого пузырекъ не отойдетъ отъ середины, то, слѣдовательно, ось уровня заняла то же мѣсто, т. е. она параллельна той линіи, относительно которой переложена на 180°. Соб-

ственно говоря, линій этихъ будетъ двѣ, и онѣ проходятъ черезъ точки касанія цапфъ съ обоймицами, эти же линіи, вмѣстѣ съ тѣмъ, суть производящія цапфъ, поэтому, если пузырекъ уровня, послѣ перекладыванія въ обоймицахъ, остается на мѣстѣ, то ось уровня параллельна производящимъ цапфъ трубы. Если же пузырекъ уровня отходитъ отъ середины трубки послѣ перекладыванія, то ось уровня непараллельна производящимъ, и исправленіе производится винтомъ при уровнѣ на половину отклоненія.

Во второмъ случаѣ, т. е. когда уровень прикрѣпленъ къ обоймицамъ или къ коромыслу, поддерживающему обоймицы, повѣрка, о которой идетъ рѣчь, производится такъ: послѣ повѣрки перпендикулярности уровня къ вертикальной оси вращенія инструмента, приводятъ подъемными винтами ось его точно въ горизонтальное положеніе; визируютъ на отвѣсно стоящую рейку, замѣчаютъ показаніе горизонтальнаго волоска, вынимаютъ трубу изъ обоймицъ и осторожно перекладываютъ ее въ нихъ. Послѣ этого надо удостовѣриться, заняла ли производящая цапфъ то же мѣсто, или другое. Для этого поворачиваютъ инструментъ около вертикальной оси вращенія, такъ чтобы опять визировать на ту же рейку, при этомъ пузырекъ уровня остается на серединѣ; если показаніе горизонтальнаго волоска то же, что и раньше, то, слѣдовательно, визирная ось и, неразрывно съ ней связанная, производящая цапфъ заняли то же мѣсто, — что возможно только лишь при условіи параллельности производящихъ цапфъ оси уровня, относительно которой производящая была переложена на 180°.

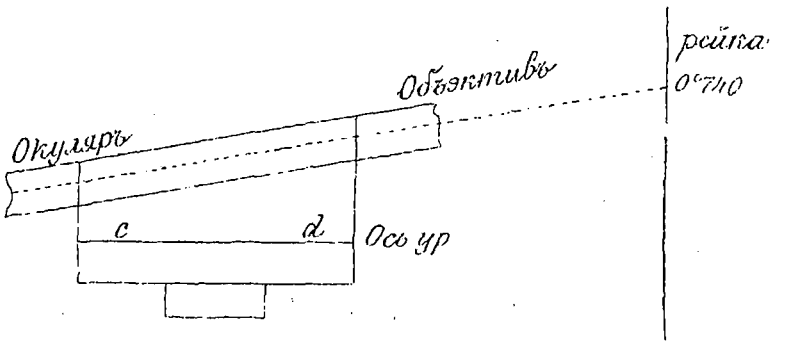


Черт. 891.

Если послѣ перекладыванія трубы въ обоймицахъ и поворота около оси вращенія на 180° показаніе горизонтальнаго волоска на рейкѣ получится другое, то производящая цапфъ цилиндра непараллельна оси уровня, и исправленіе производится винтомъ при одной изъ обоймицъ, опусканіемъ или приподниманіемъ ея до тѣхъ поръ, пока горизонтальный волосокъ не займетъ положенія средняго между двумя чтеніями, сдѣланными на рейкѣ.

Конечно, въ этомъ случаѣ уничтожить ошибку совершенно точно никогда не удается, а приходится ограничиваться лишь тѣмъ, чтобы она не была болѣе нѣсколькихъ тысячныхъ сажени.

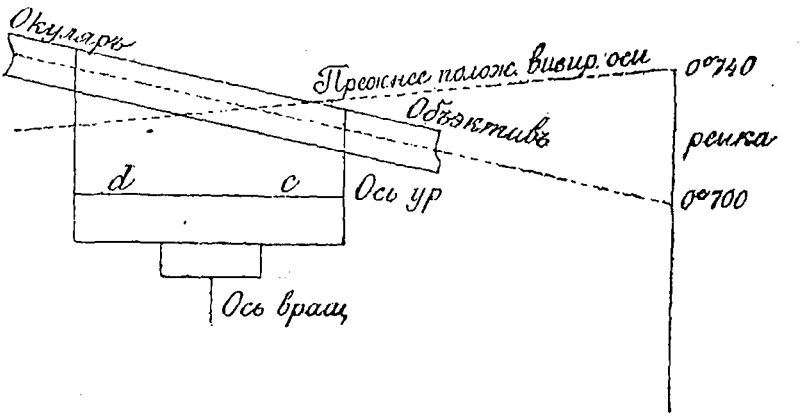
Изъ чертежа 391-го видно, что когда ось уровня параллельна



Черт. 392.

производящей трубы, то, до перекладыванія трубы и послѣ перекладыванія, чтенія по рейкѣ будутъ одни и тѣ же.

Чертежъ 392-й показываетъ, что когда ось уровня непараллельна производящей, то, до перекладыванія трубы, визирная ось будетъ



Черт. 393.

наклонна. Чертежъ 393-й показываетъ, что послѣ перекладыванія и поворота верхней части инструмента на 180°, ось трубы также наклонна, и чтеніе по рейкѣ другое, чѣмъ въ первомъ положеніи, напр., въ первомъ оно было 0,740, а во второмъ 0,700.

Въ томъ случаѣ, когда уровень перекладывается на трубѣ, по-

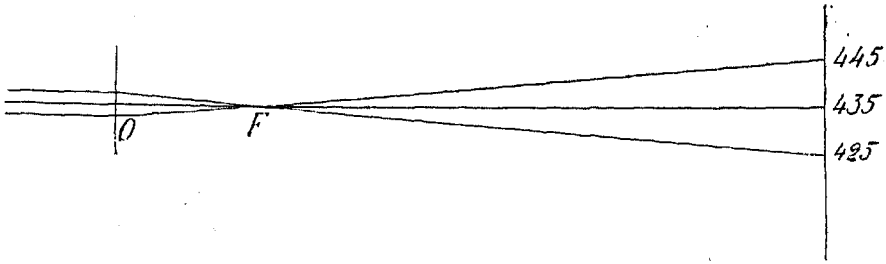
вѣрка параллельности оси уровня производящимъ цапфъ должна быть произведена такъ: послѣ установки оси уровня въ горизонтальномъ положеніи по двумъ подъемнымъ винтамъ, снимаютъ уровень съ трубы и перекладываютъ его на 180°; если пузырекъ уровня остается на мѣстѣ, слѣдовательно, и ось уровня занимаетъ то же мѣсто, то она параллельна тѣмъ линіямъ, на которыхъ уровень былъ переложенъ, т. е. параллельна производящимъ цапфъ. Если же пузырекъ отходитъ отъ середины, то ось уровня непараллельна производящимъ цапфъ, и исправленіе производится повѣрительнымъ винтомъ уровня на половину отклоненія. Приведя же вновь подъемными винтами пузырекъ на середину, надо ту же повѣрку повторить нѣсколько разъ.

Но совершенно уничтожить эту ошибку, обыкновенно, не удается; поэтому чтобы избѣжать невѣрности чтенія по рейкѣ, вслѣдствіе этой ошибки, берутъ на каждой рейкѣ по два чтенія, именно: до перекладыванія трубы въ обоймицахъ и послѣ ея перекладыванія и поворота верхней части инструмента на 180°. Полусумма двухъ полученныхъ чтеній будетъ уже свободна отъ ошибки, зависящей отъ непараллельности оси уровня производящей цапфъ трубы.

301. Какъ повѣрить, совпадаетъ ли въ нивеллирѣ центръ сѣтки съ визирною линіею трубы, которая перекладывается въ лагеряхъ и въ нихъ поворачивается на 180°, или какъ вывѣрить коллимаціонную ошибку въ трубѣ нивеллира съ перекладною трубою. Повѣрка совпаденія центра сѣтки съ геометрическою осью трубы производится такъ: приведя ось уровня подъемными винтами въ горизонтальное положеніе, наводятъ трубу на рейку, установленную отвѣсно на треножникѣ или у стѣны, саженяхъ въ 50 отъ инструмента; при этомъ одинъ волосокъ, направленный на середину рейки, будетъ отвѣснымъ, а другой горизонтальнымъ, затѣмъ читаютъ показаніе горизонтальнаго волоска на рейкѣ въ тысячныхъ доляхъ сажени, поворачиваютъ трубу въ обоймицахъ около ея геометрической оси на 180°, т. е. такъ, чтобы послѣ поворота вертикальный волосокъ опять былъ бы на серединѣ рейки, тогда отсчетъ горизонтальнаго волоска можетъ быть либо тѣмъ же самымъ, что и раньше, либо другимъ; первый случай будетъ имѣть мѣсто при совпаденіи центра сѣтки съ геометрическою осью трубы, такъ какъ то же чтеніе указываетъ, что центръ сѣтки послѣ поворота занимаетъ то же мѣсто, что возможно лишь при томъ условіи, что онъ находится на геометрической оси, около

которой его поворачивали; второй случай будетъ имѣть мѣсто при несовпаденіи центра сѣтки съ геометрической осью, и исправленіе производится винтами, зажимающими кольцо сѣтки въ трубѣ.

Положимъ, что O—объективъ, F—внѣшній фокусъ объектива, и на горизонтальномъ волоскѣ при первомъ визированіи было прочтено $0^c,425$, а во второй разъ $0^c,445$ (черт. 394), т. е. разница между двумя чтеніями равна 20-ти тысячнымъ, слѣдовательно, положеніе геометрической оси соотвѣтствуетъ $0^c,435$, т. е. положенію среднему, а потому одинъ изъ винтиковъ при сѣткѣ, расположенныхъ вертикально, надо ослабить, а другой подвинтить, пока горизонтальный волосокъ не покроетъ на рейкѣ дѣленія $0^c,435$. Конечно, повѣрку эту

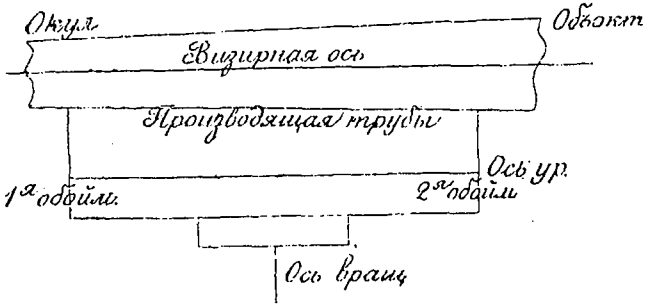


Черт. 394.

надо повторять нѣсколько разъ, доколѣ показанія до поворота не будутъ тѣ же самыя, какъ и послѣ поворота. Совершенно точнаго уничтоженія разности двухъ показаній, до поворота и послѣ поворота, достигнуть очень трудно, и если она не превосходитъ нѣсколькихъ тысячныхъ, то далѣе исправленія не производятъ. А чтобы удалить вліяніе этой ошибки на вѣрность чтеній по рейкѣ, читаютъ, обыкновенно, два показанія на рейкѣ при двухъ положеніяхъ трубы, до поворота и послѣ поворота ея на 180° около геометрической оси трубы, или читаютъ два показанія на рейкѣ, одно, когда винтъ, служащій для уничтоженія паралакса нитей трубы (§ 137), находится вверху, и другое, когда тотъ же винтъ находится внизу. Полусумма этихъ двухъ чтеній на одной и той же рейкѣ будетъ свободна отъ ошибки, зависящей отъ несовпаденія центра сѣтки съ геометрическою осью трубы.

302. Какъ узнать, представляетъ ли труба нивеллира конусъ или цилиндръ. Если всѣ предыдущія повѣрки указали на вѣрность нивеллира, то его визирная ось, послѣ установки нивеллира въ гори-

зонтальномъ положеніи, можетъ быть все-таки негоризонтальною, если труба или ея цапфы составляютъ конусъ, а не цилиндръ. Повѣрка коничности или цилиндричности трубы въ нивеллирахъ, уровень которыхъ перекладывается на трубѣ, производится очень простымъ образомъ: послѣ того какъ уровень вывѣренъ, въ томъ отношеніи, что ось его параллельна производящей цапфъ, надо, не снимая уровня съ трубы, переложить трубу съ уровнемъ въ обоймицахъ; если послѣ этого пузырекъ останется на серединѣ, то цапфы принадлежатъ одному цилиндру, если же пузырекъ уровня не останется на серединѣ, то



Черт. 395.

это укажетъ, что цапфы обточены невѣрно, и исправленіе можетъ быть произведено только механикомъ.

Если цапфы обточены вѣрно, то, чтобы онѣ не портились, во время работы необходимо держать ихъ въ чистотѣ, т. е. чтобъ на нихъ не лежала пыль и песокъ, иначе, вѣрныя цапфы современемъ сотрутся неодинаково и не будутъ принадлежать одному цилиндру.

Во всѣхъ нивеллирахъ другихъ устройствъ существованіе коничности цапфъ открываютъ слѣдующимъ образомъ: на покатой мѣстности избираютъ двѣ точки, въ разстояніи отъ 30 до 40 саж. другъ отъ друга, и, обозначивъ ихъ вбитыми кольями, съ верхушками срѣзаными горизонтально, ставятъ нивеллиръ на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ. Устанавливаютъ надлежащимъ образомъ какъ нивеллиръ, такъ и рейки, читаютъ показанія на нихъ и вычитаютъ таковыя другъ изъ друга. Будетъ ли ось трубы горизонтальна, или нѣтъ, полученная разность высотъ, какъ знаемъ изъ § 278-го, во всякомъ случаѣ выражаетъ вѣрную разность высотъ выбранныхъ точекъ. Затѣмъ надо поставить нивеллиръ на неравныхъ разстояніяхъ отъ реекъ, устано-

вить его надлежащимъ образомъ и прочесть показанія на рейкахъ. Если визирная ось негоризонтальна, то отсчеты будутъ невѣрные, какъ и раньше, но ошибка въ чтеніи на одной рейкѣ будетъ больше ошибки въ чтеніи на другой рейкѣ; вслѣдствіе этого, при вычитаніи одного показанія изъ другого, получится разность, отличная отъ найденной ранѣе вѣрной величины. Это обстоятельство укажетъ на существованіе негоризонтальности визирной оси. Такъ какъ всѣ ошибки уже исправлены, то эту негоризонтальность можно приписать лишь коничности трубы нивеллира или коничности цапфъ трубы.

Чтобы опредѣлить величину ошибки, проистекающей отъ коничности цапфъ, поступаютъ такъ же, какъ и въ глухихъ нивеллирахъ (§ 296).

303. Какъ уничтожить вліяніе коничности трубы. Уничтожить коничность цапфъ трубы можно лишь новою обточкою цапфъ, чего самъ нивеллировщикъ сдѣлать не можетъ. Но такъ какъ, вслѣдствіе коничности трубы, визирная ось можетъ быть непараллельна оси уровня (черт. 395), если эта ось приведена въ параллельное положеніе съ производящею цапфъ, то нивеллировщикъ можетъ въ конической трубѣ привести визирную ось въ положеніе параллельное оси уровня, дѣйствуя или винтомъ при обоймицѣ, или винтиками при сѣткѣ.

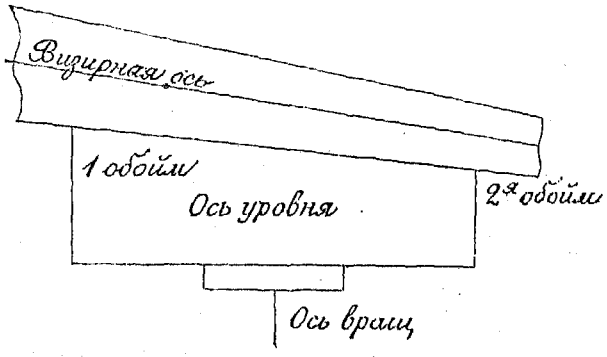
Если ошибка отъ коничности трубы была уничтожена винтомъ при одной изъ обоймицъ,—тѣмъ самымъ винтомъ, которымъ исправляется непараллельность оси уровня производящей цапфъ, то, послѣ исправленія вліянія коничности трубы, не будетъ существовать параллельности оси уровня къ производящей трубы, а потому трубу нельзя будетъ перекладывать въ обоймицахъ, и, слѣдовательно, ее всегда надо класть однимъ концомъ въ одну и ту же обоймицу.

Дѣйствительно, изъ чертежа 395 видно, что визирная ось можетъ быть параллельна оси уровня, хотя ось уровня и не параллельна производящей, и труба конична. Но если такую трубу переложить въ обоймицахъ, причемъ объективное ея колѣно (черт. 395), находившееся на 2-й обоймицѣ, ляжетъ на 1-й обоймицѣ, то визирная ось не будетъ параллельна оси уровня (черт. 396).

Подобнымъ образомъ, исправленіе коничной трубы можно произвести винтами при сѣткѣ, т. е. исправить не коничность, а сдѣлать визирную ось параллельною оси уровня. Но очевидно, что послѣ такого исправленія трубу нельзя уже поворачивать въ обоймицахъ на 180°

около ея геометрической оси, потому что послѣ такого поворота визирная ось вновь будетъ непараллельна оси уровня.

Исправленія ошибки отъ коничности трубы лучше вовсе не дѣлать описанными сейчасъ способами, а чтобы избѣжать вліянія ея, надо всегда ставить нивеллиръ на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ,— тогда, очевидно, погрѣшности будутъ одинаковыя въ чтеніи обѣихъ



Черт. 396.

реекъ, и, слѣдовательно, при вычитаніи одного показанія изъ другого все же получится вѣрная разность высотъ точекъ.

304. Какъ узнать, находится ли ось уровня и ось геометрическая трубы въ одной плоскости. Чтобы покончить съ повѣрками нивеллировъ, надо сказать еще объ одной повѣркѣ ихъ,—когда уровень прикрѣпленъ къ трубѣ, и труба перекладывается въ обоймицахъ и можетъ вращаться около своей геометрической оси въ обоймицахъ на 360° (черт. 384).

Въ такихъ нивеллирахъ надо еще вывѣрить—совпадаютъ ли ось уровня и ось геометрическая трубы въ одну отвѣсную плоскость; если существуетъ несовпаденіе оси уровня и геометрической оси трубы въ одну плоскость, то, при вращеніи трубы въ обоймицахъ около геометрической оси трубы, ось уровня описываетъ двойной конусъ, какъ производящая этого конуса. Поэтому, если ось уровня горизонтальна, а трубу повернуть немного около ея геометрической оси, то одинъ конецъ оси уровня подымется надъ горизонтомъ, а другой опустится, и, слѣдовательно, пузырекъ уровня отойдетъ отъ середины.

При поворачиваніи же трубы въ другую сторону, будетъ поды-

маться противоположный конецъ оси уровня, и, слѣдовательно, пузырекъ отойдетъ въ противоположную сторону.

Такимъ образомъ, чтобы открыть, совпадаетъ ли ось уровня съ геометрическою осью трубы въ одну плоскость, необходимо повернуть немного трубу въ одну, потомъ въ другую сторону около геометрической оси; если при этомъ пузырекъ останется на мѣстѣ, то это укажетъ, что сказанныя оси совпадаютъ въ одну плоскость. Если же пузырекъ отходитъ то въ одну сторону, то въ другую, то это будетъ означать, что ось уровня и геометрическая ось трубы не составляютъ одной плоскости, а лежатъ въ косой плоскости. Исправленіе производится боковыми винтами при уровнѣ.

Исправленіе это надо сдѣлать прежде нежели вывѣрить—параллельна ли ось уровня производящей цапфъ, по слѣдующей причинѣ. При вывѣркѣ параллельности оси уровня производящей цапфъ, трубу, какъ извѣстно, надо перекладывать въ обоймицахъ; при этомъ уровень можно положить не по тому направленію, по какому онъ лежалъ до перекладыванія, и если ось уровня и геометрическая ось трубы не лежатъ въ одной плоскости, то пузырекъ уровня можетъ отойти отъ середины не вслѣдствіе непараллельности оси уровня производящей цапфъ, а вслѣдствіе того, что ось уровня и геометрическая ось трубы не лежатъ въ одной плоскости.

Если труба можетъ вращаться около геометрической оси только на 180°, т. е. при перекладываніи въ обоймицахъ ось уровня можетъ быть положена по прежнему направленію, то дѣлать этой повѣрки нѣтъ надобности.

Въ нивеллирахъ съ перекладными уровнями иногда имѣются боковые винты, напримѣръ, на чертежѣ 377-мъ эти винты означены буквами λ, λ; они служатъ также для исправленія несовпаденія оси уровня и геометрической оси трубы въ одну плоскость.

305. Общія замѣчанія о повѣркахъ глухихъ нивеллировъ и нивеллировъ съ перекладными трубами. Изъ всего изложеннаго въ главѣ XXVIII о повѣркахъ нивеллировъ видно, что вліяніе невѣрности нивеллировъ отъ непараллельности оси уровня визирной оси можетъ быть удалено постановкою нивеллира на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ и, кромѣ того, въ нивеллирахъ съ перекладными трубами 4-мя чтеніями на каждой рейкѣ, при различныхъ положе-

ніяхъ трубы, именно при положеніи окулярнаго колѣна на 1-й обоймицѣ, двумя чтеніями, до поворота и послѣ поворота трубы около ея геометрической оси, и двумя такими же чтеніями при положеніи окулярнаго колѣна на второй обоймицѣ. Средняя ариѳметическая изъ этихъ 4-хъ показаній удалитъ коллимаціонную ошибку и непараллельность оси уровня производящей цапфъ. Поэтому, разъ вывѣренъ нивеллиръ, и грубыя его ошибки удалены, надо заботиться лишь о томъ, чтобы ставить его на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ (§ 278) и на всякой стоянкѣ провѣрять, перпендикулярна ли ось уровня къ вертикальной оси вращенія.

Если же, по какимъ-либо причинамъ, нивеллиръ на равныхъ разстояніяхъ отъ реекъ ставить нельзя, то необходимо сдѣлать всѣ повѣрки, а вліяніе коничности вводить въ вычисленіе (§ 295).

306. Повѣрка нивеллиръ-теодолита. Въ нивеллирѣ-теодолитѣ точно такъ же, какъ и въ другихъ нивеллирахъ, *ось уровня должна быть перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія нивеллира и параллельна визирной оси трубы.*

Повѣрка этихъ условій производится совершенно такъ же, какъ и въ другихъ нивеллирахъ, въ зависимости отъ того, наглухо ли закрѣплена труба въ обоймицахъ, или она перекладывается въ нихъ, прикрѣпленъ ли уровень къ трубѣ, или онъ съемный. Но, начиная повѣрять нивеллиръ-теодолитъ, необходимо предварительно привести въ совпаденіе нули секторовъ или одного сектора съ нулями ихъ алидады и въ этомъ положеніи закрѣпить ихъ зажимательнымъ винтомъ.

307. Сводъ всѣхъ повѣрокъ въ различныхъ нивеллирахъ въ одну таблицу. Для облегченія запоминанія повѣрокъ нивеллировъ, все сказанное о нихъ сведемъ въ одну таблицу. При этомъ надо замѣтить, что повѣрки слѣдуетъ производить въ различныхъ нивеллирахъ въ томъ порядкѣ, въ какомъ онѣ указаны въ этой таблицѣ, иначе придется одну и ту же повѣрку повторять нѣсколько разъ. Въ таблицѣ одинаковые нумера во всѣхъ графахъ означаютъ повѣрки, соотвѣтствующія нумерамъ ихъ въ 1-й графѣ. Порядокъ же повѣрокъ для разныхъ нивеллировъ различенъ, и именно таковъ, въ какомъ порядкѣ стоятъ цифры въ каждой графѣ.

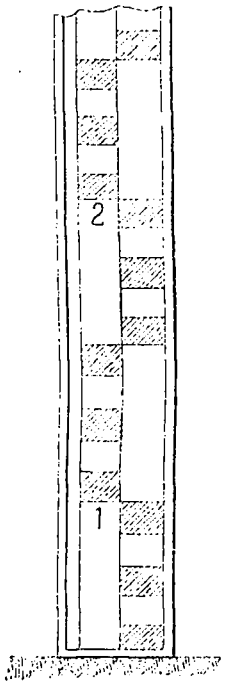
Нивеллиры съ перекладными трубами,			Глухіе нивеллиры.	
съ уровнемъ при трубѣ,		съ уровнемъ, прикрѣпленнымъ къ обоймицамъ или къ коромыслу, поддерживающему обоймицы.	съ уровнемъ, прикрѣпленнымъ къ трубѣ.	съ уровнемъ, прикрѣпленнымъ къ обоймицамъ или къ подставкѣ, поддерживающей обоймицы.
прикрѣпленнымъ къ трубѣ.	перекладываемымъ на трубѣ.			
1) Ось уровня и ось геометрическая трубы должны лежать въ одной плоскости или, другими словами, не должны составлять косой плоскости. Исправленіе производится боковыми винтами уровня. 2) Ось уровня должна быть параллельна производящей цапфъ. Исправленіе на половину отклоненія производится вертикальнымъ винтомъ уровня. 3) Ось уровня должна быть перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія. Исправленіе на половину отклоненія производится винтомъ при одной обоймицѣ. 4) Центръ сѣтки долженъ лежать на геометрической оси трубы. Исправленіе производится, на полуразность чтеній по рейкѣ, винтиками сѣтки. 5) Труба должна быть цилиндромъ.	1) 2) 3) 4) 5)	3) 2) 4) 5)	3) Исправленіе производится винтомъ при обоймицѣ. 5) Исправленіе производится винтомъ при уровнѣ, а затѣмъ вновь повторяется повѣрка 3-я. Если же винта при обоймицѣ нѣтъ, то: 3) исправляется—винтомъ при уровнѣ. 5) исправляется—винтами при сѣткѣ трубы.	3) Исправленіе производится винтомъ при уровнѣ. 5) Исправленіе производится винтомъ при обоймицѣ.

308. О рейкахъ, употребляемыхъ при нивеллированіи. На чертежахъ 397 и 398 изображены рейки, очень часто употребляемыя у насъ въ Россіи при обыкновенныхъ, мало точныхъ нивеллировкахъ; раздѣлены онѣ бываютъ на десятыя и сотыя части сажени, цифры ставятся или противъ конца десятыхъ частей рейки, или въ серединѣ ихъ. На это всегда надо обращать вниманіе, иначе легко ошибиться въ чтеніи на десятую сажени.

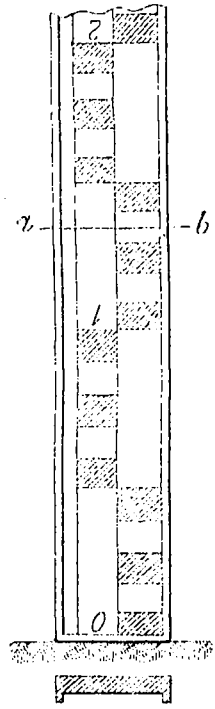
Рейки эти обыкновенно дѣлаются складными, послѣ того когда рейка раздвинута, она имѣетъ длину двѣ сажени. Такая раздвижная рейка, когда она установлена, обыкновенно колеблется въ своихъ верхнихъ частяхъ, кромѣ того, въ рѣдкихъ случаяхъ обѣ ея части составляютъ одну плоскость.

Иногда употребляютъ рейки съ цѣлями, передвигаемыми по длинѣ рейки и закрѣпляемыми на ней особымъ винтомъ (черт. 399). Цѣли раскрашиваютъ въ черную, красную и бѣлую краски и придаютъ имъ различный видъ, какъ показано на чертежѣ 400-мъ.

На чертежѣ 401-мъ изображена рейка, изготовленная въ извѣстной механической мастерской Керна въ Арау, въ Швейцаріи, для нивеллировокъ, производимыхъ военно-топографическимъ отдѣломъ главнаго штаба. Она имѣетъ видъ параллелепипеда, сдѣлан-



Черт. 397.



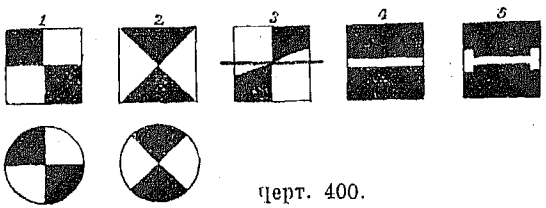
Черт. 398.



Черт. 399.

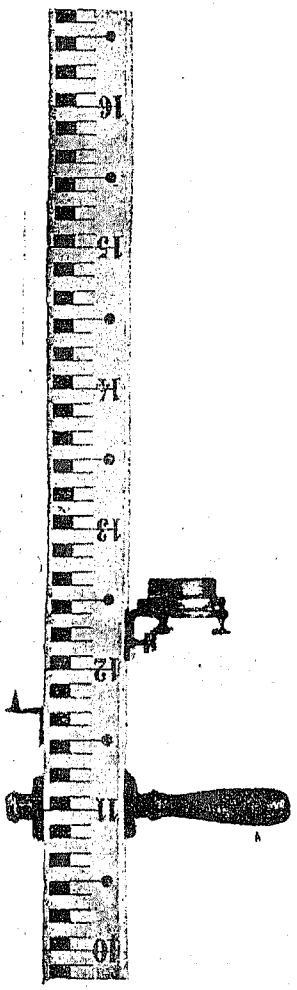
наго изъ одного куска сухого сосноваго дерева, длиною въ 3 метра, шириною 6 сантиметровъ и толщиною 4 сант. Для предохраненія отъ сырости, она покрыта бѣлою масляною краскою. На обѣихъ противоположныхъ широкихъ сторонахъ рейки назначены, посредствомъ дѣлительной машины, дѣленія, а именно: сторона рейки, обозначенная буквою M, раздѣлена на 300 сантиметровъ, на противоположной же сторонѣ, обозначенной буквою R, дѣленія сдѣланы

въ $^1/_{200}$ долю сажени, такъ что 280 дѣленій на сторонѣ *R* почти равны 300 дѣленіямъ на сторонѣ *M*. Метрическая скала изображена черною, а саженная красною красками на бѣломъ фонѣ. Надписи на рейкахъ сдѣланы черезъ каждыя 10 дѣленій; на черныхъ сторонахъ реекъ каждое дѣленіе равно сантиметру, а на красныхъ $^1/_{200}$ доли сажени. При наблюденіяхъ, десятыя доли дѣленій, т. е. миллиметры по скалѣ *M* и двухтысячныя доли сажени по скалѣ *R*, оцѣниваются на глазъ. Нижнія оконечности реекъ снабжены мѣдными наконечниками съ полушаровыми углубленіями для установки



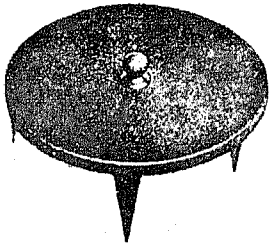
черт. 400.

рейки на желѣзномъ башмакѣ. Примѣрно на одной трети высоты, рейка снабжена рукояткою; нѣсколько выше рукоятки прикрѣпленъ посредствомъ винтовъ круглый уровень, предназначаемый для вертикальной установки рейки. Уровень этотъ повѣряется посредствомъ небольшого отвѣса, которымъ снабжена рейка. При перевозкѣ рейки укладываются въ деревянные ящики. При нивеллировкѣ нашихъ главныхъ рѣкъ, произведенной министерствомъ путей сообщенія, употреблялись подобныя же рейки, выписанныя отъ Керна, имѣвшія дѣленія лишь съ одной стороны въ $^1/_{200}$ сажени. Рейки эти устанавливались на особые башмаки (черт. 402) изъ кованнаго желѣза, слѣдующихъ размѣровъ: діаметръ круга 20,2 сантим., толщина круга 1,2 сант., длина ножекъ 9,2 сант. При нивеллированіи надо обращать вниманіе на то, чтобы получать отсчеты на рейкѣ при отвѣсномъ ихъ



Черт. 401.

положеніи, а не наклонномъ; поэтому, конечно, лучше всего имѣть рейки съ треногами и уровнями, но такъ какъ установка такихъ реекъ требуетъ лишняго времени, то, при нивеллировкахъ съ цѣлями инженерными, а не научными, такія рейки употребляютъ рѣдко. Во всякомъ случаѣ, реечниковъ надо обучить какъ можно тщательнѣе держать рейки въ отвѣсномъ положеніи. Нивеллировщикъ же никогда не долженъ визировать на самую верхушку рейки, такъ какъ она всегда сильно колеблется, а при наклонномъ положеніи рейки показаніе, прочтенное на верхней части ея, будетъ болѣе ошибочно, чѣмъ прочтенное на нижней части. Многіе думаютъ также, что ошибка отъ рефракціи не одинакова для чтеній на одной рейкѣ по нижней ея части, а на другой по верхней ея части, отъ разности преломленія въ различныхъ слояхъ атмосферы. Въ всякомъ случаѣ, указанную выше предосторожность надо соблюдать для точекъ связывающихъ, т. е. брать связывающія точки такъ, чтобы разность высотъ ихъ не была близка къ двумъ саженямъ.



Черт. 402.

При производствѣ нивеллированія на значительныхъ разстояніяхъ, надо обращать вниманіе на длину рейки и отъ времени до времени провѣрять ея длину, сравнивая съ металлической рулеткой, а въ началѣ и въ концѣ работы — съ нормальной мѣрой. Для удобства сравненія на иныхъ рейкахъ вдѣлываются, чрезъ каждый метръ, металлическіе кружечки съ горизонтальною чертою.

309. Марки, употребляемыя при точныхъ нивеллировкахъ. Чтобы обозначить точки въ мѣстахъ, гдѣ производится нивеллировка, высоты которыхъ опредѣлены, оставляютъ въ этихъ точкахъ особаго рода знаки, называемые *марками*. Марки, употребляемыя, напр., при точныхъ нивеллировкахъ военно-топографическаго отдѣла, отливаются изъ чугуна и состоятъ изъ небольшого диска (черт. 403), снабженнаго въ центрѣ хвостомъ, ось котораго перпендикулярна къ плоскости диска. Хвостъ имѣетъ форму четыреугольной пирамиды, съуживающейся къ диску. Этимъ хвостомъ марки укрѣпляются на цементѣ въ стѣнахъ каменныхъ сооруженій, такимъ образомъ, что хвостъ закладывается горизонтально, а дискъ остается въ верти-

кальномъ положеніи. Марки дѣлаютъ слѣдующихъ размѣровъ: діаметръ диска около 14 сант., длина хвоста 8 с., толщина диска 0,6 сант. Вѣсъ марки около 2-хъ фунтовъ.

На наружной сторонѣ диска марки сдѣланъ, въ видѣ выступа, кружекъ, въ центрѣ котораго обозначена *точка*, изображающая *центръ марки*. Опредѣленныя нивеллировкою высоты марокъ относятся къ ихъ центрамъ. Напримѣръ на маркахъ сдѣлана надпись „Нивеллировка Главнаго Штаба“ и изображенъ годъ производства работъ. Подобныя марки употреблялись у насъ въ Россіи и при нивеллировкахъ другихъ вѣдомствъ.



Черт. 403.

Превышеніе центровъ марокъ надъ инструментомъ опредѣляется непосредственнымъ измѣреніемъ разстоянія отъ центра марки до проекціи визирной оси инструмента на вертикальной стѣнѣ сооруженія.

Глава XXIX.

ПРОИЗВОДСТВО ГЕОМЕТРИЧЕСКАГО НИВЕЛЛИРОВАНІЯ.

310. Производство нивеллировки на короткихъ разстояніяхъ. Если нивеллировка производится на небольшомъ разстояніи и нивеллиръ устанавливаютъ между двумя смежными точками, отстоящими другъ отъ друга, напримѣръ, на 50 саженъ, то запись нивеллировки и вычисленіе отмѣтокъ можетъ вестись слѣдующимъ образомъ: къ отмѣткѣ задней точки прибавляется отсчетъ на заднюю рейку и вычитается отсчетъ на переднюю рейку. Разность будетъ отмѣткой передней точки. И, слѣдовательно, веденіе нивеллировочнаго журнала будетъ таково:

Отмѣтка 1-й точки	100 с.
Отсчетъ на заднюю рейку . . .	+0,745
	100,745
Отсчетъ на переднюю рейку . .	—0,240
Отмѣтка 2-й точки	100,505

Задній взглядъ	+0,947
	101,442
Передній взглядъ	—1,873
Отмѣтка 3-й точки	99,569

и т. д.

Когда линія пронивеллирована, профиль наносятъ на клѣтчатую бумагу, причемъ для горизонтальныхъ и вертикальныхъ разстояній берутъ различные масштабы, — такъ, для горизонтальныхъ берутъ 50 саж. въ $^1/_{100}$ сажени, а для вертикальныхъ 1 сажень въ $^1/_{100}$ сажени, иногда и 10 саж. въ $^1/_{100}$ сажени, если мѣстность ровная. Дѣлается это измѣненіе масштабовъ съ цѣлью представить изгибы мѣстности болѣе рельефными.

Когда нивеллировка исполняется съ цѣлью проектированія дороги или канала, то, кромѣ продольной нивеллировки, дѣлается также поперечная, чрезъ опредѣленные промежутки, вполнѣ зависящіе отъ характера мѣстности. При однообразной мѣстности она берется рѣже, а въ пересѣченной и разнообразной чаще. Разстояніе между поперечными профилями, кромѣ того, зависитъ отъ желаемой точности въ проектѣ. Поперечную нивеллировку дѣлаетъ обыкновенно отдѣльное лицо, причемъ, если разстоянія отъ магистральной линіи берутся небольшія, то ее можно производить и ватерпасомъ.

Часто нивеллировку производятъ на участкахъ довольно широкихъ; въ такихъ случаяхъ, отъ главной магистральной линіи провѣшиваютъ подъ прямыми или острыми углами, чрезъ опредѣленные промежутки, отдѣльныя линіи и затѣмъ каждую изъ нихъ нивеллируютъ точно такъ же, какъ и главную магистраль, относя всю нивеллировку къ главной магистрали.

311. Производство нивеллированія на большихъ протяженіяхъ. При производствѣ нивеллировки по какому-нибудь направленію, прежде всего провѣшиваютъ линію по этому направленію, измѣряютъ ее и, чрезъ каждыя, напримѣръ, 50 саженъ, забиваютъ колышки вровень съ землею, для того чтобы дать мѣсто для постановки рейки; около такого колышка забиваютъ другой съ нумеромъ. Колышки эти называются *пикетами*. Нивеллиръ устанавливается или между двумя смежными пикетами, или же противъ одного изъ ни-

кетовъ, т. е. разстояніе нивеллира отъ реекъ берется или около 25 саженъ, или около 50. Болѣе 50 не слѣдуетъ брать, если не желаютъ получать большихъ ошибокъ при визированіи. Если между двумя пикетами будутъ точки очень повышенныя или понпженныя, то и на нихъ забиваютъ два такихъ же кола, какъ и пикетные, причемъ на большемъ колѣ надписывается нумеръ предыдущаго пикета плюсъ число саженъ отъ него до этой точки. Подобныя точки называются *промежуточными*, въ отличіе отъ тѣхъ точекъ, между которыми ставится нивеллиръ на равныхъ разстояніяхъ; эти послѣднія точки называются *связывающими*.

Пикеты обозначаются нумерами по порядку, но могутъ быть обозначаемы и такимъ образомъ $^0/_0$, $^0/_1$, $^0/_2$.... $^2/_4$, $^2/_5$.... и т. д. При такомъ обозначеніи верхнія цифры выражаютъ число пройденныхъ верстъ, а нижнія число пикетовъ слѣдующей версты; промежуточныя точки означаются, напримѣръ, такъ $^3/_7+40$; это значитъ, что точка находится въ 40 саженяхъ отъ 7-го пикета 4-й версты.

При изысканіяхъ подъ дороги или каналы, разстоянія между пикетами дѣлаютъ всегда равными 50 саженямъ, что облегчаетъ впослѣдствіи вычисленіе земляныхъ работъ.

Чѣмъ меньше разстояніе нивеллира до рейки, тѣмъ ошибка въ чтеніи меньше; но ставить нивеллиръ въ большомъ числѣ стоянокъ довольно затруднительно, поэтому ставятъ его на 50, на 75, а иногда и на 100 саженъ отъ реекъ, что, впрочемъ, зависитъ отъ увеличенія трубы. Въ мѣстности, пересѣченной или имѣющей много впадинъ и возвышенностей, приходится ставить нивеллиръ на значительно меньшихъ разстояніяхъ, но менѣе чѣмъ на 8 саженъ отъ рейки ставить нивеллиръ не слѣдуетъ, такъ какъ при меньшихъ разстояніяхъ изображеніе рейки дѣлается неяснымъ, и въ трубѣ видна только небольшая часть рейки, вслѣдствіе чего легко можно сдѣлать ошибку въ чтеніи на нѣсколько дѣленій.

Установивъ нивеллиръ надлежащимъ образомъ въ горизонтальномъ положеніи *на провѣшенной линіи или, безразлично, въ сторонѣ отъ нея*, между рейками, по возможности, на равныхъ отъ нихъ разстояніяхъ, читаютъ показаніе горизонтальнаго волоска на задней рейкѣ, потомъ на передней, полученныя чтенія заносятъ въ журналъ нивеллировки въ соотвѣтствующія графы.

При этомъ слѣдуютъ такому правилу, чтобы всѣ числа, записан-

ныя въ одну горизонтальную графу, относились къ пикету, поставленному въ этой же горизонтальной графѣ.

Если показаніе передней рейки больше показанія задней, то передняя точка ниже задней, а потому разность показаній надо вычесть изъ отмѣтки задней точки. Если показаніе передней рейки меньше показанія задней, то передняя точка выше задней, и разность чтеній на рейкахъ надо прибавить къ отмѣткѣ задней точки. Разность между показаніями заносятъ въ графу повышеній или пониженій журнала нивеллировки, а затѣмъ вычисляютъ отмѣтку передней точки, прибавляя повышеніе или вычитая пониженіе изъ отмѣтки данной точки. Отмѣтка начальной точки можетъ быть или условною, или отнесенною къ горизонту моря, въ какомъ либо данномъ его мѣстѣ и въ какое либо опредѣленное время. Сообразно съ этимъ, отмѣтка заносится въ соотвѣтствующую графу.

Вычисливъ отмѣтку передней точки и записавъ ее въ журналъ, посылаютъ задняго реечника поставить рейку на третью точку, а передняго реечника оставляютъ на той же самой, только рейку онъ долженъ перевернуть лицевой стороной по направленію увеличивающихся пикетовъ; нивеллиръ устанавливаютъ между двумя рейками и вновь визируютъ на рейки, читаютъ показанія на горизонтальномъ волоскѣ, записываютъ эти показанія въ журналъ и вычисляютъ отмѣтки точекъ.

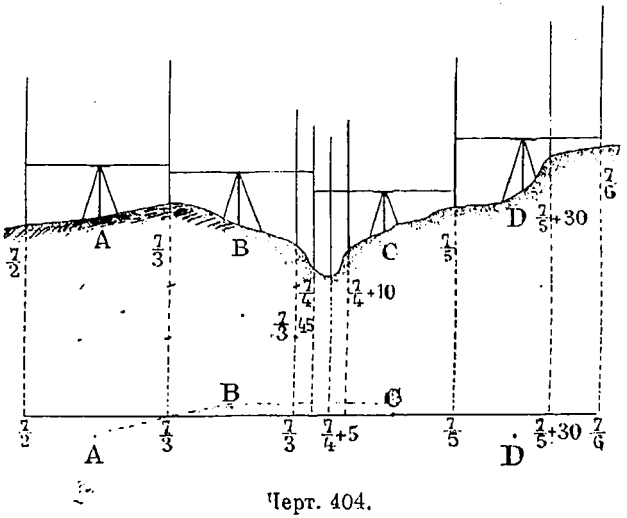
Если между 2-ю и 3-ею точкою имѣется промежуточная точка, то на нее реечникъ устанавливаетъ рейку при переходѣ со 2-й точки на 4-ю. Прочтенное показаніе на рейкѣ, стоявшей на промежуточной точкѣ, записывается въ графу отсчетовъ впередъ или въ особую графу для промежуточныхъ точекъ. Отмѣтка промежуточной точки вычисляется на основаніи повышенія или пониженія относительно точки 2-й и отмѣтки этой послѣдней.

Положимъ, надо пронивеллировать линію, имѣющую профиль, изображенный на чертежѣ 404-мъ. Журналъ нивеллировки въ этомъ случаѣ ведется такъ, какъ показано на страницѣ 480-ой.

Положимъ, отмѣтка пикета $^7/_2$ уже найдена и равна 99,745, тогда, установивъ нивеллиръ, по возможности, на равныхъ разстояніяхъ между пикетами $^7/_2$ и $^7/_3$, напримѣръ, въ точкѣ A, и провизировавъ на рейки, стоящія на этихъ пикетахъ, положимъ, получили 0^c,680 и 0^c,490. Записываютъ противъ $^7/_2$, — въ графу 2-ю „назадъ“, для краткости, не 0^c,680, а просто 680. Въ 3-ю вертикальную графу

противъ $^{7}/_{3}$—490, и такъ какъ на передней рейкѣ отсчетъ меньше, то передняя точка выше задней на разность 680—490; эту разность 190 заносятъ въ графу [illegible]-ую [illegible], прибавляютъ ее къ отмѣткѣ пикета $^{7}/_{2}$ и получаютъ 95,933.

Далѣе, установивъ нивеллиръ между $^{7}/_{3}$ и $^{7}/_{4}$, провизировавъ на рейки, стоящія на нихъ, и записавъ показанія на рейкахъ въ тысячныхъ доляхъ „назадъ“ противъ $^{7}/_{3}$ и „впередъ“ противъ $^{7}/_{4}$, заднято реечника посылаютъ поставить рейку на промежуточной точкѣ $^{7}/_{3}+45$, показаніе на рейкѣ въ этой точкѣ записываютъ въ графу „впередъ“. Подобнымъ образомъ, въ дальнѣйшей нивеллировкѣ свя-



Черт. 404.

зывающими пикетами будутъ $^{7}/_{4}$ и $^{7}/_{5}$, а точки $^{7}/_{4}+5$ и $^{7}/_{4}+10$ будутъ точками промежуточными. Отсчетъ на рейку $^{7}/_{4}$, равный 850, ставятъ въ графу „назадъ“, а отсчетъ на $^{7}/_{5}$, равный 370, въ графу „впередъ“; въ эту же послѣднюю графу записываютъ и показанія на рейку, стоявшую въ точкахъ $^{7}/_{4}+5$ и $^{7}/_{4}+10$, установленную заднимъ реечникомъ.

Окончивъ нивеллировку между точками $^{7}/_{4}$ и $^{7}/_{5}$, нивеллиръ ставятъ между точками $^{7}/_{5}$ и $^{7}/_{6}$; эти точки будутъ связывающими, а точка $^{7}/_{5}+30$—промежуточная. Отсчетъ на рейкѣ, стоящей въ $^{7}/_{5}$, записывается въ графу „назадъ“, а отсчетъ на рейкѣ, стоящей въ $^{7}/_{6}$, въ графу „впередъ“. Послѣ этого командуютъ, чтобы заднiй реечникъ переходилъ на промежуточную точку $^{7}/_{5}+30$, и отсчетъ на эту рейку

записываютъ въ графу „впередъ“, а не „назадъ“. Вообще, въ графу „назадъ“ записываются показанія на точки, связывающія нивеллировку. Въ графу же „впередъ“ заносятся показанія не только на связывающія точки, но также и на всѣ промежуточныя.

№№ пикетовъ.	Отсчеты на рейкахъ. Назадъ.	Впередъ.	+ повышеніе.	— пониженіе.	Условныя отмѣтки.	Отмѣтки относительно горизонта моря.	Примѣчанія.
$^7/_2$	680				95,743	79,76	Между пикетами $^2/_7$ и $^3/_7$ вправо мѣстность понижается, влѣво повышается. Между пикетами $^3/_4$ и $^5/_6$ и вправо, и влѣво мѣстность понижается.
$^7/_3$	570	490	190		95,933	79,95	
$^7/_3$+45		830		260	95,673	80,69	
$^7/_4$	850	960		390	95,543	80,56	
$^7/_4$+5		900		50	95,493	79,51	
$^7/_4$+10		800	50		95,593	79,61	
$^7/_5$	800	370	480		96,023	79,04	
$^7/_5$+30		170	630		96,653	80,67	
$^7/_6$		100	700		96,723	80,74	
	2900	1920 2900 980	1370	390 1370 980	96,723 95,743 980		

Между пикетами $^7/_2$ и $^7/_4$ имѣется промежуточная точка $^7/_3$+48; положимъ, она находится на направленіи прежде сдѣланной нивеллировки, отнесенной къ горизонту моря, такъ что отмѣтка ея, относительно моря, уже извѣстна и равна 80^c,69. Зная это и зная условныя отмѣтки всѣхъ точекъ вновь исполняемой нивеллировки, можно перечислить всѣ условныя отмѣтки на отмѣтки относительно горизонта моря: стоитъ только изъ всѣхъ отмѣтокъ вычитать разность между условною отмѣткою и отмѣткою относительно горизонта моря точки $^7/_3$+45, то есть 15^c,983. Такимъ образомъ, чтобы перейти отъ условныхъ отмѣтокъ къ отмѣткамъ относительно горизонта моря, надо вычитать 15^c,983 изъ всѣхъ условныхъ отмѣтокъ. Это и сдѣлано въ журналѣ.

Въ графѣ примѣчаній описывается подробно положеніе марокъ и реперовъ, т. е. точекъ постоянныхъ, взятыхъ на какихъ-либо сооруженіяхъ, дѣлается запись о покатостяхъ мѣстности отъ нивеллируемой линіи, что бываетъ очень полезно при выборѣ направленія дороги или канала,—когда послѣ нивеллировки окажется, что, для уменьшенія земляныхъ работъ, надо измѣнить выбранное направленіе; въ этомъ случаѣ записи подобнаго рода могутъ облегчить выборъ новой линіи.

Во время записей въ полѣ не слѣдуетъ употреблять резину. Если же какая-нибудь запись сдѣлана ошибочно, то ее слѣдуетъ вычеркивать и записывать вѣрную.

По окончаніи записей на одной страницѣ журнала слѣдуетъ дѣлать повѣрку вычисленій; для этого сначала легкимъ карандашомъ зачеркиваютъ показанія на промежуточныя точки, складываютъ отдѣльно показанія на связывающія точки въ графѣ „назадъ“, отсчеты „впередъ“ также отдѣльно и меньшую сумму вычитаютъ изъ большей; такъ, въ нашемъ журналѣ эта разность оказывается равной 980. Въ графахъ пониженія и повышенія также зачеркиваютъ показанія на точки промежуточныя, а записи на связывающія точки въ каждой графѣ складываются, и берутся разности ихъ суммъ. Кромѣ того, берутъ разность между отмѣтками первой и послѣдней связывающей точки той же страницы. Если записи и вычисленія произведены вѣрно, т. е. въ графу повышеній не записано того, что слѣдовало бы записать въ графу пониженій, или не записано въ графу „назадъ“, что слѣдовало бы записать въ графу „впередъ“, то всѣ три разности на одной страницѣ будутъ одинаковыя. Если три указанныя разности получатся различными, то надо сдѣлать вычисленія вновь, и если ошибка окажется въ записи, то запись, сдѣланная карандашомъ, зачеркивается и пишется вновь. Если же разности остаются различными, то это показываетъ, что гдѣ-нибудь поставлена запись не на своемъ мѣстѣ.

312. Производство нивеллировки болѣе точной. Когда надо нивеллировать болѣе точно, то записываютъ показанія на рейкахъ не при одномъ положеніи трубы нивеллира, а при четырехъ ея положеніяхъ, поворачивая ее въ обоймицахъ около геометрической оси трубы на 180°, перекладывая ее въ обоймицахъ и поворачивая верхнюю часть инструмента около вертикальной оси вращенія всего инстру-

мента на 180°. При каждомъ новомъ положеніи трубы дѣлаютъ отсчетъ на рейкѣ, и такимъ образомъ получаютъ на каждой рейкѣ четыре показанія, записываемыхъ въ журналъ. Журналъ ведется такъ, какъ показано ниже, т. е. въ графахъ „отсчеты“ имѣется четыре столбца, два столбца для прочтенныхъ показаній на рейкѣ и два для среднихъ изъ нихъ. Кромѣ того, для отсчетовъ на промежуточныя точки имѣется особая графа.

№№ пикетовъ.	Отсчеты на рейки связывающихъ точекъ.				Отсчеты на рейки промежуточныхъ точекъ.	+ повышеніе.	— пониженіе.	Условныя отмѣтки.	Отмѣтки относительно горизонта моря.	Примѣчанія.
	Прочтенные.		Средніе.							
	Назадъ.	Впередъ.	Назадъ.	Впередъ.						
$^{11}/_{5}$	240 238 244 248		243						75,40	
$^{11}/_{5}$ +16					830		587		74,817	
$^{11}/_{5}$ +20					250		7		75,393	
$^{11}/_{5}$		932 920 936 933		932			689		74,711	

Если нивеллиръ имѣетъ три горизонтальныхъ волоска и уровень очень чувствительный, напр. съ цѣной одного дѣленія не болѣе 5 секундъ, то нивеллировочный журналъ ведется, какъ показано на страницѣ 483-ей.

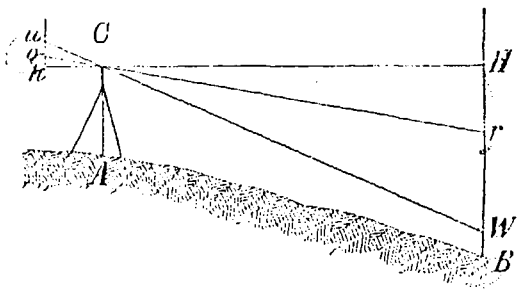
Именно, дѣлаются чтенія на рейкахъ и записи по всѣмъ тремъ волоскамъ, если только всѣ волоски покрываютъ рейку; этимъ достигается повѣрка чтенія по рейкѣ. Дѣйствительно, если чтенія сдѣланы вѣрно, то показаніе средняго волоска должно быть равно полусуммѣ показаній крайнихъ волосковъ. Изъ трехъ показаній волосковъ берется средняя ариѳметическая и записывается въ соотвѣтствующую графу. Чтеніе по тремъ волоскамъ даетъ возможность также опредѣлять разстоянія отъ нивеллира до реекъ. Трубу въ этомъ случаѣ не перекладываютъ и не поворачиваютъ около оси.

№№ реперов.	Разстоянія между точками.	Задніе отсчеты. Показаніе уровня. Окулярный конецъ	Задніе отсчеты. Показаніе уровня. Объективный конецъ	Задніе отсчеты. Поправки отъ уровня	Задніе отсчеты. Показаніе рейки по волоскамъ. По верхнему.	Задніе отсчеты. Показаніе рейки по волоскамъ. По среднему.	Задніе отсчеты. Показаніе рейки по волоскамъ. По нижнему.	Переднie отсчеты. Показаніе уровня. Окулярный конецъ	Переднie отсчеты. Показаніе уровня. Объективный конецъ	Переднie отсчеты. Поправки отъ уровня	Переднie отсчеты. Показаніе рейки по волоскамъ. По верхнему.	Переднie отсчеты. Показаніе рейки по волоскамъ. По среднему.	Переднie отсчеты. Показаніе рейки по волоскамъ. По нижнему.	Среднее изъ показаній по тремъ волоскамъ для главн точекъ. Назадъ.	Среднее изъ показаній по тремъ волоскамъ для главн точекъ. Впередъ.	— пониженіе.	+ повышеніе.	Условныя отмѣтки.	Отмѣтки относительно горизонта моря.	Примѣчанія.
R № 9	—	4,5	4,5	—	149	233	323	—	—	—	—	—	—	233	—	—	—	16,619	16,617	3 Августа. Реперъ № 9 на цоколѣ Костычевской колокольни у входныхъ дверей. Мѣсто рейки обозначено центромъ выдолбленнаго кружка.
a	—	5	5	—	368	656	944	4	5	—	374	465	557	656	465	232	—	16,387	16,385	
b	—	3,5	3,5	—	254	292	330	6	4,5	—	750	1039	1330	292	1039	383	—	16,004	16,002	
c	—	4	3	—	0	23	45	3	4	—	1159	1188	1207	23	1188	896	—	15,108	15,106	
d	—	3	2	—	—	7	22	3,5	4,5	—	1346	1369	1391	7	1369	1346	—	13,762	13,760	
e	—	4	4,25	—	25	47	68	3	2	—	1222	1247	1272	47	1247	1240	—	12,522	12,520	
f	—	4,5	4,5	—	107	163	210	4,5	4	—	1321	1350	1379	163	1350	1303	—	11,219	11,217	
g	—	4	5	—	—	13	50	4	5	—	1343	1381	1417	13	1381	1218	—	10,001	9,999	
h	—	4,5	5,5	—	31	59	86	5	4	—	1285	1324	1362	59	1324	1311	—	8,690	8,688	
i	—	5,5	6,5	—	—	17	50	4,5	5,5	—	1357	1378	1409	17	1378	1319	—	7,371	7,369	
k	—	3,5	4,5	—	383	516	646	6,5	5,5	—	1262	1299	1336	516	1299	1282	—	6,089	6,087	
r	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1182	—	—	1182	0666	—	5,423	5,421	
						2026						13222		2026	13,222	11,196				
															13,222				16,617	
															2,026				5,421	
															11,196				11,196	

Передъ каждымъ чтеніемъ по рейкѣ смотрятъ на уровень, и если онъ не находится точно по серединѣ, то дѣлаютъ отсчеты краевъ его, причемъ можно дѣлать на глазъ чтенія до $^1/_4$ дѣленія. Отсчеты эти записываются въ соотвѣтствующія графы для объективнаго конца уровня и для окулярнаго, т. е. для концовъ уровня, обращенныхъ къ окуляру или объективу. Если цѣна одного дѣленія уровня равна 5 секундамъ, и если показанія концовъ уровня не разнятся болѣе чѣмъ на 2 дѣленія, т. е. середина пузырька отстоитъ отъ середины трубки не болѣе какъ на одно дѣленіе, то показаніе реекъ не слѣдуетъ исправлять отъ наклонности уровня, такъ какъ ошибка въ этомъ случаѣ на разстояніяхъ въ 50 саженъ равна лишь 0,001 саж. При большей разности показаній концовъ пузырька уровня, ошибка вычисляется и записывается въ соотвѣтствующую графу съ тѣмъ знакомъ, съ какимъ она получится, а къ среднему ариѳметическому показаній трехъ волосковъ прибавляется эта величина съ тѣмъ знакомъ, какой при ней находится. При этомъ знакъ минусъ приходится ставить въ томъ случаѣ, когда объективный конецъ уровня даетъ большее показаніе, и знакъ плюсъ, когда объективный конецъ даетъ меньшее показаніе, нежели окулярный его конецъ. Остальныя графы описываемаго журнала ведутся такъ же, какъ въ предыдущихъ журналахъ.

313. О нивеллированіи при наклонномъ визированіи. До сихъ поръ мы говорили о способахъ нивеллированія, основанныхъ на горизонтальномъ визированіи. Для главныхъ точекъ нивеллируемой мѣстности эти способы должны всегда исключительно употребляться; но для точекъ побочныхъ можно употреблять въ то же время нивеллированіе, основанное на визированіи наклонномъ, чѣмъ можно избѣгнуть частыхъ установокъ инструмента. Въ этомъ случаѣ нивеллированіе на такія точки всегда производится впередъ. Нивеллированіе при наклонномъ визированіи возможно производить нивеллирами, имѣющими или вертикальный секторъ, или, еще лучше, винтъ Штампфера (черт. 379 и 380). Вращеніемъ винта приподнимается или опускается труба. Когда винтъ совершаетъ полный оборотъ, то онъ приподнимаетъ или опускаетъ связанный съ нимъ индексъ на одно дѣленіе вертикальной шкалы. Части же оборота головки винта измѣряются по другому индексу на верхнемъ кружкѣ, имѣющемъ дѣленія.

Нивеллированіе подобнымъ нивеллиромъ производится такъ. Устанавливается ось уровня нивеллира горизонтально. Дѣлается отсчетъ на винтѣ и на шкалѣ, пусть онъ будетъ равенъ h (черт. 405); затѣмъ, не измѣняя положенія нивеллира, оборотами винта Штампфера направляютъ горизонтальный волосокъ трубы на нѣкоторое дѣленіе рейки, напримѣръ, r; при этомъ отсчетъ на шкалѣ и винтѣ пусть будетъ o. Опускаютъ трубу далѣе до тѣхъ поръ, пока горизонтальный волосокъ не дастъ на рейкѣ напр. показаніе W, и дѣлаютъ по шкалѣ и винту отсчетъ u,—тогда разность отсчетовъ $u-h$ и $o-h$ представитъ опредѣленныя длины шкалы, изъ подобія же треугольниковъ найдемъ:



Черт. 405.

$$\frac{HW}{u-h} = \frac{HC}{hC} \quad \text{и} \quad \frac{Hr}{o-h} = \frac{HC}{hC},$$

отсюда

$$\frac{HW}{u-h} = \frac{Hr}{o-h},$$

или

$$\frac{HW}{HW-Hr} = \frac{u-h}{u-h-o+h},$$

или

$$\frac{HW}{rW} = \frac{u-h}{u-o}$$

и, наконецъ,

$$HW = rW\,\frac{u-h}{u-o}.$$

Такъ какъ u, h и o величины извѣстныя, то $\frac{u-h}{u-o}$ извѣстное отвлеченное число, а потому будетъ извѣстно и HW. Прибавивъ къ этой высотѣ показаніе рейки BW, получимъ HB, и отнявъ отъ HB высоту инструмента, получимъ разность высотъ точекъ A и B.

Нивеллиръ съ винтомъ Штампфера, очевидно, можетъ служить одновременно и для опредѣленія горизонтальнаго разстоянія между точкою стоянія инструмента и рейки; опредѣленіе это дѣлается при помощи тѣхъ же измѣренныхъ величинъ, и что легко вывести изъ чертежа 405-го.

314. Производство точнаго нивеллированія по правиламъ, принятымъ въ нашемъ военно-топографическомъ отдѣлѣ. Нивеллированіе этого рода производится нивеллирами, изображенными на чертежахъ 386-мъ и 387-мъ, и рейками, образецъ которыхъ изображенъ на чертежѣ 401-мъ. Изъ уравненія, выведеннаго въ § 296-мъ,

$$tg\,0 = \frac{[h - h_1] - [h' - h_1']}{\Delta' - \Delta},$$

слѣдуетъ, что для уменьшенія вліянія ошибокъ отсчетовъ въ опредѣленіи $tg\,0$ нужно, чтобы Δ и Δ' имѣли противные знаки, а по абсолютной величинѣ были большіе. Для соблюденія перваго условія дѣлаютъ Δ отрицательнымъ, т. е. становятъ нивеллиръ первый разъ ближе къ задней, а второй разъ ближе къ передней рейкѣ; наибольшая же величина, которую можно придать Δ и Δ', опредѣляется на практикѣ требованіемъ, чтобы, при обѣихъ столикахъ инструмента, можно было дѣлать отсчеты на обѣ рейки, не измѣняя положенія окулярной трубки.

Опредѣленіе $tg\,0$ по формулѣ:

$$tg\,0 = \frac{[h - h_1] - [h' - h_1']}{\Delta' - \Delta}$$

дѣлаютъ сначала по 3 раза въ день. Потомъ, если опытъ ясно указываетъ на постоянство $tg\,0$, то лишь по одному разу въ день. Для этого наблюдатель устанавливаетъ инструментъ не въ срединѣ между рейками, а сначала на 2 сажени ближе къ задней рейкѣ, а потомъ на столько же ближе къ передней; при обѣихъ установкахъ отсчеты на обѣ рейки дѣлаются совершенно подобнымъ же образомъ, какъ изложено выше.

Такъ какъ разность высотъ двухъ точекъ опредѣляется формулой:

$$x = h - h_1 + tg\,0\,(d - d_1),$$

или

$$x = h \mp h_1 + tg\,0\Delta'',$$

то поправка $\Delta'' tg\,0$ вводится въ вычисленіе не для каждаго отдѣльнаго штатива, а прямо въ окончательный результатъ, выражающій превышеніе одной марки надъ другой. Суммируя результаты всѣхъ стоянокъ между двумя марками, получимъ:

$$\Sigma x = \Sigma\,[h - h_1] + tg\,0\,\Sigma\Delta''.$$

Здѣсь вмѣсто $tg\,0$ мы можемъ подставить среднее изъ всѣхъ его опредѣленій въ промежутокъ времени, употребленный на нивеллировку между двумя марками.

Если установка реекъ на равныхъ разстояніяхъ производилась тщательно и уголъ 0 не великъ, то поправочный членъ $tg\,0\Sigma\Delta''$ будетъ ничтоженъ.

При точной нивеллировкѣ марки закладываются въ каменныхъ сооруженіяхъ на цементѣ, на разстояніи 20 — 30 верстъ другъ отъ друга. Высоты ихъ центровъ измѣряются надъ фундаментомъ и надъ поверхностью земли у зданія, величины эти заносятся въ журналъ.

Сдѣлавъ повѣрки нивеллира, нивеллировку исполняютъ въ слѣдующемъ порядкѣ: отмѣривъ шагами отъ задней рейки впередъ разстояніе не болѣе 40 саженъ, производитель работъ устанавливаетъ штативъ съ нивеллиромъ и подъемными винтами приводитъ ось вращенія инструмента въ вертикальное положеніе; затѣмъ наводитъ трубу на заднюю рейку и, замѣтивъ число дѣленій послѣдней, помѣщающееся между крайними нитями, направляетъ трубу на мѣсто, гдѣ должна находиться передняя рейка; къ этому времени передній реечникъ долженъ уже отмѣрить требуемое разстояніе и, не забивая башмака, поставить рейку не на землю, а на носокъ сапога, въ вертикальномъ положеніи. Опредѣливъ дальномѣромъ нивеллира разстояніе до рейки, наблюдатель командуетъ реечнику: „столько то шаговъ дальше или ближе“; по исполненіи команды вновь повѣряетъ разстояніе и приказываетъ забивать башмакъ. Разность разстояній до обѣихъ реекъ Δ должна быть какъ можно меньше и ни въ какомъ случаѣ не превосходить одной сажени: особенно стремятся устранять причины, могущія вести къ накопленію разностей Δ съ постояннымъ знакомъ. Установивъ переднюю рейку, наблюдатель приступаетъ къ отсчетамъ. Наводитъ трубу на заднюю рейку, убѣждается въ ея вертикальности, поправляетъ наклонность уровня подъемными винтами и, давъ пузырьку успокоиться, вписываетъ въ журналъ: показанія его, причемъ отсчетъ окулярнаго конца записываетъ со знакомъ +, отсчеты трехъ нитей по черной сторонѣ рейки и снова наклонность уровня. Затѣмъ, взявъ рукою за подставку трубы, а не за самую трубу, направляетъ послѣднюю на черную сторону передней рейки и записываетъ отсчеты, подобно предыдущему. Исполнивъ сказанное, наблюдатель командуетъ переднему реечнику: „красную сторону“, и, чтобы сдѣ-

лать новый отсчетъ независимымъ отъ предыдущей установки пузырька уровня, подъемнымъ винтомъ немного измѣняетъ наклонность или же слегка постукиваетъ пальцемъ по штативу. Дѣлаетъ отсчеты по краснымъ сторонамъ передней рейки, а затѣмъ беретъ отсчетъ на задней рейкѣ. По окончаніи отсчетовъ производятся контрольныя повѣрки въ журналѣ, и когда все окажется въ порядкѣ, наблюдатель командуетъ: „задняя рейка впередъ“, снимаетъ штативъ и передаетъ его на плечо рабочему для переноски на слѣдующій пунктъ.

Наблюдатель заботится, чтобы, какъ во время отсчетовъ, такъ и при переноскѣ, инструментъ не былъ подверженъ прямымъ лучамъ солнца. Онъ обращаетъ вниманіе, чтобы реечники крѣпко забивали башмаки, не задѣвали бы ихъ ногами и не облокачивались на ручки реекъ.

Передъ перерывомъ работы, башмаки забиваются въ ямахъ, около одного фута глубиною, съ тѣмъ, чтобы засыпать ихъ потомъ землею; при этомъ средняя нить трубы проектируется на какой-либо близлежащій неподвижный предметъ при горизонтальномъ положеніи оси уровня.

Разстояніе отъ штатива до этой мѣтки измѣряется тесьмою и вносится въ журналъ. Послѣ перерыва работы башмаки осторожно откапываются, штативъ и рейки устанавливаются на прежнихъ мѣстахъ, наблюденія повторяются, и разстояніе новой мѣтки отъ старой отмѣчается въ журналѣ.

Подходя къ маркѣ, производитель работъ устанавливаетъ послѣднюю рейку вблизи нея и затѣмъ, поставивъ инструментъ въ равномъ разстояніи отъ рейки и марки, дѣлаетъ отсчетъ на черной сторонѣ рейки, проектируетъ три нити трубы на стѣнѣ, на вертикальной линіи центра марки, и беретъ отсчетъ по красной сторонѣ рейки.

Разстоянія отъ центра марки до трехъ мѣтокъ, измѣренныя обѣими сторонами стальной ленты и принятыя съ должнымъ знакомъ, будутъ отсчетами на марку: если марка выше мѣтокъ, то отсчеты на нее отрицательные, и обратно.

Наблюденія записываются въ книжки, сдѣланныя по указанному ниже образцу. На заглавномъ мѣстѣ каждой книжки обозначается нивеллируемая линія, годъ работъ, №№ инструмента и реекъ, а также фамилія производителя работъ. Записи въ книжкѣ дѣлаются карандашомъ, причемъ всякая подчистка резиною отнюдь не допускается. Въ случаѣ обнаруженныхъ въ полѣ промаховъ въ записяхъ, таковыя

перечеркиваются, и надъ ними пишутся вѣрныя цифры. Чертежи мѣстныхъ предметовъ, на которыхъ укрѣпляются марки, вносятся въ полевой журналъ съ краткимъ описаніемъ предмета.

1883 г. 29 Мая. *Шт. № 15* *9ʰ 12ᵐ у.*

Зад. № 7 *пер. № 10.*

		4,23	+ 0,07	4,16		
Черн. ст.		+ 14,0 — 12,6	— 0,21	+ 13,4 — 13,3		Черн. ст.
		14,16	+ 4,50	9,66		
	+ 1,0	16,27	+ 5,53	11,74	— 0,5	
16,273	+ 5	18,39	+ 4,57	13,82	— 3	11,740
		+ 13,6 — 13,0	+ 8	+ 12,8 — 13,9		
		16,278	+ 4,541	11,737		
		192,006	+ 65,602	126,404		
		3,97	+ 0,07	3,90		
Красн. ст.		+ 13,4 — 13,3	— 0,20	+ 12,4 — 24,4		Красн. ст.
15,263		13,28	+ 2,22	9,06		11,010
(1,018)	— 0,4	15,26	+ 4,25	11,01	— 1,5	(0,734)
16,281	— 2	17,25	+ 4,29	12,96	— 7	11,744
		+ 13,0 — 13,9	+ 5	+ 12,8 — 13,9		
		16,261	+ 4,258	11,003		
		170,000	+ 61,500	118,500		
		— 1		0		

Записи располагаются въ книжкѣ слѣдующимъ образомъ: на каждой страницѣ книжки помѣщаются чтенія на обѣихъ рейкахъ; лѣвая колонна назначена для задней рейки, правая для передней; верхняя часть обѣихъ колоннъ предназначена для записей отсчетовъ по чернымъ сторонамъ, нижняя для красныхъ сторонъ. Отсчеты на каждую сторону пишутся одинъ подъ другимъ въ 5-ти строкахъ: уровень, первая, вторая, третья нить сѣтки и уровень. Записи производятся въ такой послѣдовательности: вверху лѣвой колонны, вверху правой колонны, внизу правой, внизу лѣвой. Наверху страницы по серединѣ отмѣчается № штатива, а надъ каждой колонной № рейки. Когда, послѣ перерыва работъ, наблюденія повторяются, то и №

штатива удерживается прежній, но со знакомъ (bis). Штативы, служащіе для опредѣленія $tg\,0$, въ общую нумерацію не входятъ. Наблюдатель обращаетъ особенное вниманіе на то, чтобы не перепутать записей объихъ реекъ.

Контрольныя вычисленія въ полѣ заключаются въ слѣдующемъ. Прежде всего въ среднемъ столбцѣ пишутся разности отсчетовъ объихъ реекъ на соотвѣтствующихъ нитяхъ какъ для черныхъ, такъ и для красныхъ сторонъ. При совершенномъ равенствѣ разстояній до реекъ числа эти были бы равны между собой; вообще же, они обнаружатъ небольшія равномѣрныя разности, указывающія на отсутствіе промаховъ въ отсчетахъ. Если взять среднее ариѳметическое изъ двухъ крайнихъ чиселъ и сравнить его со среднимъ числомъ, то разногласіе, зависящее отъ случайныхъ ошибокъ, не должно быть болѣе $2^1/_2$ мм. Второй контроль основанъ на сравненіи отсчетовъ по краснымъ сторонамъ съ такими же отсчетами по чернымъ сторонамъ; согласіе считается удовлетворительнымъ, когда разность не превышаетъ 2 мм. Если контроль не дастъ указанныхъ результатовъ, то повторяются въ прежнемъ порядкѣ всѣ наблюденія.

На прилагаемой страницѣ полевого журнала полевыя цифры карандашомъ написаны крупнымъ шрифтомъ, а позднѣйшія вычисленія перомъ—мелкимъ шрифтомъ.

Окончательныя вычисленія производятся одинаково какъ для черныхъ, такъ и для красныхъ сторонъ. Прежде всего вверху правой и лѣвой колонны выписываются разности между крайними нитями (4,23 и 4,16), а между ними ихъ собственная разность (+0,07); со знакомъ: зад. и пер.; прямо подъ послѣднимъ числомъ помѣщается сумма таковыхъ для всѣхъ предыдущихъ штативовъ (—0,21), т. е. $\Sigma\Delta$. Сбоку колонны, на внѣшнихъ поляхъ, выписываются наклонности въ полудѣленіяхъ уровня для этихъ колонны (+1,0 и —0,5), а подъ ними соотвѣтственныя поправки въ десятыхъ доляхъ миллиметра, пріисканныя по особой таблицѣ (+5 и —3). Внизу средняго столбца подписывается разность этихъ поправокъ (+8), со знакомъ: зад. или пер. Ниже, подъ чертой, пишутся среднія изъ отсчетовъ каждой изъ трехъ колоннъ, исправленныя своими поправками за наклонность (16,278, +4,541, 11,737), а еще ниже сумма таковыхъ для предыдущихъ штативовъ (192,006, +65,602, 126,404). Суммы послѣднихъ чиселъ попарно (192,006, +16,278, +65,602

+ 4,541, 126,404 + 11,737) переносятся въ соотвѣтственныя мѣста слѣдующей страницы. Очевидно, при этомъ число средняго столбца (+70,143) должно оказаться разностью чиселъ крайнихъ столбцовъ (208,284—138,141), со знакомъ: зад. или пер.; въ этомъ заключается контроль вычисленія.

Для того, чтобы составить понятіе о согласіи двухъ полученныхъ нивеллировокъ, исправляютъ полевыя контрольныя числа для красныхъ сторонъ (16,281, 11,744) ихъ поправками за наклонность (—2, —7) и вычитаютъ изъ соотвѣтственныхъ среднихъ отсчетовъ по чернымъ сторонамъ (16,278 и 11,737); разности (—1 и 0) пишутся внизу лѣвой и правой колоннъ.

315. О вѣроятныхъ ошибкахъ въ нивеллировкахъ. Если какая-либо линія пронивеллирована двумя отдѣльными нивеллировщиками съ отдѣльными нивеллирами и рейками, то всегда получается нѣкоторая расходимость между этими двумя нивеллировками. Если эту расходимость, выраженную въ метрахъ или саженяхъ, назовемъ буквой Y, длину линіи въ километрахъ или верстахъ назовемъ D и вѣроятную ошибку на одинъ километръ или одну версту буквой X, то, какъ доказывается въ теоріи вѣроятностей, между двумя названными величинами существуетъ такая зависимость:

$$x = \frac{Y}{\sqrt{2D}}.$$

Изъ сличенія точныхъ нивеллировокъ, произведенныхъ въ послѣднее время военно-топографическимъ отдѣломъ нашего главнаго штаба, оказалось, что вѣроятная ошибка въ разныхъ нивеллировкахъ колеблется отъ ± 2 до ± 3 миллиметровъ на километръ. Вѣроятныя ошибки на одинъ километръ при точныхъ нивеллировкахъ Пруссіи оказались въ ± 1,1 мм., Австріи около ± 1 мм., Италіи ± 0,8 мм., Швейцаріи ± 2,6 мм., Франціи ± 2,5 мм.

Глава XXX.

О БАРОМЕТРИЧЕСКОМЪ НИВЕЛЛИРОВАНІИ.

316. Общее понятіе о барометрическомъ нивеллированіи. Торичелли доказалъ въ 1643 году, при помощи изобрѣтеннаго имъ барометра, что атмосфера производитъ давленіе. Паскаль, путемъ

наблюденій надъ барометромъ у подошвы горы и на ея вершинѣ, открылъ, что высота ртутнаго столба барометра уменьшается съ поднятіемъ на большую высоту, а отсюда вывелъ заключеніе, что давленіе атмосферы въ одной горизонтальной плоскости одно и то же, на уровняхъ высшихъ давленіе меньше и на уровняхъ низшихъ давленіе больше.

Такимъ образомъ, разность давленій воздуха въ двухъ точкахъ земной поверхности находится въ зависимости отъ разности высоть этихъ точекъ. А потому, *зная разность давленій атмосферы въ двухъ точкахъ, можно опредѣлить и разность высотъ ихъ, т. е. пронивеллировать, между двумя точками барометрически.* Но при этомъ надо помнить, что между высотами точекъ и давленіями атмосферы въ нихъ, давленіями даже одномоментными, не существуетъ строгой пропорціональности.

Для опредѣленія давленія атмосферы служатъ ртутные барометры. Ртуть при температурѣ 0° тяжелѣе воды въ 13,5959 разъ. Вѣсъ кубическаго метра воды при 4° Цельсія равенъ 1000 килограммовъ. Поэтому вѣсъ кубическаго метра ртути равенъ 13595,9 килограмма. Нормальное давленіе воздуха на уровнѣ океана, при широтѣ 45°, принимается равнымъ 760 миллиметрамъ ртутнаго столба. Поэтому давленіе воздуха на океанѣ, при широтѣ 45°, на квадратный метръ, выраженное въ килограммахъ, равно $0{,}760 \times 13595{,}9 = 10333$, или *нормальное давленіе воздуха на океанѣ, при широтѣ 45°, равно 1033,3 грамма на квадратный сантиметръ.* Эту величину давленія воздуха принимаютъ за единицу давленія.

Если принять высоту атмосферы равною 7600 метрамъ, то можно сказать, что на высотѣ 7600 метровъ надъ уровнемъ океана, на широтѣ въ 45°, давленіе равно нулю. А такъ какъ давленіе на уровнѣ океана равно 760 миллиметрамъ, то *съ грубымъ приближеніемъ* можно считать, что съ поднятіемъ надъ поверхностью океана на каждые 10 метровъ, давленіе уменьшается на одинъ миллиметръ ртутнаго столба барометра, или что каждымъ 10 метрамъ высоты соотвѣтствуетъ одинъ миллиметръ въ показаніи барометра, *и, слѣдовательно, каждому метру высоты надъ уровнемъ океана соотвѣтствуетъ почти 0,1 миллиметра ртутнаго столба.*

Но давленіе атмосферы въ каждомъ мѣстѣ земной поверхности измѣняется отъ различныхъ причинъ, напримѣръ отъ измѣненія тем-

пературы воздуха, отъ количества паровъ, заключающихся въ немъ, при этомъ атмосфера на большихъ высотахъ рѣдѣетъ не пропорціонально высотѣ, и температура воздуха уменьшается съ удаленіемъ отъ земной поверхности не въ строгой пропорціональности съ увеличеніемъ разстоянія. Въ виду всего этого, точное измѣреніе высоты точекъ не можетъ быть сдѣлано непосредственно помощью величины ртутнаго столба въ этихъ точкахъ.

Теоретическими разсужденіями съ помощью многочисленныхъ наблюденій Лапласъ, а за нимъ и другіе ученые вывели барометрическія формулы, помощью которыхъ можно вычислять разность высотъ двухъ точекъ по высотѣ ртутныхъ столбовъ въ этихъ точкахъ.

317. О барометрическихъ формулахъ. При выводѣ барометрическихъ формулъ прибѣгаютъ къ гипотезамъ, болѣе или менѣе произвольнымъ; обыкновенно предполагаютъ: 1 что атмосферное давленіе на ртуть барометра есть давленіе гидростатическое, т. е. что оно пропорціонально вѣсу жидкости, давящей на барометръ; 2 что законъ Маріота для газовъ точно примѣнимъ къ воздуху; 3 что атмосфера находится въ покоѣ и однородна по своему химическому составу; 4 что измѣненіе температуры и отсчетовъ барометра, при переходѣ съ одной точки земной поверхности къ другой, происходитъ по такимъ законамъ, которые еще недостаточно провѣрены и доказаны.

Въ дѣйствительности же, напримѣръ, атмосфера почти никогда не находится въ равновѣсіи; воздухъ находится въ постоянномъ движеніи: отъ нагрѣванія онъ постоянно поднимается вверхъ, а отъ охлажденія падаетъ, поэтому въ 1-мъ случаѣ происходитъ уменьшеніе давленія, во 2-мъ увеличеніе его, зависящія не отъ массы давящаго воздуха, а отъ скорости его движенія; поэтому высота одного и того же мѣста, вычисленная по барометрическимъ формуламъ, на основаніи показаній барометра, взятыхъ днемъ и ночью, оказывается не одною и тою же. Для разныхъ дней она также различна. Поэтому можно сказать, что *атмосфера находится въ равновѣсіи лишь въ тихую безвѣтренную погоду, и такое равновѣсіе можно считать сохраняющимся лишь на короткихъ разстояніяхъ.*

При выводѣ барометрическихъ формулъ, какъ сказано выше, пользуются законами Маріота и Гей-Люсака. Здѣсь вспомнимъ, въ чемъ они заключаются и какими аналитическими формулами они выражаются.

Законъ Маріота можетъ быть выраженъ такъ: *при постоянной температурѣ объемъ газа измѣняется обратно пропорціонально давленію, или упругости газа, а слѣдовательно плотность газа прямо пропорціональна давленію газа.* Такъ что, если въ одномъ случаѣ объемъ газа v, его температура t, давленіе p, плотность Δ; а въ другомъ случаѣ объемъ газа v_1, температура та же, т. е. t, давленіе p_1 и плотность Δ_1, то законъ Маріота можетъ быть выраженъ такими формулами:

$$\frac{v}{v_1} = \frac{p_1}{p}$$

и

$$\frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{p_1}{p}.$$

Опыты Реньо доказали, что законъ Маріота не вполнѣ точенъ.

Законъ Гей-Люсака можетъ быть выраженъ такъ: при постоянномъ давленіи *приращеніе объема опредѣленнаго количества газа пропорціонально приращенію температуры.* Законъ этотъ одинаково прилагается къ положительнымъ и отрицательнымъ приращеніямъ, т. е. и къ случаю нагрѣванія газа, и къ случаю его охлажденія. Такъ что, если объемъ газа v, его температура 0°, давленіе p_0, а въ другомъ случаѣ объемъ газа v_1, температура t_1, давленіе то же, что и въ первомъ случаѣ, т. е. p, то законъ Гей-Люсака можетъ быть выраженъ такою формулою:

$$v_1 - v = kvt_1,$$

гдѣ k коэффиціентъ расширенія газа. Написанную формулу можно представить въ такомъ видѣ:

$$v_1 = v\ (1 + kt_1).$$

По опытамъ Реньо, $k = 0{,}003665$ на одинъ градусъ Цельсія для всѣхъ постоянныхъ газовъ и приблизительно равенъ этому числу для углекислоты и водяного пара. Для влажнаго воздуха при обыкновенныхъ условіяхъ $k = 0{,}003684$, а для сухого воздуха $k = 0{,}00367$.

Формулы, выражающія законъ Маріота и Гей-Люсака, могутъ быть соединены въ одну общую формулу. Для этого положимъ, что нѣкоторый газъ имѣлъ объемъ v, температуру 0°, давленіе p, плотность Δ; затѣмъ перешелъ въ такое состояніе, при которомъ объемъ его сдѣлался равнымъ v_1, температура t°_1, давленіе p и плотность Δ_1, и, наконецъ, изъ этого 2-го состоянія газъ перешелъ въ третье со-

стояніе, при которомъ объемъ его v_2, температура $t°_1$, давленіе p_2 и плотность Δ_2.

На основаніи закона Гей-Люсака, при переходѣ газа изъ 1-го во 2-ое состояніе, будетъ имѣть мѣсто такая формула:

$$v_1 = v(1 + kt_1).$$

При переходѣ же изъ 2-го состоянія въ 3-е, по закону Маріота, будетъ имѣть мѣсто такая формула:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p}.$$

Исключая изъ этихъ двухъ уравненій v_1, получимъ:

$$\frac{v(1+kt_1)}{v_2} = \frac{p_2}{p},$$

или

$$\frac{v}{v_2} = \frac{p_2}{p(1+kt_1)}.$$

Но такъ какъ $\frac{v}{v_2} = \frac{\Delta_2}{\Delta}$, то можемъ написать:

$$\frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{p_2}{p(1+kt_1)};$$

эту формулу будемъ писать въ такомъ видѣ:

$$\frac{\Delta}{\Delta_0} = \frac{p}{p_0(1+kt)},$$

гдѣ Δ и Δ_0 плотности при температурѣ $t°$ и $0°$, а p и p_0 — соотвѣтствующія имъ давленія.

318. Барометрическая формула Бабине. Приложимъ выведенную формулу къ воздуху. Положимъ, что показанія барометра въ двухъ точкахъ A_0 и A_1, приведенныя къ нулевой температурѣ воздуха, B_0 и B_1, слѣдовательно, можемъ сказать, что столбъ ртути высотою $B_1 - B_0$ уравновѣшиваетъ столбъ воздуха высотою, равною разности высотъ точекъ A_1 и A_0. Означимъ разность высотъ двухъ точекъ буквою z, плотность ртути при $0°$, или вѣсъ кубическаго метра ея, назовемъ q, а среднюю плотность воздуха, или вѣсъ кубическаго метра воздуха, назовемъ буквою Δ, тогда $(B_1 - B_0)q$ будетъ представлять собою вѣсъ нѣкотораго столба ртути поперечнаго сѣченія въ одинъ квадр. метръ, точно также $z\Delta$ представитъ собою вѣсъ столба воздуха сѣченіемъ въ одинъ квадр. метръ, уравновѣшивающій выше-

указанный столбъ ртути, слѣдовательно, должно существовать такое равенство:

$$(B_1 - B_0)\, q = \varkappa \Delta,$$

или

$$\Delta = \frac{B_1 - B_0}{\varkappa} q \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Воспользуемся, кромѣ того, формулою, выражающею совокупность законовъ Маріота и Гей-Люсака, т. е.

$$\frac{\Delta}{\Delta_0} = \frac{p}{p_0 (1 + kt)} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

и въ ней будемъ считать Δ среднею плотностью воздуха въ той точкѣ, высоту которой желаемъ опредѣлить, а Δ_0 плотностью воздуха на горизонтѣ моря при температурѣ равной нулю градусовъ.

Пусть температура воздуха въ точкѣ A_1 равна t_1, при показаніи барометра B_1 приведеннаго къ нулю, а въ точкѣ A_0 равна t_0, при показаніи барометра B_0. Тогда можно полагать, что средняя плотность воздуха Δ соотвѣтствуетъ среднему давленію $\frac{B_1 + B_0}{2}$ и средней температурѣ $\frac{t_0 + t_1}{2}$, т. е. p равно давленію воздуха при средней его плотности, или $p = \frac{B_1 + B_0}{2}$. А потому формула (2) можетъ быть написана такъ:

$$\frac{\Delta}{\Delta_0} = \frac{\frac{B_1 + B_0}{2}}{p_0 \left(1 + k \frac{t_1 + t_0}{2}\right)},$$

или

$$\Delta = \frac{\Delta_0 (B_1 + B_0)}{2 p_0 \left(1 + k \frac{t_1 + t_0}{2}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Сравненіе формулы (1) съ (3) приводитъ къ такому равенству:

$$\frac{(B_1 - B_0)\, q}{\varkappa} = \frac{\Delta_0 (B_1 + B_0)}{2 p_0 \left(1 + k \frac{t_1 + t_0}{2}\right)},$$

отсюда найдемъ $\varkappa$, именно:

$$\varkappa = \frac{2 p_0 q (B_1 - B_0)}{\Delta_0 (B_1 + B_0)} \left(1 + k \frac{t_1 + t_0}{2}\right).$$

Если въ этой формулѣ положимъ $p_0 = 0{,}760$ метр., $q = 13596$ килограммамъ, $\Delta_0 = 1{,}293$ килогр. и $k = 0{,}003684$, то получимъ:

$$\varkappa = \text{~~16029~~ } 15983 \frac{B_1 - B_0}{B_1 + B_0} \left(1 + 0{,}003684 \frac{t_1 + t_0}{2}\right),$$

округляя число $\frac{0{,}003684}{2}$ до 0,002, найдемъ такую формулу:

$$z = 16029\,\frac{B_1 - B_0}{B_1 + B_0}\left[1 + \frac{2\,(t_1 + t_0)}{1000}\right], \quad \ldots\ldots (4)$$

здѣсь 16029 выражается въ метрахъ, остальные множители—числа отвлеченныя.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда для p_0 взято не 0,760, а напр., 0,762 то коэффиціентъ постоянный будетъ отличенъ отъ величины 16029. Точно также онъ будетъ отличенъ отъ этой величины, если для Δ_0 взять величину другую, нежели 1,293.

319. Другое выраженіе для барометрической формулы Бабине. На основаніи формулы Тайлора, имѣемъ:

$$lg\,\frac{x+h}{x-h} = 2\,\frac{h}{x} + \frac{2}{3}\left(\frac{h}{x}\right)^3 + \frac{2}{5}\left(\frac{h}{x}\right)^5 + \ldots\ldots (1)$$

Положивъ

$$x + h = B_1, \quad x - h = B_0,$$

получимъ:

$$x = \frac{B_1 + B_0}{2}, \quad h = \frac{B_1 - B_0}{2} \quad \text{и} \quad \frac{x}{h} = \frac{B_1 + B_0}{B_1 - B_0},$$

слѣдовательно вмѣсто формулы (1) найдемъ:

$$lg\,\frac{B_1}{B_0} = 2\,\frac{B_1 - B_0}{B_1 + B_0} + \frac{2}{3}\left(\frac{B_1 - B_0}{B_1 + B_0}\right)^3 + \frac{2}{5}\left(\frac{B_1 - B_0}{B_1 + B_0}\right)^5 + \ldots\ldots$$

рядъ этотъ сильно сходящійся, поэтому въ немъ можно ограничиться первымъ членомъ и тогда написать:

$$\frac{B_1 - B_0}{B_1 + B_0} = \frac{1}{2}\,lg\,\frac{B_1}{B_0}$$

и въ этомъ случаѣ формула Бабине (4) можетъ быть представлена въ такомъ видѣ:

$$z = 8015\,lg\,\frac{B_1}{B_0}\left[1 + \frac{2\,(t_0 + t_1)}{1000}\right].$$

Переходя же отъ неперовыхъ логариѳмовъ къ обыкновеннымъ, надо правую часть умножить на модуль неперовыхъ логариѳмовъ, т. е. 2,30258, тогда:

$$z = 18454\,\frac{B_1}{B_0}\left[1 + \frac{2\,(t_0 + t_1)}{1000}\right].$$

Коэффиціентъ 18454 зависитъ отъ величины Δ_0, которой мы придали значеніе 1,293. Во многихъ сочиненіяхъ взята для Δ_0 нѣсколько иная величина, а потому въ нихъ и K получается нѣсколько отличнымъ отъ 18454. Такъ, для этого коэффиціента берутъ 18429,1. Г. Пѣвцовъ для Россіи опредѣляетъ величину K равной 18470.

Чтобы получить величину z въ футахъ, надо помножить коэффиціентъ 18429,1 на 3,28087, т. е. на число англійскихъ футовъ въ одномъ метрѣ. Если желаютъ получить разность высотъ въ саженяхъ, то коэффиціентъ K въ метрахъ надо помножить на 0,4687.

Формула (4) дана Бабине въ 1850 году. Выводъ ея замѣчательно простъ, сравнительно съ другими формулами, и она даетъ результаты почти согласные съ результатами, получаемыми по другимъ формуламъ.

320. Барометрическая формула Лапласа. Покажемъ здѣсь методъ для вывода болѣе точной барометрической формулы, причемъ сложныя передѣлки опустимъ. Положимъ, что въ двухъ точкахъ A_0 и A_1 земной поверхности наблюдены показанія двухъ барометровъ или одного барометра, показанія эти приведены къ 0° и исправлены во всѣхъ отношеніяхъ, въ какихъ онѣ должны быть исправляемы, и положимъ выражены въ метрахъ. Пусть эти показанія B_0 и B_1. Назовемъ Z_0 и Z_1 высоты разсматриваемыхъ точекъ надъ поверхностью океана или же надъ какою-либо условною поверхностью, тогда $Z_1 - Z_0$ представитъ высоту воздушнаго столба между точками A_1 и A_0. Если назовемъ вѣсъ кубическаго метра воздуха, или плотность воздуха при 0°, буквою Δ, а вѣсъ кубическаго метра ртути, или плотность ртути при 0°, буквой q, то $(B_1 - B_0)\,q$ представитъ собою вѣсъ столба ртути поперечнаго сѣченія въ одинъ кв. метръ, точно также $(Z_1 - Z_0)\,\Delta$ представитъ собою вѣсъ столба воздуха въ одинъ кв. метръ поперечнаго сѣченія. Эти два столба, ртути и воздуха, должны уравновѣшиваться другъ другомъ, т. е., слѣдовательно, должно существовать такое равенство:

$$(Z_1 - Z_0)\,\Delta = (B_1 - B_0)\,q.$$

Очевидно, что это равенство возможно только въ томъ случаѣ, когда плотность воздуха на всемъ пространствѣ между точками A_0 и A_1 одинакова, но такъ какъ въ дѣйствительности плотность

воздуха подъ разными давленіями, а слѣдовательно, и на разныхъ высотахъ различная, то написанное выше равенство возможно лишь при условіи очень малой величины $(Z_1 - Z_0)$. Такъ что, вмѣсто конечныхъ разностей, въ написанномъ равенствѣ, для его вѣрности, надо взять дифференціалы, т. е. взять такое уравненіе:

$$\Delta dz = -qdB \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

въ правой части взять знакъ минусъ, потому что возрастанію высоты соотвѣтствуетъ уменьшеніе давленія.

Если бы Δ — плотность воздуха, была величиною постоянною, то въ написанномъ дифференціальномъ уравненіи перемѣнныя сейчасъ бы отдѣлялись, и интегрированіе уравненія легко приводило бы къ формулѣ для z въ функціи барометрическаго давленія. Въ дѣйствительности плотность воздуха, величина перемѣнная, зависящая отъ широты мѣста, высоты надъ поверхностью океана, отъ температуры и, наконецъ, отъ влажности воздуха. Для плотности воздуха, въ какомъ угодно мѣстѣ, естествоиспытатели даютъ такую формулу:

$$\Delta = \Delta_0 \left(1 + 0{,}00541\ sin^2 \varphi\right) \left(1 + \frac{R}{Z_0} + \frac{R}{Z}\right)^2 \times$$

$$\frac{B - 0{,}1885 \left(\frac{h_0}{B_0} + \frac{h_1}{B_1}\right)}{0{,}76\,[1 + k\,(a + bH)]}$$

въ этой формулѣ Δ_0 плотность воздуха, или вѣсъ кубическаго метра воздуха при температурѣ нулевой на экваторѣ, гдѣ давленіе воздуха опредѣляется въ 0,76 метра; φ — широта мѣста наблюденія, R радіусъ земли у экватора, Z_0 высота низшей точки земли, Z высота точки, которую желаютъ опредѣлить и въ которой плотность равна Δ; h_0 и h_1 упругости водянаго пара въ точкахъ A_0 и A_1, t_0 и t_1 температуры воздуха въ точкахъ A_0 и A_1. B барометрическое давленіе въ точкѣ, которой высота Z. Коэффиціенты a и b опредѣляются такими формулами:

$$a = \frac{t_1 B_0 - t_0 B_1}{B_0 - B_1} \quad \text{и} \quad b = \frac{B_0 - B_1}{t_0 - t_1},$$

гдѣ B_0 и B_1 барометрическія давленія при температурѣ t_0 и t_1.

Если указанную формулу для плотности внести въ дифферен-

ціальное уравненіе (1), и проинтегрировать его, взявъ для q, 13596 килогр., для Δ_0, —1,293, то получимъ такую формулу:

$$z = K\, lg\, \frac{B_0}{B_1}\, \frac{X\,Y\,J\,U}{V}.$$

Въ ней:

$$K = \frac{13596 \times 0{,}76}{1{,}293} = 18454,$$

$$X = 1 + 0{,}0029\, lg\, \frac{B_0}{B_1},$$

$$Y = 1 + \frac{Z_0}{1591500},$$

$$J = 1 + 0{,}003684\, \frac{t_0 + t_1}{2},$$

$$U = 1 + 0{,}1885 \left(\frac{h_0}{B_0} + \frac{h_1}{B_1}\right),$$

$$V = 1 + 0{,}00541\, sin^2 \varphi.$$

Величины X, Y, U и V близки къ единицѣ, поэтому, когда желаютъ получить больше данныхъ для гипсометріи, не заботясь объ излишней точности, употребляютъ формулу сокращенную, именно такую:

$$z = 18454\, lg\, \frac{B_0}{B_1} \left(1 + 0{,}003684\, \frac{t_0 + t_1}{2}\right),$$

причемъ z выражается въ метрахъ, если B_0 и B_1 выражены въ миллиметрахъ, а t_0 и t_1 въ градусахъ Цельсія.

Выведенную формулу еще болѣе упрощаютъ, взявъ, вмѣсто $\frac{0{,}003684}{2}$, близкое къ нему 0,002, тогда формула переходитъ въ такую:

$$z = 18454\, lg\, \frac{B_0}{B_1} \left[1 + \frac{2\,(t_0 + t_1)}{1000}\right],$$

т. е. она получаетъ видъ формулы Бабине.

321. Нѣкоторыя замѣчанія о ртутныхъ барометрахъ, употребляемыхъ съ цѣлью опредѣленія высотъ, и указанія, какъ пользоваться ими. Не описывая въ подробностяхъ устройства барометровъ, извѣстнаго изъ физики, вспомнимъ здѣсь все то о нихъ, отчего зависитъ правильное по нимъ измѣреніе давленія атмосферы, а слѣдовательно, болѣе точное опредѣленіе разности высотъ.

Ртутные барометры, со времени ихъ изобрѣтенія, измѣнялись въ своемъ устройствѣ, но главныя части ихъ остаются и теперь тѣми

же, какія были въ барометрѣ Торичелли, — это стеклянная трубка, запаянная съ одного конца и наполненная ртутью. Другой конецъ стеклянной трубки опускается въ чашечку съ ртутью. Около стеклянной трубки придѣлывается шкала, по которой опредѣляется высота столба ртути. Трубка, чашечка и шкала иногда придѣлываются къ особой доскѣ. Въ верхней части трубки у запаяннаго конца должна быть пустота, называемая *торичелліевой пустотой*, или *барометрической пустотой*.

Шкала барометровъ, большею частью, бываетъ раздѣлена на миллиметры. Нуль шкалы долженъ совпадать съ поверхностью ртути въ чашечкѣ. Отсчетъ, прочтенный противъ свободной поверхности ртути, т. е. у барометрической пустоты, указываетъ на величину ртутнаго столба, соотвѣтствующаго давленію воздуха въ мѣстѣ наблюденія. Такъ какъ, при наибольшемъ давленіи атмосферы, высота ртутнаго столба почти никогда не превосходитъ 800 миллиметровъ, то на шкалахъ барометровъ дѣлаютъ дѣленія отъ 0 до 800 мм.

Если нуль шкалы совпадаетъ съ поверхностью ртути въ чашечкѣ, то отсчетъ у свободнаго конца трубки дастъ почти въ точности величину давленія внѣшняго воздуха. Говоримъ, почти въ точности, такъ какъ въ барометрической пустотѣ всегда находится небольшое количество воздуха, вслѣдствіе чего уменьшается величина отсчета по шкалѣ, отсчетъ этотъ уменьшается также и вслѣдствіе другихъ причинъ, о которыхъ будетъ сказано ниже.

Если при нѣкоторой высотѣ въ трубкѣ барометра нуль совпадаетъ съ поверхностью ртути въ чашечкѣ, то при уменьшеніи давленія атмосферы ртуть въ трубкѣ опустится, а въ чашечкѣ, слѣдовательно, повысится, и отсчетъ, сдѣланный по шкалѣ, будетъ больше дѣйствительнаго атмосфернаго давленія. Точно также обратно, если давленіе атмосферы увеличится, то ртуть въ трубкѣ повысится, а въ чашечкѣ понизится, а потому прочтенный отсчетъ будетъ менѣе дѣйствительнаго давленія. Такъ какъ внутренній діаметръ трубки значительно меньше діаметра чашечки, то указанная ошибка мала, поэтому при обыкновенныхъ наблюденіяхъ ее не принимаютъ въ разсчетъ. При наблюденіяхъ болѣе точныхъ употребляютъ барометры, у которыхъ либо чашечка, либо шкала могутъ перемѣщаться такъ, чтобы при началѣ наблюденія было возможно поставить нуль шкалы въ совпаденіе съ поверхностью ртути въ чашечкѣ.

Въ барометрахъ, употребляемыхъ на метеорологическихъ станціяхъ, обыкновенно, шкала дѣлается подвижною, оканчивающеюся заостреннымъ штифтомъ, металлическимъ или костянымъ, обращеннымъ къ поверхности ртути въ чашечкѣ. Такая шкала можетъ быть поднята или опущена посредствомъ особаго зубчатаго колеса, задѣвающаго за зубцы, нарѣзанные на краю самой шкалы.

Такого рода шкалы назначаются на высеребрянной латунной линейкѣ съ дѣленіями не по всей шкалѣ, а только въ верхней ея части, которою измѣряется положеніе свободной поверхности ртути въ трубкѣ. На верхней части шкалы имѣется муфта, могущая передвигаться по шкалѣ; муфта съ наружной стороны открыта, такъ что ею дѣленія шкалы не сплошь закрыты. На одной закраинѣ муфты назначается ноніусъ, противъ нулевой черты котораго къ муфтѣ придѣлана металлическая вилка, состоящая изъ двухъ призмъ, верхнія грани которыхъ должны быть горизонтальны, когда барометръ повѣшенъ отвѣсно, а продолженіе плоскостей этихъ граней должно проходить, въ точности, чрезъ нуль ноніуса.

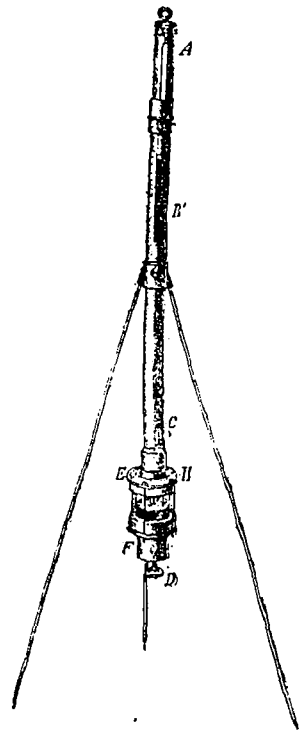
Прежде чѣмъ начать наблюденіе такимъ барометромъ, надо шкалу поднять такъ, чтобы видно было изображеніе острія въ зеркальной поверхности ртути, затѣмъ надо опустить шкалу до тѣхъ поръ, пока изображеніе острія не коснется самаго острія, въ этомъ положеніи шкалу слѣдуетъ закрѣпить винтомъ. Затѣмъ надо передвинуть муфту съ ноніусомъ при помощи винта съ шестерней, которымъ она снабжена, до тѣхъ поръ пока верхняя горизонтальная поверхность призмъ вилки не коснется поверхности ртути въ трубкѣ, и окончательную установку сдѣлать при помощи микрометреннаго винта, которымъ снабжается муфта съ ноніусомъ. Тогда разстояніе отъ острія шкалы до нуля ноніуса дастъ величину ртутнаго столба. Слѣдовательно, для полученія отсчета надо прочесть показаніе ноніуса при помощи лупы.

Чтобы было возможно привести вилку въ положеніе касательное къ поверхности ртути въ трубкѣ, необходимо, чтобы эта поверхность какъ можно ближе подходила къ плоскости, т. е. чтобы вліяніе капилярности было наименьшее. Достигаютъ этого тѣмъ, что верхнюю часть трубки, на протяженіи миллиметровъ 200, дѣлаютъ большаго діаметра, чѣмъ остальную часть ея.

Барометры, находящіеся на метеорологическихъ станціяхъ, прикрѣпляются, обыкновенно, къ стѣнамъ; для этой цѣли доска баро-

метра привинчивается къ стѣнѣ такъ, чтобы стеклянная трубка съ ртутью и шкала имѣли отвѣсное положеніе.

Въ переносныхъ ртутныхъ барометрахъ напримѣръ въ барометрѣ Фартена-Фуса (черт. 406) отвѣсность трубки и шкалы, достигается тѣмъ, что барометръ подвѣшивается къ треногѣ, отчего онъ держится, благодаря собственному вѣсу, приблизительно въ отвѣсномъ положеніи, и въ то время, когда приходится прикасаться къ нижнему винту у чашечки.



Черт. 406.

Ртуть барометра должна быть чистая, т. е. при нулѣ градусовъ вѣсъ кубическаго метра чистой ртути долженъ равняться 13595,9 килограммамъ.

Барометръ долженъ быть снабженъ особымъ вывѣреннымъ термометромъ, чтобы показанія его дѣйствительно отвѣчали температурѣ ртути барометра. Для этого термометръ долженъ быть сдѣланъ изъ такого же стекла, какъ трубка барометра, діаметръ его цилиндрическаго резервуара долженъ быть такой же, какъ въ трубкѣ барометра, и наконецъ, онъ долженъ быть прикрѣпленъ къ доскѣ барометра, примѣрно, на серединѣ его высоты.

Барометрическіе отсчеты даютъ вѣрную величину атмосфернаго давленія только тогда, когда дѣленія шкалы назначены вѣрно, когда остріе шкалы, въ точности, касается поверхности ртути въ чашечкѣ, когда нижняя поверхность призмъ вилки касается поверхности ртути въ трубкѣ и когда шкала и трубка отвѣсны.

Кромѣ того, чтобы получить вѣрное атмосферное давленіе, показанія барометра должны быть освобождены отъ поправокъ: 1) относительно упругости воздуха въ барометрической пустотѣ и 2) относительно капиллярности трубки барометра.

Чтобы наблюденныя показанія барометра могли служить данными для опредѣленія разности высотъ точекъ земной поверхности, пока-

занія эти, прочтенныя при нѣкоторой температурѣ, должны быть, обязательно, приведены къ температурѣ нуля градусовъ.

Показанія барометра должны также исправляться поправкой на измѣненіе длины дѣленій шкалы въ зависимости отъ расширенія ея, для чего надо знать абсолютную длину дѣленій при 0° и коэффиціентъ линейнаго ея расширенія. Это обстоятельство, въ свою очередь, влечетъ за собою необходимость дѣлать тщательно наблюденія надъ термометромъ, для чего необходимо, чтобы термометръ былъ защищенъ отъ непосредственнаго дѣйствія лучей солнца, т. е. онъ долженъ находиться въ пространствѣ, вполнѣ оттѣненномъ, открытымъ на сѣверъ и защищенномъ отъ юга. Онъ долженъ, быть по возможности, удаленъ отъ почвы, отъ наблюдателя и отъ всѣхъ предметовъ, имѣющихъ собственную температуру. Кромѣ того, необходимо вывѣрить положеніе нуля термометра и опредѣлить величину каждаго градуснаго дѣленія по емкости термометрической трубки и по отношенію между ртутнымъ и воздушнымъ термометромъ.

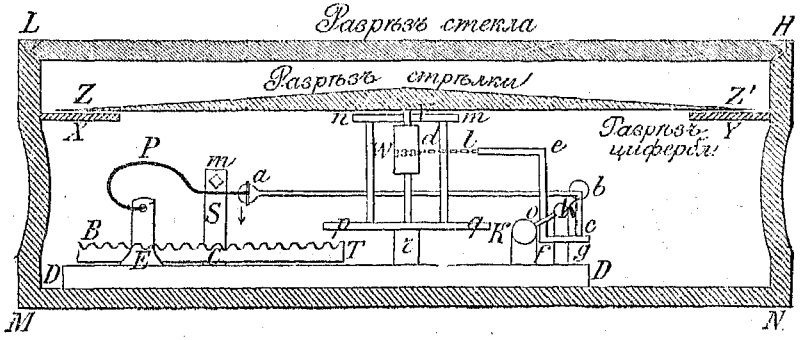
Барометры второстепенныхъ метеорологическихъ станцій, вообще говоря, не даютъ непосредственно вполнѣ вѣрныхъ показаній. Это происходитъ отъ присутствія газовъ и паровъ въ барометрической пустотѣ, неправильностей шкалы и визирныхъ трубокъ, нечистоты и капиллярности ртути и т. п. Поэтому барометры до установки ихъ, а также впослѣдствіи, чрезъ нѣкоторые промежутки времени, сравниваютъ съ нормальными барометрами центральныхъ метеорологическихъ учрежденій. Поправку, получаемую путемъ такихъ сравненій, придаютъ къ отсчетамъ, дѣлаемымъ по барометрамъ. Послѣ этого барометры станцій даютъ показанія согласныя съ показаніями тѣхъ нормальныхъ бороментровъ, съ которыми они свѣрены. Но и нормальнымъ барометрамъ свойственны тѣ же недостатки, хотя и въ меньшей степени, вслѣдствіе чего показанія ихъ также всегда не согласны между собою. Поэтому метеорологи отъ времени до времени сравниваютъ нормальные барометры центральныхъ обсерваторій, причемъ получаются различными наблюдателями различные результаты, что объясняется, главнымъ образомъ, измѣненіемъ показаній нормальныхъ барометровъ съ теченіемъ времени, измѣненіемъ поправки перевознаго барометра во время путешествія и, наконецъ, ошибками, дѣлаемыми при сравненіяхъ.

Такого рода сравненія приводятъ къ заключенію, что и нормаль-

ные барометры отличаются иногда въ своихъ показаніяхъ до полумиллиметра.

Все изложенное показываетъ, что ртутный барометръ очень нѣжный инструментъ, и крайне неудобный въ путешествіи.

322. Описаніе пружиннаго барометра, или анероида Ноде. Изъ всего изложеннаго о ртутныхъ барометрахъ ясно, что опредѣленіе ими разности высотъ точекъ, находящихся другъ отъ друга на близкомъ разстояніи, требуетъ переноски барометра въ каждую изъ этихъ точекъ. Но переноска ртутнаго барометра очень затруднительна, поэтому для цѣлей нивеллированія ртутные барометры употребляютъ для точекъ отдаленныхъ другъ отъ друга настолько, насколько удалены напримѣръ метеорологическія станціи; для точекъ же



Черт. 407.

близкихъ другъ къ другу употребляютъ пружинные барометры или анероиды. Къ числу наиболѣе употребительныхъ пружинныхъ барометровъ принадлежитъ анероидъ Ноде. Онъ имѣетъ видъ цилиндрической коробки (черт. 407) съ циферблатомъ, по окружности котораго вдѣланъ термометръ Цельсія. Коробка покрыта сверху стекломъ. Между циферблатомъ и стекломъ находится стрѣлка, вращающаяся въ центрѣ циферблата, такъ что ось ея совпадаетъ съ осью цилиндрической коробки. Наружный видъ анероида Ноде такой же, какъ и анероидовъ многихъ другихъ системъ. Къ дну цилиндра придѣлана основная доска DD. Къ ней прикрѣплены различной высоты столбики C, E, r, K и K. На столбикѣ C лежитъ круглый барабанъ (BT), почти безвоздушный. Верхняя покрышка барабана волнистая. Къ ней припаянъ въ центрѣ ея столбикъ S, имѣющій въ верхней своей части стальной нажимъ m. Къ доскѣ DD придѣланы два стол-

бика *E*, имѣющіе въ своей верхней части отверстія, играющія роль подшипниковъ оси, припаянной къ широкому концу сильной стальной пружины *P*. Пружина эта стремится касаться нажима *m*, и если она давитъ на него, то тѣмъ самымъ поднимаетъ волнистую поверхность безвоздушнаго барабана. Но внѣшній воздухъ давитъ на волнистую крышку безвоздушнаго барабана, поэтому давленіе воздуха уравновѣшиваетъ стремленіе пружины подымать крышку барабана вверхъ. Когда давленіе воздуха увеличивается, то вдавливаніе волнистой покрышки барабана увеличивается, нажимъ опускается, и пружина натягивается сильнѣе. Когда давленіе воздуха уменьшается, волнистая покрышка поднимается кверху, а вмѣстѣ съ тѣмъ пружина заставляетъ столбикъ съ нажимомъ подниматься къ верху. Такимъ образомъ, въ анероидѣ положеніе пружины указываетъ на увеличеніе или уменьшеніе давленія воздуха, подобно тому какъ въ ртутномъ барометрѣ эту роль разыгрываетъ свободная поверхность ртути.

Для указанія того или другого положенія пружины служитъ циферблатъ со стрѣлкою, которая соединена съ пружиною промежуточнымъ чувствительнымъ механизмомъ. Опишемъ теперь этотъ механизмъ. Съ пружиной *P* соединенъ однимъ концомъ наглухо стержень *ab*, другой конецъ котораго, при помощи шарнира, соединенъ съ короткимъ колѣномъ *bc*, надавливающимъ на колѣнчатый рычагъ *gfel* концомъ *e*; колѣнчатый рычагъ можетъ вращаться на оси *KK*. Ось эта имѣетъ подшипники на колонкахъ *K* и *K*. Колѣнчатый рычагъ *gfel* своимъ концомъ *l* соединенъ съ тонкой цѣпочкой *d*, укрѣпленной и намотанной на утолщеніи *W* оси *h* имѣющей пяту въ пластинкѣ *pq* и проходящей чрезъ верхнюю перекладину *nn* рамы (*pqnn*). Пластинка *pq* прикрѣплена къ столбику *r*. Чтобы цѣпочка была постоянно въ натянутомъ состояніи, на валикъ *W* навита тонкая часовая пружина, и притомъ въ обратную сторону завиткамъ цѣпочки; такимъ путемъ достигается постоянная напряженность цѣпочки.

Теперь становится понятнымъ, какъ стрѣлка анероида можетъ указывать на циферблатѣ различныя показанія при различныхъ давленіяхъ воздуха. Дѣйствительно, съ увеличеніемъ давленія воздуха волнистая поверхность барабана, а вмѣстѣ съ ней столбикъ съ нажимомъ, опускаются внизъ, этому перемѣщенію слѣдуетъ и пружина съ колѣнчатымъ рычагомъ; конецъ этого рычага надавливаетъ на конецъ другого ге-образнаго рычага, который, вращаясь на своей оси, вытягива-

етъ цѣпочку, вслѣдствіе этого ось стрѣлки, а вмѣстѣ съ ней и сама стрѣлка вращаются въ одну сторону. При уменьшеніи давленія воздуха, всѣ описанныя движенія происходятъ въ обратномъ порядкѣ, а слѣдовательно, стрѣлка вращается въ противоположную сторону.

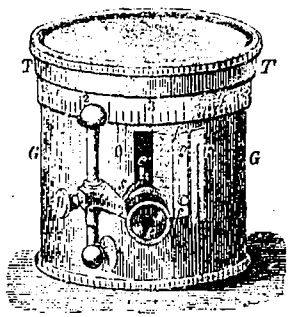
Въ футляръ каждаго барометра системы Ноде вкладывается термометръ для опредѣленія температуры внѣшняго воздуха. Барометры Ноде имѣютъ различную величину въ діаметрѣ отъ 5 до $1^1/_2$ дюймовъ, въ послѣднемъ случаѣ они имѣютъ видъ карманныхъ часовъ. Анероиды Ноде снабжены винтовымъ ключемъ для установки стрѣлки на дѣленіе, соотвѣтствующее ртутному барометру во время ихъ сличенія. Въ анероидахъ, исполненныхъ въ послѣднее время, безвоздушный барабанъ дѣлается съ діаметромъ большихъ размѣровъ.

Циферблаты анероидовъ Ноде встрѣчаются двухъ родовъ; одни изъ нихъ раздѣлены на 18 равныхъ частей, каждая изъ этихъ частей, въ свою очередь, раздѣлена на 10 мелкихъ дѣленій, эти мелкія дѣленія дѣлятся еще пополамъ, надписи идутъ отъ 610 до 800, причемъ дѣленія отъ 610 до 620 и отъ 790 до 800 общія. На анероидахъ, исполненныхъ въ ближайшее къ намъ время, циферблатъ раздѣленъ на 36 частей, и нумерація идетъ отъ 420 до 800. Анероиды Ноде можно пріобрѣтать у механика главной физической обсерваторіи, которая ихъ беретъ вывѣрять и снабжаетъ всѣми необходимыми таблицами для поправокъ.

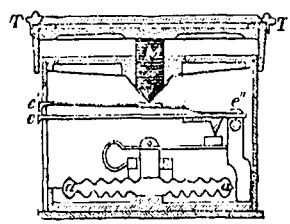
Кромѣ анероида Ноде, для барометрическаго нивеллированія употребляются анероиды и другихъ системъ. Рейтцъ, Гольдшмидтъ и его преемникъ Гютенгеръ (въ Цюрихѣ) и другіе приготовляли анероиды, не имѣющіе зубчатыхъ зацѣпленій, а потому показанія въ такихъ анероидахъ менѣе зависимы отъ качества конструкціи, чѣмъ въ обыкновенныхъ.

323. Анероидъ Гютенгера. Чертежъ 408 представляетъ собою наружный видъ анероида Гютенгера въ настоящую его величину. Чертежъ 409—разрѣзъ такого же анероида. Гютенгеръ устраиваетъ также анероиды, имѣющіе въ два раза большіе размѣры и по высотѣ, и по площади основанія. Такіе анероиды снабжены маленькимъ термометромъ и небольшою вертикальною шкалою, на которой поставлены числа 500, 550, 600, 650, 700, 750 и 800, между каждыми двумя смежными числами назначено по 5 дѣленій, т. е. каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ 10 миллиметрамъ. По краю этой шкалы можетъ дви-

гаться индексъ e, соединенный съ пружиною, идущей отъ безвоздушнаго барабана (черт. 408). Чтобы можно было отсчитывать миллиметры и десятыя части миллиметра, верхняя крышка (черт. 408), по всей своей окружности, раздѣлена на 100 частей, чрезъ каждыя десять дѣленій поставлены числа 0, 1, 2....9. На оправѣ цилиндра анероида поставленъ индексъ съ цифрою 0. Верхняя крышка TT можетъ вращаться на вертикальной оси M, причемъ она можетъ надавливать на пружину (черт. 409), на концѣ которой придѣлана серебряная пластинка e' съ горизонтальною чертою; пластинка эта, при вращеніи крышки, можетъ двигаться по высотѣ анероида и мо-



Черт. 408.



Черт. 409.

жетъ быть поставлена такъ, что ея черта совпадаетъ съ индексомъ, соединеннымъ съ безвоздушнымъ барабаномъ. Чтобы видѣть это совпаденіе, къ анероиду придѣлана маленькая лупка P. Когда оба индекса совпадутъ, благодаря вращенію крышки, то надо сдѣлать отсчетъ на вертикальной шкалѣ, а затѣмъ прочитать показаніе ободка крышки у нуля оправы цилиндра. При этомъ десятыя части дѣленій крышки могутъ быть прочтены на глазъ, это будутъ, слѣдовательно, сотыя части миллиметра. На горизонтальной плоскости крышки помѣщены двѣ таблички: одна для исправленія показаній анероида отъ сравненія его съ нормальнымъ барометромъ, другая для температурныхъ поправокъ. Анероидъ вкладывается въ особый футляръ съ ремнемъ. Къ ремню привѣшивается термометръ для измѣренія температуры наружнаго воздуха.

324. Общія замѣчанія объ анероидахъ. Кромѣ описанныхъ анероидовъ, имѣются анероиды другихъ авторовъ, напримѣръ, Бурдона, Види. У насъ въ Россіи наиболѣе употребителенъ анероидъ

Ноде, рекомендуемый главной физической обсерваторіей, берущей его и для провѣрки. Но каковъ бы ни былъ анероидъ, прежде употребленія его съ цѣлью нивеллированія, онъ долженъ быть предварительно тщательно осмотрѣнъ, такъ какъ можно встрѣтить въ продажѣ анероиды, негодные для переноски: напр. если въ нихъ зубчатыя сцѣпленія выполнены настолько неудовлетворительно, что при переноскѣ или при быстромъ измѣненіи давленій, совершается перескакиваніе на одинъ или на два зубца. Встрѣчаются анероиды, въ которыхъ зубчатыя сцѣпленія такъ мало совершенны, что, при данномъ давленіи, стрѣлка анероида получаетъ довольно различныя положенія, отличающіяся на нѣсколько миллиметровъ, благодаря лишь легкимъ ударамъ пальца о приборъ. На показанія такихъ анероидовъ, очевидно, нельзя полагаться.

Если полый барабанъ сдѣланъ изъ очень тонкаго металла, то, подъ вліяніемъ измѣненія давленія воздуха, онъ измѣняетъ свою форму, и, конечно, возможно, что современемъ форма эта будетъ совершенно не та, какая была первоначально.

Многочисленныя изслѣдованія показали, однако, что если механизмъ анероида упрощенъ и исполненъ механикомъ тщательно, то послѣ изготовленія онъ всетаки претерпѣваетъ нѣкоторыя измѣненія, но затѣмъ измѣненія эти прекращаются, и анероидъ пріобрѣтаетъ постоянство до тѣхъ поръ, пока не подвергнется быстрымъ измѣненіямъ температуры, быстрымъ движеніямъ, или сильнымъ ударамъ.

Въ нѣкоторыхъ анероидахъ, при вертикальномъ положеніи циферблата, стрѣлка даетъ различныя показанія во время вращенія анероида около оси его цилиндра; это зависитъ отъ того, что движущіяся части анероида не уравновѣшены противовѣсами или уравновѣшеніе достигнуто не въ надлежащей мѣрѣ. Поэтому необходимо наблюденія на анероидѣ производить при горизонтальномъ положеніи циферблата или при вертикальномъ положеніи оси стрѣлки. Несоблюденіе этого правила можетъ повести къ неправильнымъ результатамъ.

325. Правила, которымъ надо слѣдовать при употребленіи анероидовъ для нивеллированія. Анероиды предварительно должны быть свѣрены съ вывѣренными ртутными барометрами. Для такого сравненія анероиды надо отдавать въ физическія обсерваторіи, такъ какъ, для опредѣленія соотвѣтствій между показаніями анероида и истинными давленіями, необходимо помѣстить анероидъ съ нормаль-

нымъ барометромъ подъ колоколъ воздушнаго насоса, въ которомъ производятъ разрѣженіе воздуха. Колоколъ воздушнаго насоса сохраняется во время опытовъ въ опредѣленной температурѣ, для чего его окружаютъ водою и надъ нимъ помѣщаютъ ртутный термометръ.

Но и тщательно вывѣренный анероидъ долженъ быть время отъ времени сличаемъ съ ртутнымъ барометромъ.

Разности высотъ, опредѣленныя по утреннимъ и вечернимъ наблюденіямъ анероида, всегда выходятъ меньше надлежащихъ; если наблюденія производились между 10 и 4 часами дня, то они выходятъ больше надлежащихъ. Ближе всего къ дѣйствительности получаются высоты на основаніи наблюденій около 10 часовъ утра и 4 часовъ по полудни. Это отъ того, что до 10 часовъ утра и послѣ 4 часовъ пополудни показанія термометровъ бываютъ ниже, а между 10 и 4 часами выше. Указанное обстоятельство должно быть принято во вниманіе, если хотятъ достигнуть большей точности въ барометрической нивеллировкѣ.

Опытъ показываетъ также, что ошибка въ высотѣ, измѣренной анероидомъ, возрастаетъ съ ошибкою въ наблюденіи термометра.

Ошибки въ показаніяхъ анероида и термометра вліяютъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ менѣе разность высотъ опредѣляемыхъ точекъ. Относительная ошибка тѣмъ больше, чѣмъ выше находится нижняя точка наблюденій надъ поверхностью моря.

Ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ дѣлать наблюденій во время грозы и бури или во время приближенія ихъ, такъ какъ наблюденныя показанія на анероидахъ въ такое время могутъ давать невѣрную разность высотъ.

При нивеллированіи анероидами должно имѣть въ виду, что два анероида, наблюдаемые въ одинаковыхъ условіяхъ, *оба рядомъ*, должны давать показанія, такія, чтобы разности ихъ были всегда одинаковы.

Начиная наблюденія по анероиду, нужно каждый разъ постучать по стеклу, чтобы стрѣлка не задерживалась треніемъ и приняла надлежащее свободное положеніе.

Термометры нужно наблюдать *въ тѣни*, и показаніе термометра отмѣчать *прежде* показанія анероида, такъ какъ температура можетъ измѣниться отъ приближенія наблюдателя.

Показаніе анероида слѣдуетъ читать въ такомъ положеніи, чтобы циферблатъ былъ горизонталенъ, и предъ наблюденіемъ нѣсколько минутъ оставлять анероидъ въ покоѣ.

Анероидъ нужно предохранять отъ вліянія предметовъ, разнящихся въ температурѣ съ внѣшнимъ воздухомъ, а потому его не слѣдуетъ класть на камень и на металлъ или, напр., на ночь на окно, а помѣщать на столѣ, подкладывая подъ анероидъ книгу или какой либо другой предметъ, имѣющій малую теплопроводность.

При переноскѣ анероидъ надо укладывать въ особый кожаный футляръ съ ремнемъ для вѣшанія футляра на шею наблюдателя. При ходьбѣ или ѣздѣ футляръ съ анероидомъ слѣдуетъ поддерживать рукою.

326. Производство нивеллированія анероидами. Если нивеллировка производится по какому-либо направленію двумя наблюдателями, то, свѣривъ оба анероида, первый наблюдатель остается въ починномъ пунктѣ и дѣлаетъ наблюденія по своему анероиду, чрезъ каждыя $^1/_4$ часа, записывая всѣ наблюденныя величины, 2-й наблюдатель отправляется по данной линіи, во всѣхъ мѣстахъ, уже назначенныхъ по линіи, останавливается и дѣлаетъ наблюденія, затѣмъ, придя въ какой-нибудь опредѣленный пунктъ, заранѣе намѣченный, онъ остается въ немъ и дѣлаетъ наблюденія чрезъ каждыя $^1/_4$ часа.

Первый наблюдатель, увѣдомленный какимъ-нибудь сигналомъ о прибытіи 2-го наблюдателя на условленное мѣсто, или чрезъ опредѣленное время, заранѣе условленное, отправляется по данному направленію и дѣлаетъ во всѣхъ назначенныхъ мѣстахъ наблюденія; придя въ мѣсто, гдѣ находится 1-й наблюдатель, онъ свѣряетъ барометры, и затѣмъ оба наблюдателя продолжаютъ такимъ же образомъ работу далѣе, т. е. одинъ остается на мѣстѣ, а другой идетъ впередъ и т. д. Если пункты, разность высотъ которыхъ желаютъ опредѣлить, не назначены, то одинъ изъ наблюдателей дѣлаетъ глазомѣрную съемку и оставляетъ какіе-либо значки въ мѣстахъ, гдѣ онъ дѣлалъ наблюденія. Или оба наблюдателя дѣлаютъ наблюденія на двухъ смежныхъ пунктахъ одновременно по данному другъ другу сигналу; 2-й наблюдатель остается на своемъ мѣстѣ, а 1-ый наблюдатель переходитъ въ 3-й пунктъ и придя въ него, черезъ нѣсколько минутъ даетъ сигналъ 2-му наблюдателю и они оба начинаютъ дѣлать наблюденія. Окончивъ ихъ, 1-й наблюдатель остается на томъ же мѣстѣ, а 2-ой наблюдатель переходитъ на 4-ый пунктъ и т. д.

Опредѣленіе высоты мѣста посредствомъ одного анероида не можетъ быть считаемо надежнымъ, такъ какъ одиночное наблюденіе

находится въ полной зависимости отъ современнаго стоянія анероида, которое иногда разнится отъ нормальнаго до 20 мм., и въ продолженіе одного дня мѣняется на 10 и болѣе миллиметровъ, что влечетъ за собою ошибку въ опредѣленіи высоты мѣста. По всему этому лучше если каждый наблюдатель имѣетъ по два анероида.

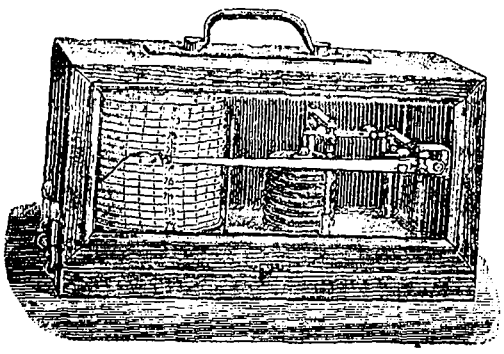
При нивеллированіи двумя анероидами, нѣтъ необходимости непремѣнно знать точное давленіе воздуха, такъ какъ показанія обоихъ анероидовъ, свѣренныхъ одновременно съ ртутнымъ барометромъ, приведенныя къ нулю термометра, будутъ заключать почти одну и ту же ошибку, а потому, при вычитаніи приведенныхъ къ нулю показаній, ошибка эта сократится.

Если приходится работать однимъ анероидомъ одному наблюдателю, то полезно для контроля производить нивеллировку по замкнутымъ полигонамъ. Высота починнаго пункта, опредѣленная въ началѣ и концѣ работы по одному полигону, укажетъ на величину ошибки. Въ томъ случаѣ, когда приходится нивеллировать одному наблюдателю, лучше всего за починный пунктъ такихъ полигоновъ принять какую-либо метеорологическую станцію, отмѣтка мѣста барометра которой въ большей части случаевъ извѣстна; а если она неизвѣстна, то она можетъ быть опредѣлена при помощи предпринимаемой нивеллировки, которая можетъ связать это мѣсто съ какимъ-нибудь репером геодезической, геометрической или барометрической нивеллировки.

Если нивеллировку надо исполнить одному наблюдателю на длинномъ протяженіи, то, принявъ за починный пунктъ мѣсто барометра метеорологической станціи, отстоящей не далеко отъ заданнаго начала, слѣдуетъ ее окончить у другой метеорологической станціи, находящейся вблизи заданнаго конца нивеллировки. Этого правила слѣдуетъ держаться, по возможности, даже и тогда, когда для барометрической нивеллировки назначено и два лица. Чѣмъ ближе станція къ мѣстамъ наблюденій, тѣмъ вѣрнѣе будутъ полученныя высоты точекъ.

Если нивеллировку производитъ одно лицо, и притомъ полигонами, то на станціи, на которую наблюдатель возвращается, можно имѣть барографъ Ришара (черт. 410). Барографъ этотъ, кромѣ анероида, имѣетъ часы въ видѣ цилиндра, могущаго вращаться на оси. Когда часы идутъ, то цилиндръ медленно вращается, именно полный оборотъ онъ дѣлаетъ въ семь сутокъ. Поверхъ цилиндра укрѣпляется

графленая бумага, горизонтальныя линіи которой соотвѣтствуютъ миллиметрамъ, а линіи, идущія по дугамъ круга, соотвѣтствуютъ днямъ, часамъ и получасамъ. На стрѣлку анероида надѣвается маленькое стальное перо съ чернилами. Когда стрѣлка прижата особой пружиной, то перо касается къ бумагѣ цилиндра часовъ и оставляетъ на ней слѣдъ. Такимъ образомъ, на бумагѣ получается кривая измѣненій давленія воздуха. Барографъ долженъ быть свѣренъ съ ртутнымъ барометромъ. А при нивеллированіи долженъ быть свѣряемъ съ анероидомъ при каждомъ возвращеніи на станцію. Зная время наблюденія на разныхъ точкахъ внѣ станціи, можно знать по барографу давленіе, бывшее въ это же время на станціи, а слѣдовательно можно опредѣлить разность высотъ точекъ наблюденія и станціи, гдѣ находится барографъ. Такимъ образомъ, барографъ замѣняетъ собою другого наблюдателя.



Черт. 410.

327 О таблицахъ, служащихъ для опредѣленія разности высотъ при барометрическомъ нивеллированіи. Въ § 319 мы вывели формулу для разности высотъ двухъ точекъ, она такова:

$$z = k \log \frac{B_0}{B_1}\left[1 + \frac{2(t_0 + t_1)}{1000}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

гдѣ k — численный коэффиціентъ въ метрахъ, футахъ или саженяхъ. Положимъ, что B_0 и t_0 показанія анероида и термометра на горизонтѣ моря, причемъ $B_0 = 762$ мм., а $t_0 = 0$; показаніе анероида въ точкѣ земли, отмѣтка которой надъ горизонтомъ моря равна H_1, пусть будетъ B_1, а температура воздуха въ это время t_1 равна нулю, тогда написанная выше формула дастъ слѣдующую:

$$H_1 = k \log \frac{762}{B_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Давая различныя значенія B_1, отъ 400 до 800 миллиметровъ отъ миллиметра до миллиметра или отъ десятой доли миллиметра до десятой доли его же, можно составить таблицы приближенныхъ высотъ.

Высоты, взятыя по аргументу давленія B_1 изъ этихъ таблицъ, будутъ приближенными, потому что въ то время, когда показаніе анероида, приведенное къ нулевой температурѣ, равно B_1, то неизвѣстно, будетъ ли въ это время на горизонтѣ моря показаніе 762 мм. Оно можетъ быть и 780, и 740. Таблицы приближенныхъ высотъ составлены многими авторами. Здѣсь упомянемъ о таблицахъ Пѣвцова и Родо-Гартля, послѣднія даютъ высоты въ метрахъ и составлены въ предположеніи, что давленіе на горизонтѣ моря равно 762 мм. Часть таблицъ Родо-Гартля приведена на страницѣ 515 и означена буквою А.

Подобно тому, какъ написана формула (2), можно написать для другой точки земной поверхности такую формулу:

$$H_0 = k \log \frac{762}{B_0} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

гдѣ H_0—отмѣтка нѣкоторой точки надъ горизонтомъ моря, когда давленіе, взятое съ анероида, находящагося въ этой точкѣ, и приведенное къ нулевой температурѣ, равно B_0, а температура воздуха равна нулю. Формулы (2) и (3) можно соединить и получить такую:

$$H_1 - H_0 = k \log \frac{B_0}{B_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Если наблюденія надъ анероидомъ сдѣланы одновременно въ обѣихъ точкахъ, отмѣтки которыхъ H_1 и H_0, то полученныя изъ таблицъ приближенныя высоты будутъ заключать въ себѣ одинаковыя или почти одинаковыя ошибки, а потому въ формулу (1) вмѣсто $k \log \frac{B_0}{B_1}$ можно поставить его выраженіе изъ формулы (4), и тогда найдемъ:

$$z = (H_1 - H_0)\left[1 + \frac{2(t_1 + t_0)}{1000}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Такимъ образомъ, по этой формулѣ можно вычислять разность высотъ двухъ точекъ земной поверхности, если извѣстны приближенныя высоты этихъ точекъ, взятыя изъ таблицъ по аргументамъ давленія, предварительно приведенныхъ къ нулевой температурѣ, и исправленныхъ за всѣ ошибки при помощи особой таблички, выдаваемой учрежденіемъ дѣлавшимъ провѣрку анероида. По этой таблицѣ напечатанной на страницѣ 516-ой и означенной буквою В поправки исполняются такъ, какъ сказано ниже.

Таблица А.—Приближенныхъ высотъ.

Давле-ніе.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
751 мм	116.1	115.0	113.9	112.9	111.8	110.8	109.7	108.7	107.6	106.6
752	105.2	104.5	103.4	102.4	101.3	100.3	99.2	98.1	97.1	96.0
753	94.9	93.9	92.8	91.7	90.7	89.6	88.6	87.5	86.5	85.4
754	84.3	83.3	82.2	81.1	80.1	79.0	77.9	76.9	75.8	74.8
755	73.7	72.7	71.6	70.6	69.5	68.5	67.4	66.3	65.2	64.2
756	63.1	62.0	61.0	59.9	58.9	57.8	56.8	55.7	54.7	53.6
757	52.6	51.5	50.5	49.4	48.4	47.3	46.3	45.2	44.1	43.1
758	42.0	40.9	39.9	38.8	37.8	36.7	35.7	34.6	33.6	32.5
759	31.5	30.4	29.4	28.3	27.3	26.2	25.2	24.1	23.1	22.0
760	21.0	19.9	18.9	17.8	16.8	15.7	14.7	13.6	12.6	11.5
761	10.5	9.4	8.4	7.3	6.3	5.2	4.2	3.1	2.1	1.0
762	0.0	— 1.0	— 2.1	— 3.1	— 4.2	— 5.2	— 6.3	— 7.3	— 8.4	— 9.4
763	— 10.5	— 11.5	— 12.6	— 13.6	— 14.7	— 15.7	— 16.8	— 17.8	— 18.9	— 19.9
764	— 20.9	— 22.0	— 23.1	— 24.1	— 25.2	— 26.2	— 27.3	— 28.3	— 29.4	— 30.4
765	— 31.4	— 32.5	— 33.5	— 34.6	— 35.6	— 36.7	— 37.7	— 38.7	— 39.7	— 40.8
766	— 41.8	— 42.9	— 43.9	— 45.0	— 46.0	— 47.1	— 48.1	— 49.1	— 50.2	— 51.2
767	— 52.2	— 53.3	— 54.3	— 55.4	— 56.4	— 57.5	— 58.5	— 59.5	— 60.6	— 61.6
768	— 62.6	— 63.7	— 64.7	— 65.8	— 66.8	— 67.9	— 68.9	— 69.9	— 71.0	— 72.0
769	— 73.0	— 74.1	— 75.1	— 76.2	— 77.2	— 78.3	— 79.3	— 80.3	— 81.4	— 82.4
770	— 83.4	— 84.5	— 85.5	— 86.5	— 87.6	— 88.6	— 89.6	— 90.7	— 91.7	— 92.7
771	— 93.7	— 94.8	— 95.8	— 96.8	— 97.9	— 98.9	—100.0	—101.0	—102.0	—103.1
772	—104.1	—105.1	—106.1	—107.2	—108.2	—109.2	—110.3	—111.3	—112.3	—113.4
773	—114.4	—115.4	—116.5	—117.5	—118.5	—119.6	—120.6	—121.6	—122.7	—123.7
774	—124.7	—125.8	—126.8	—127.8	—128.9	—129.9	—130.9	—132.0	—133.0	—134.0
775	—135.0	—136.1	—137.1	—138.1	—139.2	—140.2	—141.2	—142.2	—143.3	—144.3
776	—145.3	—146.3	—147.4	—148.4	—149.4	—150.5	—151.5	—152.6	—153.6	—154.6
777	—155.6	—156.7	—157.7	—158.7	—159.8	—160.8	—161.8	—162.8	—163.8	—164.9
778	—165.9	—166.9	—167.9	—169.0	—170.0	—171.0	—172.0	—173.1	—174.1	—175.1
779	—176.1	—177.1	—178.1	—179.2	—180.2	—181.0	—182.3	—183.3	—184.3	—185.3
780	—186.4	—187.4	—188.4	—189.4	—190.5	—191.5	—192.5	—193.5	—194.5	—195.6
781	—196.6	—197.6	—198.7	—199.7	—200.7	—201.7	—202.8	—203.8	—204.8	—205.8
782	—206.9	—207.9	—208.9	—209.9	—211.0	—212.0	—213.0	—214.0	—215.1	—216.1
783	—217.1	—218.1	—219.2	—220.2	—221.2	—222.2	—223.3	—224.3	—225.3	—226.3
784	—227.4	—228.4	—229.4	—230.4	—231.4	—232.5	—233.5	—234.5	—235.5	—236.5
785	—237.6	—238.6	—239.6	—240.6	—241.6	—242.7	—243.7	—244.7	—245.7	—246.7
786	—247.7	—248.8	—249.8	—250.8	—251.8	—252.8	—253.8	—254.9	—255.9	—256.9
787	—257.9	—258.9	—260.0	—261.0	—262.0	—263.0	—264.0	—265.0	—266.0	—267.0
788	—268.1	—269.1	—270.1	—271.1	—272.1	—273.1	—274.1	—275.1	—276.1	—277.1
789	—278.2	—279.2	—280.2	—281.2	—282.3	—283.3	—284.3	—285.3	—286.3	—287.3
790	—288.3	—289.3	—290.4	—291.4	—292.4	—293.4	—294.4	—295.4	—296.4	—297.4
791	—298.5	—299.5	—300.5	—301.5	—302.5	—303.5	—304.5	—305.5	—306.5	—307.5
792	—308.6	—309.6	—310.6	—311.6	—312.6	—313.6	—314.6	—315.6	—316.6	—317.6
793	—318.6	—319.6	—320.6	—321.6	—322.6	—323.6	—324.6	—325.6	—326.6	—327.6
794	—328.6	—329.6	—330.6	—331.6	—332.6	—333.6	—334.6	—335.6	—336.6	—337.6
795	—338.7	—339.7	—340.7	—341.7	—342.7	—343.7	—344.7	—345.7	—346.7	—347.7
796	—348.7	—349.7	—350.7	—351.7	—352.7	—353.7	—354.7	—355.7	—356.7	—357.7
797	—358.7	—359.7	—360.7	—361.7	—362.7	—363.8	—364.8	—365.8	—366.8	—367.8
798	—368.8	—369.8	—370.8	—371.8	—372.8	—373.8	—374.8	—375.8	—376.8	—377.8
799	—378.8	—379.8	—380.8	—381.8	—382.8	—383.8	—384.8	—385.8	—386.8	—387.8
800	—388.8									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Поправки анероида, выведенныя изъ сличенія его съ нормальнымъ барометромъ Главной Физической Обсерваторіи въ С.-Петербургѣ, приведеннымъ къ нормальной тяжести. Приведеніе къ нормальной тяжести включено въ поправку.

1) Поправка для приведенія показаній къ нулевой температурѣ = — 0мм. 142 t, гдѣ t означаетъ температуру анероида.

2) Добавочная поправка въ Маѣ 1895 г. = + 2 мм. 3.

3) Поправки шкалы:

Таблица В для анероида Нодэ № 305.

При мм.	Поправка мм.	При мм.	Поправка мм.	При мм.	Поправка мм.
790.0	= + 0.7	650.0	= —	510.0	= —
780.0	= + 0.5	640.0	= —	500.0	= —
770.0	= + 0.2	630 0	= —	490.0	= —
760.0	= 0.0	620.0	= —	480.0	= —
750.0	= — 0.3	610.0	= —	470.0	= —
740.0	= — 0.4	600.0	= —	460.0	= —
730.0	= — 0.5	590.0	= —	450.0	= —
720.0	= — 0.6	580.0	= —	440.0	= —
710.0	= — 0.6	570.0	= —	430.0	= —
700.0	= — 0.6	560.0	= —		
690.0	= —	550.0	= —		
680.0	= —	540.0	= —		
670.0	= —	530.0	= —		
660.0	= —	520.0	= —		

Положимъ, что по этому анероиду наблюдались показаніе термометра 17°5 и показаніе стрѣлки анероида 759 мм. 1.

Къ послѣднему отсчету должно примѣнить поправку — 0,142 t, при чемъ она вычитается изъ него, если имѣетъ знакъ (—). Въ настоящемъ примѣрѣ, т. е. для 17° 5, эта поправка равна

— 0,мм. 142 × 17° 5 = — 2 мм. 5, слѣдовательно, приведенный къ 0° отсчетъ равенъ 756 мм. 6.

Къ полученной величинѣ должно, соотвѣтственно знаку, придать или вычесть изъ нея поправку по таблицѣ B. Въ данномъ случаѣ, т. е. при 756 мм. 6, эта поправка = — 0 мм. 1. Слѣдовательно, приведенный къ 0° и освобожденный отъ погрѣшности шкалы, отсчетъ равенъ 756 мм. 5.

Къ послѣдней величинѣ должно еще придать добавочную поправку т. е. + 2 мм. 3. Слѣдовательно, окончательно исправленный отсчетъ анероида равенъ 758 мм. 8.

Формулу (5) можно написать такъ:

$$z = H_1 - H_0 + (H_1 - H_0)\,\frac{t_1 + t_0}{500} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

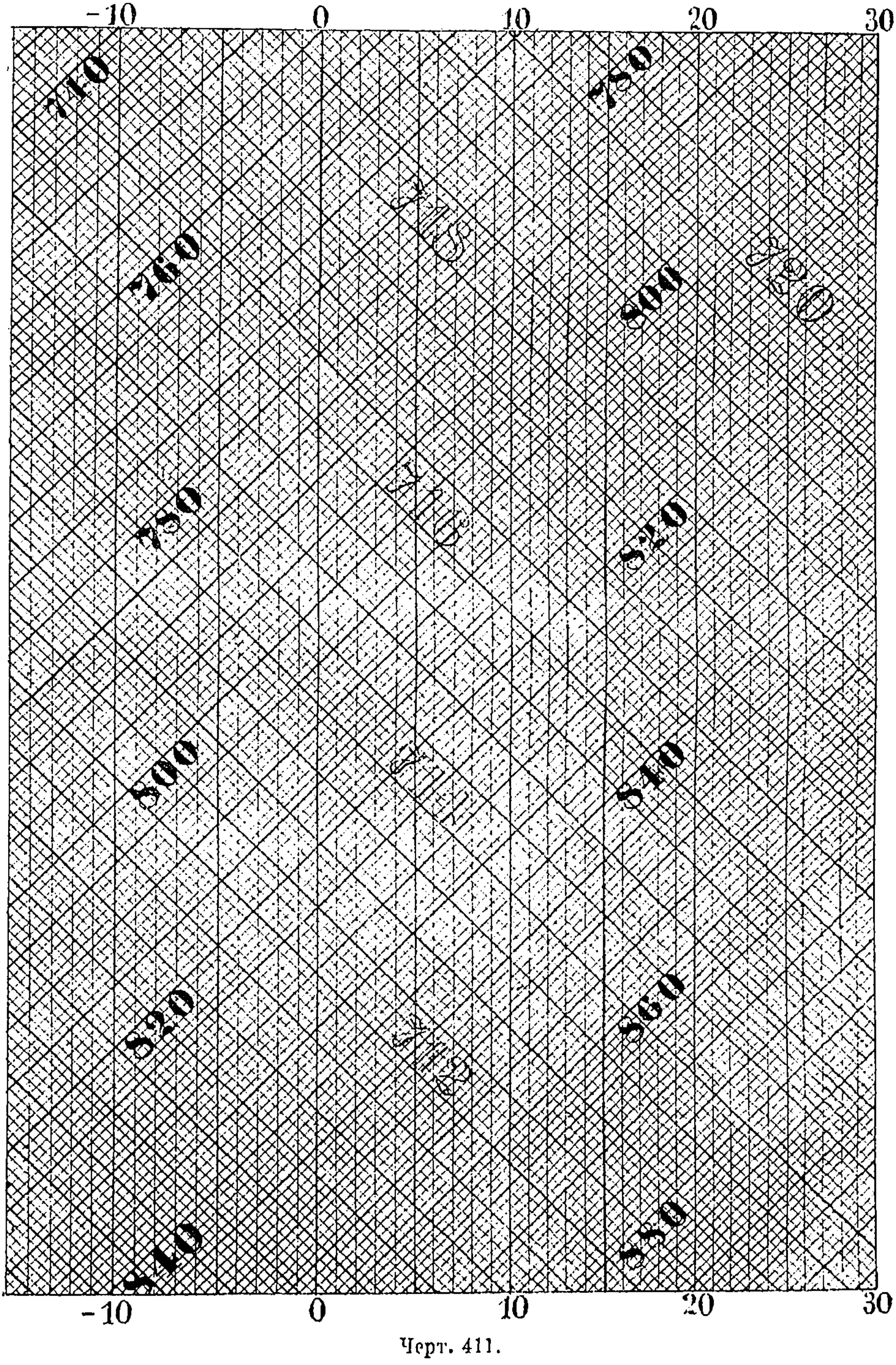
Для того, чтобы не дѣлать каждый разъ вычисленій величинъ $(H_1 - H_0)\,\frac{t+t_1}{500}$, составлены также таблицы поправокъ за температуру воздуха. Одна страница этой таблицы приведена ниже (стр. 518).

Итакъ, если въ двухъ точкахъ земной поверхности, отстоящихъ другъ отъ друга не въ далекомъ разстояніи, были сдѣланы одновременно наблюденія надъ температурой анероидовъ (t_0' и t'_1), надъ давленіемъ воздуха по показаніямъ анероидовъ (B_1 и B_0) и надъ температурою воздуха (t_0 и t_1), то, при помощи таблицы B, надо сдѣлать исправленія величинъ B_1 и B_0; пусть онѣ окажутся послѣ исправленія равными B'_1 и B'_0; по этимъ аргументамъ изъ таблицы A надо взять приближенныя высоты, пусть онѣ будутъ H_1 и H_0. Послѣ составленія разности $H_1 - H_0$ надо вычислить по таблицѣ C величину $(H_1 - H_0)\,\frac{t_1+t_0}{500}$ и, наконецъ, найденное число прибавить въ $H_1 - H_0$.

Вмѣсто того, чтобъ пользоваться таблицами A и C, можно употреблять графическія таблицы Фоглера, составленныя въ предположеніи давленія на горизонтѣ моря равнымъ 780 мм.; образецъ ихъ приведенъ на страницѣ 519 (черт. 411). По наклоннымъ линіямъ, идущимъ съ правой руки къ лѣвой, назначены давленія воздуха въ миллиметрахъ, по наклоннымъ линіямъ, идущимъ отъ лѣвой руки къ правой, назначены приближенныя высоты, а по вертикальнымъ линіямъ температура на станціи. Въ точкѣ пересѣченія давленія и температуры отсчитываютъ приблизительную высоту.

Таблица С. — Поправки за температуру воздуха.

$(t+t')$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$(t+t')$
градусы.										градусы.
0	000	000	000	000	000	000	000	000	000	0
1	002	004	006	008	010	012	014	016	018	1
2	004	008	012	016	020	024	028	032	036	2
3	006	012	018	024	030	036	042	048	054	3
4	008	016	024	032	040	018	056	064	072	4
5	010	020	030	040	050	060	070	080	090	5
6	012	024	036	048	060	072	084	096	108	6
7	014	028	042	056	070	084	098	112	126	7
8	016	032	018	064	080	096	112	128	144	8
9	018	036	054	072	090	108	126	144	162	9
10	020	040	060	080	100	120	140	160	180	10
11	022	044	066	088	110	132	154	176	198	11
12	024	048	072	096	120	144	168	192	216	12
13	026	052	078	104	130	156	182	208	234	13
14	028	056	084	112	140	168	196	224	252	14
15	030	060	090	120	150	180	210	240	270	15
16	032	064	096	128	160	192	224	256	288	16
17	034	068	102	136	170	204	238	272	306	17
18	036	072	108	144	180	216	252	288	324	18
19	038	076	114	152	190	228	266	304	342	19
20	040	080	120	160	200	240	280	320	360	20
21	042	084	126	168	210	252	294	336	378	21
22	044	088	132	176	220	264	308	352	396	22
23	046	092	138	184	230	276	322	368	414	23
24	048	096	144	192	240	288	336	384	432	24
25	050	100	150	200	250	300	350	400	450	25
26	052	104	156	208	260	312	364	416	468	26
27	054	108	162	216	270	324	378	432	486	27
28	056	112	168	224	280	336	392	448	504	28
29	058	116	174	232	290	348	406	464	522	29
30	060	120	180	240	300	360	420	480	540	30
31	062	124	186	248	310	372	334	496	558	31
32	064	128	192	256	320	384	448	512	576	32
33	066	132	198	264	330	396	462	528	594	33
34	068	136	204	272	340	408	476	544	612	34
35	070	140	210	280	350	420	490	560	630	35
$(t+t')$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$(t+t')$



-10
0
10
20
30
710
730
745
760
780
720
800
820
770
840
860
880
795
880
-10
0
10
20
30

Черт. 411.

Глава XXXI.

О НИВЕЛЛИРОВАНІИ ПРИ ПОМОЩИ ГИПСОТЕРМОМЕТРОВЪ.

328. Опредѣленіе давленія атмосферы гипсотермометрами. Перевозка ртутныхъ барометровъ, хотя бы и съ укороченными трубками, очень затруднительна и даже не всегда возможна, поэтому, для повѣрки анероидовъ, можно опредѣлять давленіе атмосфернаго воздуха по температурѣ кипѣнія, которая, какъ извѣстно изъ физики, строго зависитъ отъ атмосфернаго давленія: чѣмъ давленіе больше, тѣмъ температура кипѣнія выше, и обратно. Если подъ колоколомъ воздушнаго насоса помѣстить сосудъ съ теплою водою, то, при достаточной степени разрѣженности воздуха подъ колоколомъ, вода закипитъ, хотя температура ея въ это время менѣе 100° Цельсія. Поэтому, въ мѣстахъ возвышенныхъ, гдѣ давленіе воздуха меньше, температура кипѣнія менѣе 100°. Для опредѣленія температуры кипѣнія, употребляютъ точные термометры, на которыхъ можно отсчитывать сотыя доли градуса. При этомъ термометры устраиваются такъ, что шкалы содержатъ высшіе градусы, напр. отъ 85° до 101, а также и низшіе около нуля въ обѣ стороны. Такого рода термометры называются **гипсотермометрами.** Гипсотермометръ вставляютъ въ сосудъ съ водою, сосудъ этотъ нагрѣваютъ спиртовой лампой и, чрезъ нѣсколько секундъ послѣ начала кипѣнія, дѣлаютъ отсчетъ по термометру. Чтобы опредѣлить давленіе атмосферы, пользуются таблицами Реньо, въ которыхъ показаны различныя температуры кипѣнія, соотвѣтствующія различнымъ давленіямъ, выраженнымъ въ миллиметрахъ барометра. Въ таблицѣ этой помѣщены температуры кипѣнія въ градусахъ Цельсія отъ 85° до 101, чрезъ одну десятую градуса, и соотвѣтствующія имъ давленія въ миллиметрахъ отъ 433,04 мм. до 787,63 мм. Кромѣ того, показаны разности давленій при увеличеніи температуры на 0°,1. Приводимъ здѣсь эту таблицу.

Измѣреніе давленія атмосферы по температурѣ кипѣнія представляетъ еще то удобство, что температура кипѣнія всегда соотвѣтствуетъ опредѣленному давленію, въ какихъ бы широтахъ она ни наблюдалась, тогда какъ давленіе, наблюдаемое по ртутному барометру, требуетъ поправки за широту мѣста наблюденія.

Температ. кипѣнія въ град. Ц.	Давленіе атмосферы въ миллиметрахъ.	Разн. давл. принизм. темп. на 0,1°.	Температ. кипѣнія въ град. Ц.	Давленіе атмосферы въ миллиметрахъ.	Разн. давл. принизм. темп. на 0,1°.	Температ. кипѣнія въ град. Ц.	Давленіе атмосферы въ миллиметрахъ.	Разн. давл. принизм. темп. на 0,1°.	Температ. кипѣнія въ град. Ц.	Давленіе атмосферы въ миллиметрахъ.	Разн. давл. принизм. темп. на 0,1°.
85,0	433,04		87,9	484,81		90,8	541,66		93,7	603,97	
		1,71			1,88			2,06			2,25
85,1	434,75		88,0	486,69		90,9	543,72		93,8	606,22	
		1,71			1,88			2,06			2,26
85,2	436,46		88,1	488,57		91,0	545,78		93,9	608,48	
		1,71			1,88			2,07			2,26
85,3	438,17		88,2	490,45		91,1	547,85		94,0	610,74	
		1,72			1,89			2,07			2,27
85,4	439,89		88,3	492,34		91,2	549,92		94,1	613,01	
		1,73			1,90			2,08			2,28
85,5	441,62		88,4	494,25		91,3	552,00		94,2	615,29	
		1,73			1,91			2,09			2,29
85,6	443,35		88,5	496,15		91,4	554,09		94,3	617,58	
		1,74			1,91			2,10			2,29
85,7	445,09		88,6	498,06		91,5	556,19		94,4	619,87	
		1,75			1,92			2,10			2,30
85,8	446,84		88,7	499,98		91,6	558,29		94,5	622,17	
		1,75			1,92			2,10			2,31
85,9	448,59		88,8	501,90		91,7	560,39		94,6	624,48	
		1,75			1,92			2,12			2,31
86,0	450,34		88,9	503,82		91,8	562,51		94,7	626,79	
		1,76			1,91			2,12			2,32
86,1	452,10		89,0	505,76		91,9	564,63		94,8	629,11	
		1,77			1,94			2,13			2,33
86,2	453,87		89,1	507,70		92,0	566,76		94,9	631,44	
		1,77			1,95			2,13			2,34
86,3	455,64		89,2	509,65		92,1	568,89		95,0	633,78	
		1,78			1,95			2,14			2,34
86,4	457,42		89,3	511,60		92,2	571,03		95,1	636,12	
		1,79			1,96			2,15			2,35
86,5	459,21		89,4	513,56		92,3	573,18		95,2	638,47	
		1,79			1,97			2,16			2,36
86,6	461,00		89,5	515,53		92,4	575,34		95,3	640,83	
		1,80			1,97			2,16			2,36
86,7	462,80		89,6	517,50		92,5	577,50		95,4	643,19	
		1,80			1,98			2,17			2,38
86,8	464,60		89,7	519,48		92,6	579,67		95,5	645,57	
		1,81			1,98			2,17			2,38
86,9	466,41		89,8	521,46		92,7	581,84		95,6	647,96	
		1,81			1,99			2,18			2,39
87,0	468,22		89,9	523,45		92,8	584,02		95,7	650,34	
		1,82			2,00			2,19			2,39
87,1	470,04		90,0	525,45		92,9	586,21		95,8	652,73	
		1,83			2,00			2,20			2,40
87,2	471,87		90,1	527,45		93,0	588,41		95,9	655,13	
		1,83			2,01			2,20			2,41
87,3	473,70		90,2	529,46		93,1	590,61		96,0	657,54	
		1,84			2,02			2,21			2,41
87,4	475,54		90,3	531,48		93,2	592,82		96,1	659,95	
		1,84			2,02			2,22			2,42
87,5	477,38		90,4	533,50		93,3	595,04		96,2	662,37	
		1,85			2,03			2,22			2,43
87,6	479,23		90,5	535,53		93,4	597,26		96,3	664,80	
		1,85			2,04			2,23			2,44
87,7	481,08		90,6	537,57		93,5	599,49		96,4	667,24	
		1,86			2,04			2,23			2,45
87,8	482,94		90,7	539,61		93,6	601,72		96,5	669,69	
		1,87			2,05			2,25			2,45
87,9	484,81		90,8	541,66		93,7	603,97		96,6	672,14	

Температ. кипѣнія въ град. Ц.	Давленіе атмосферы въ миллиметрахъ.	Разн. давл. при изм. темп. на 0,1°.	Температ. кипѣнія въ град. Ц.	Давленіе атмосферы въ миллиметрахъ.	Разн. давл. при изм. темп. на 0,1°.	Температ. кипѣнія въ град. Ц.	Давленіе атмосферы въ миллиметрахъ.	Разн. давл. при изм. темп. на 0,1°.	Температ. кипѣнія въ град. Ц.	Давленіе атмосферы въ миллиметрахъ.	Разн. давл. при изм. темп. на 0,1°.
96,6	672,14		97,8	702,15		98,9	730,58		100,0	760,00	
96,7	674,60	2,46	97,9	704,70	2,55	99,0	733,21	2,63	100,1	762,73	2,73
96,8	677,07	2,47	98,0	707,21	2,56	99,1	735,85	2,61	100,2	765,46	2,73
96,9	679,55	2,48	98,1	709,82	2,56	99,2	738,50	2,65	100,3	768,20	2,74
97,0	682,03	2,48	98,2	712,39	2,57	99,3	741,16	2,66	100,4	770,95	2,75
97,1	684,52	2,49	98,3	714,97	2,58	99,4	743 83	2,67	100,5	773,71	2,75
97,2	687,02	2,50	98,4	717,56	2,59	99,5	746 50	2,67	100,6	776,48	2,77
97,3	689,53	2,51	98,5	720,15	2,59	99,6	749 18	2,68	100,7	779,26	2,78
97,4	692,04	2,51	98,6	722,75	2,60	99,7	751 87	2,69	100,8	782,04	2,78
97,5	694,56	2,52	98,7	725,35	2,60	99,8	754 57	2,70	100,9	784,83	2,79
97,6	697,08	2,52	98,8	727,96	2,61	99,9	757 28	2,71	101,0	787,63	2,80
97,7	699,61	2,53	98,9	730,58	2,62	100,0	760 00	2,72			
97,8	702,15	2,54									

При температурѣ кипѣнія около 100° какъ видно изъ таблицы Реньо, измѣненіе температуры на 0°,1 соотвѣтствуетъ измѣненію давленія на 2,7^{mm}, а потому измѣненію температуры на 0°,01 соотвѣтствуетъ 0,27^{mm}, или почти $^1/_3$ миллиметра. Такимъ образомъ, точность опредѣленія давленія этимъ способомъ можетъ возрастать до $^1/_3$ миллиметра.

Прежде чѣмъ воспользоваться гипсотермометромъ, его необходимо свѣрить съ хорошимъ ртутнымъ барометромъ, находящимся на метеорологической станціи. Свѣрка эта должна производиться и впослѣдствіи, чрезъ нѣкоторые періоды времени. Необходимость такого сравненія вызывается тѣмъ обстоятельствомъ, что стеклянный шарикъ термометра измѣняетъ свое внутреннее строеніе, какъ подъ вліяніемъ времени, такъ равно и при перемѣнѣ температуръ. Точно также отъ тѣхъ же причинъ перемѣщаются и точки 0° и 100°. Если давно приготовленный термометръ погрузить въ тающій ледъ, то ртуть останавливается выше точки нуля, т. е. нуль шкалы, спустя нѣкоторое

время послѣ изготовленія термометра, оказывается ниже дѣйствительнаго нуля, и термометръ начинаетъ показывать болѣе надлежащаго. Это перемѣщеніе, достигающее 2°, происходитъ не мгновенно, но совершается постепенно въ продолжительные сроки, иногда до 5 лѣтъ, послѣ чего прекращается. Эта неправильность измѣненія положенія нуля обязываетъ наблюдателя отъ времени до времени опредѣлять на своихъ термометрахъ точку замерзанія.

329. Гипсотермометръ Бодэна и его употребленіе. Въ послѣднее время Бодэнъ (Baudin) изготовляетъ гипсотермометры изъ твердаго отожженнаго зеленаго стекла, отчего перемѣщенія точекъ 0 и 100°, при охлажденіи и кипяченіи, почти не наблюдается. Такого рода гипсотермометры снабжены шкалами, назначенными на самой трубкѣ, причемъ дѣленія дѣлаются отъ 1°,04 до 5°,06 и отъ 94°,66 до 101°,4. Отъ 5°,06 до 94°66 термометрическій каналъ расширенъ. На протяженіи указанной выше шкалы дѣленія одного градуса занимаютъ протяженіе болѣе 3-хъ сантиметровъ, и каждый градусъ непосредственно дѣлится на части, равныя 0°,02.

Опыты привели къ заключенію, что гипсотермометры, изготовляемые Бодэномъ и разъ вывѣренные, вполнѣ замѣняютъ собою ртутные барометры, а потому могутъ быть употребляемы для сравненія съ анероидами.

Такого рода гипсотермометры могутъ быть употребляемы также, какъ и переносные барометры; для этой цѣли Бодэнъ снабжаетъ гипсотермометры особымъ жестянымъ аппаратомъ для кипяченія воды, укладываемымъ въ деревянный ящикъ, служащій, при работахъ въ полѣ, для защиты кипятильника и спиртовой лампы отъ вѣтра. Кипятильникъ Бодэна отличается отъ обыкновеннаго аппарата Реньо, о которомъ упоминается въ учебникахъ физики, тѣмъ, что двойная трубка для паровъ сдѣлана раздвижною, такъ что возможно устанавливать шарикъ гипсотермометра въ самомъ кипятильникѣ на 10—20 миллиметровъ отъ поверхности кипящей воды, а длину трубъ можно регулировать такимъ образомъ, чтобы весь ртутный столбикъ гипсотермометра помѣщался бы въ трубкѣ аппарата и, слѣдовательно, имѣлъ бы температуру паровъ кипящей воды и высовывался бы изъ отверстія трубки лишь на столько, чтобы возможно было наблюдать отсчетъ въ моментъ кипѣнія. Двойная трубка, въ которой циркулируетъ паръ, сдѣлана качающеюся, такъ что по гипсотермометру можно дѣлать

отсчеты въ моментъ кипѣнія не только при вертикальномъ его положеніи, но и при горизонтальномъ, вслѣдствіе чего преодолѣвается вліяніе волосности трубки термометра. Полезно дѣлать отсчеты 4 раза: сначала при горизонтальномъ положеніи, затѣмъ при вертикальномъ, затѣмъ вновь повторить въ томъ же порядкѣ еще два такихъ же пріема.

Прежде чѣмъ опустить гипсотермометръ въ жестяной аппаратъ съ водою, на гипсотермометръ надѣваютъ пробковое кольцо, а поверхъ его гуттаперчевое, чтобы трубка гипсотермометра не могла опуститься въ пробковомъ кольцѣ. Гуттаперчевое кольцо надо поставить на такой высотѣ трубки гипсотермометра, чтобы верхній край его былъ ниже не болѣе, какъ на 0,2 противъ ожидаемаго отсчета температуры кипѣнія. Затѣмъ надо обтереть шарикъ гипсотермометра замшею, чтобы очистить поверхность его отъ жирныхъ пятенъ. Опустивъ гипсотермометръ, снабженный двумя кольцами, пробковымъ и гуттаперчевымъ, въ верхнее отверстіе трубки кипятильника, трубки эти надо раздвинуть такъ, чтобы низъ шарика гипсотермометра пришелся на 10—20 миллиметровъ надъ поверхностью воды въ кипятильникѣ, въ которомъ слой воды долженъ быть въ 15 — 20 миллиметровъ. Послѣ этого зажигаютъ спиртовую лампу подъ кипятильникомъ и закрываютъ боковую дверцу деревяннаго ящика. Чрезъ нѣсколько минутъ вода начнетъ кипѣть, что обнаружится паромъ, выходящимъ изъ внѣшней оболочки кипятильника. Чрезъ нѣсколько секундъ послѣ этого слѣдуетъ дѣлать отсчеты температуры кипѣнія.

Полученный отсчетъ долженъ быть исправленъ величиною поправки точки кипѣнія. Опытами доказано, что поправка точки кипѣнія термометра та же самая, что и поправка точки нуля. Поэтому, чтобы опредѣлить поправку точки кипѣнія, надо только найти поправку точки нуля гипсотермометра, для чего необходимо дѣлать наблюденія надъ нимъ въ ледяной ваннѣ.

Глава XXXII.

ПРОИЗВОДСТВО ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЙ ТРІАНГУЛЯЦІИ.

Описавъ устройство и употребленіе инструментовъ для непосредственнаго измѣренія угловъ и линій, а также инструментовъ и пріемовъ для опредѣленія разности высотъ точекъ, приступимъ къ опи-

санію производства съемокъ. Съемки производятся слѣдующими способами: треугольниками, засѣчками, ординатами, обходомъ и квадратами, или кварталами, а также глазомѣрно.

330. Общія понятія о тригонометрической тріангуляціи. При составленіи плана значительныхъ пространствъ, недостаточно употреблять строгіе способы для измѣренія линій и угловъ. Слѣдуя только этому правилу, получимъ планъ, вѣрный въ началѣ, у исходныхъ пунктовъ, но могущій сдѣлаться весьма неточнымъ съ удаленіемъ отъ нихъ, вслѣдствіе накопленія ошибокъ, неизбѣжныхъ при переходѣ съ одной точки стоянія инструмента на другую. Изъ этого слѣдуетъ, что чѣмъ больше установокъ инструмента, тѣмъ больше накопится ошибокъ, поэтому и обратно: уменьшеніе числа точекъ стоянія инструмента уменьшитъ накопленіе ошибокъ.

Въ виду этого, въ началѣ каждой точной съемки слѣдуетъ, небольшимъ числомъ установокъ инструмента, опредѣлить на планѣ положеніе небольшого числа точекъ, расположенныхъ по всему снимаемому участку, чтобы эти точки служили основаніями для съемокъ подробностей.

Съемка треугольниками, или тріангуляція, основана на томъ началѣ, что треугольникъ совершенно опредѣляется, если извѣстна одна его сторона и всѣ его углы. При этой съемкѣ выбираютъ рядъ точекъ, расположенныхъ такимъ образомъ, чтобы съ каждой изъ нихъ были видны, по крайней мѣрѣ, двѣ сосѣднія точки: соединяя умственно проекціи всѣхъ этихъ точекъ на поверхности океана дугами большихъ круговъ земного шара, получаютъ рядъ сферическихъ треугольниковъ, покрывающихъ всю страну или часть ея. Измѣривъ всѣ углы въ этихъ треугольникахъ и опредѣливъ длину одной какой-нибудь стороны, называемой базисомъ, получаютъ возможность вычислить длину всѣхъ остальныхъ сторонъ и, слѣдовательно, найти положеніе всѣхъ вершинъ треугольника.

Такъ какъ производство тригонометрической тріангуляціи представляетъ собою работу сложную, требующую большихъ денежныхъ средствъ и опытныхъ производителей работы, то она производится послѣдовательно отдѣльными участками, обнимающими собою небольшія протяженія, и только впослѣдствіи сводится въ одну общую работу. *Пункты, опредѣленные тригонометрической тріангуляціей, называются опорными или основными*, такъ какъ они служатъ затѣмъ основаніями для производства геометрической тріангуляціи и

съемки подробностей наносимой на карту. Опорные пункты опредѣляютъ не только тригонометрически, но также и астрономически, т. е. опредѣляютъ ихъ широты и долготы. Когда производится тригонометрическая тріангуляція, то опредѣляются астрономически долготы и широты только нѣкоторыхъ пунктовъ этой тріангуляціи, а для остальныхъ вычисляются широты и долготы на основаніи данныхъ тріангуляціи; такимъ образомъ, при помощи тріангуляціи опредѣляется относительное положеніе этихъ пунктовъ по отношенію къ прочимъ. Широты и долготы астрономически опредѣляются съ точностью до долей секунды; а такъ какъ одна секунда на земной поверхности можетъ соотвѣтствовать около 14 саженъ (§ 65), то ошибка при опредѣленіи астрономическихъ пунктовъ можетъ простираться до одной сажени. При тригонометрической же тріангуляціи пункты опредѣляются съ точностью до $0{,}001''$, и, слѣдовательно, линейная ошибка можетъ быть не болѣе 0,14 саж.

Непосредственное точное измѣреніе линій на земной поверхности не можетъ быть считаемо работою скорою и всегда удобною; часто этому представляются препятствія естественными условіями, какъ-то: рѣками, озерами, болотами, горами, оврагами, лѣсами, а также гражданскими и искусственными сооруженіями; измѣренію же угловъ между предметами всѣ указанныя препятствія лишь въ рѣдкихъ случаяхъ могутъ представлять затрудненія. Тригонометрическія тріангуляціи или обнимаютъ собою всю страну, когда она невелика, каковы Западно-Европейскія государства, или же производятся рядами или цѣпями, когда государство обширно, какъ напримѣръ, Россія. Для достиженія возможно большей точности при производствѣ этой съемки, необходимо, чтобы число треугольниковъ было какъ можно меньше, т. е. чтобы они были возможно бо́льшаго размѣра. Но такъ какъ тріангуляція производится также съ цѣлью доставленія мензульной съемкѣ основанія (базиса), то размѣры этихъ треугольниковъ должны быть таковы, чтобы на каждую мензульную доску приходилось не менѣе двухъ точекъ, опредѣленныхъ тригонометрически. Поэтому, чтобы удовлетворить обоимъ вышесказаннымъ условіямъ, тригонометрическая тріангуляція составляется изъ треугольниковъ различныхъ разрядовъ.

Треугольники перваго разряда берутся самыхъ бо́льшихъ размѣровъ. Принявъ стороны этихъ треугольниковъ за основанія, строятъ на

нихъ рядъ треугольниковъ 2-го разряда и на этихъ послѣднихъ еще и третій разрядъ. Всѣ эти треугольники вычисляются, какъ треугольники малаго изгиба (§ 65-ый).

Стороны треугольниковъ 1-го разряда, обыкновенно, дѣлаются отъ 20 до 40 верстъ. На ровной мѣстности трудно придать сторонамъ треугольниковъ большую длину, такъ какъ этому препятствуетъ выпуклость земли, не дозволяющая видѣть предметы на значительныхъ разстояніяхъ, а также недостаточная прозрачность воздуха, прилегающаго къ нижнимъ частямъ земной поверхности. Но въ гористыхъ мѣстахъ, гдѣ можно найти точки, значительно возвышающіяся надъ общимъ уровнемъ поверхности земного шара, и гдѣ воздухъ обыкновенно прозрачнѣе воздуха равнинъ, треугольникамъ 1-го разряда даютъ большіе размѣры, такъ что длина сторонъ треугольниковъ въ гористыхъ мѣстностяхъ можетъ доходить до 400 верстъ. При тріангуляціи, соединявшей Европу съ Африкой, нѣкоторыя стороны треугольниковъ были болѣе 200 верстъ. При тріангуляціи въ С. Америкѣ длина сторонъ доходила до 400 верстъ.

Треугольники низшихъ разрядовъ, служащіе основаніемъ для мензульной съемки, должны быть такихъ размѣровъ, чтобы на каждомъ мензульномъ листѣ помѣщалось, какъ сказано выше, не менѣе двухъ точекъ, опредѣленныхъ тригонометрически. У насъ мензульныя доски имѣютъ обыкновенно 22 дюйма въ сторонѣ, что, за исключеніемъ одного дюйма на рамку, составитъ 20 дюймовъ въ квадратѣ, слѣдовательно, *при масштабѣ 250 саж. въ дюймѣ, сторона мензульнаго планшета равна* $250 \times 20 = 5000$ *саж., или 10 верстамъ. А потому стороны треугольниковъ низшаго разряда должны быть не болѣе 10—12 верстъ.*

Необходимо, чтобы всѣ эти треугольники не заключали слишкомъ острыхъ или тупыхъ угловъ, и *лучше всего, чтобы они были, по возможности, равносторонними.*

Дѣйствительно, если нѣкоторая линія AB опредѣлена или измѣрена съ нѣкоторою ошибкою, такъ что: $AB = a + \alpha$, гдѣ a есть истинная длина, а α — ошибка, то, опредѣляя стороны AC и BC изъ треугольника ABC, найдемъ:

$$AC = \frac{(a + \alpha)\sin B}{\sin C}, \quad BC = \frac{(a + \alpha)\sin A}{\sin C}.$$

Изъ этихъ формулъ видно, что, если всѣ углы равны между со-

бою, т. е. равны 60°, то AC и BC будутъ опредѣлены съ тою же ошибкою, какъ и AB, т. е. съ ошибкою, равною α.

Если бы уголъ B остался попрежнему равнымъ 60°, а A и C измѣнились, напримѣръ, C равнялся бы 30° то $A = 90°$ и слѣдовательно:

$$AC = \frac{(a + \alpha)\sin B}{\frac{1}{2}} = 2(a + \alpha)\sin 60°,$$

или

$$AC = (a + \alpha)\sqrt{3};\ CB = 2(a + \alpha),$$

т. е. ошибка въ сторонѣ AC была бы $\alpha\sqrt{3}$, а въ BC она равнялась бы 2α, т. е. больше, нежели въ треугольникѣ равноугольномъ.

При углѣ C, меньшемъ 30°, ошибка въ вычисленныхъ сторонахъ будетъ еще больше.

331. Чѣмъ надо руководствоваться, отступая отъ равносторонней формы треугольниковъ? Выбирать всѣ треугольники равносторонними затруднительно; поэтому надлежитъ вывести правила, которыхъ надо держаться, чтобы ошибки измѣреній вліяли на вычисленія сторонъ не различнымъ, а одинаковымъ образомъ.

Положимъ, имѣемъ сѣть или цѣпь треугольниковъ; пусть въ первомъ изъ нихъ одна сторона b извѣстна или измѣрена непосредственно, или получена изъ вычисленій другой какой-либо тріангуляціи 1-го класса. Изъ треугольниковъ, слѣдующихъ одинъ за другимъ, можемъ написать (черт. 412).

$$a_1 = b\frac{\sin A_1}{\sin B_1},\quad a_2 = a_1\frac{\sin A_2}{\sin B_2},\ \ldots\ldots,\ a_n = a_{n-1}\frac{\sin A_n}{\sin B_n}.$$

Перемноживъ эти равенства и сокративъ обѣ части результата помноженія на $a_1, a_2, \ldots\ldots, a_{n-1}$, найдемъ:

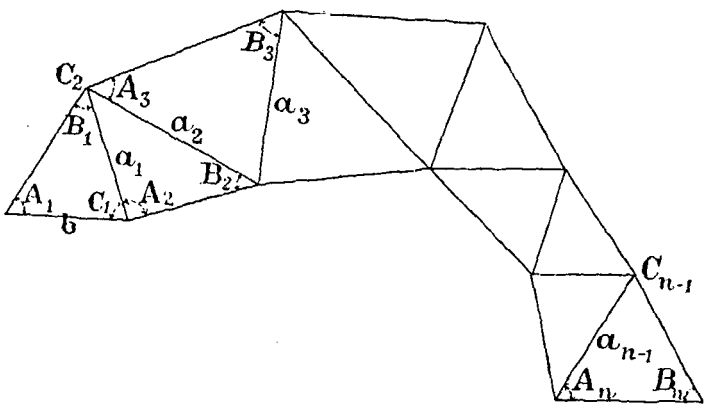
$$a_n = b\frac{\sin A_1 \sin A_2 \sin A_3 \ldots\ldots \sin A_n}{\sin B_1 \sin B_2 \sin B_3 \ldots\ldots \sin B_n}.$$

Формула удобная для логариѳмированія.

Каждый изъ множителей вида $\frac{\sin A_1}{\sin B_1}$ опредѣлится съ нѣкоторою ошибкою. Чѣмъ больше число треугольниковъ, тѣмъ больше и число частныхъ вида $\frac{\sin A_1}{\sin B_1}$, тѣмъ съ большею ошибкою опредѣлится и сторона a_n, поэтому ошибка въ послѣдней сторонѣ будетъ тѣмъ

меньше, чѣмъ меньше число треугольниковъ, а для этого слѣдовало бы придать треугольникамъ видъ, изображенный на чертежѣ (черт. 413). Углы: A_1, A_2, ... B_1, B_2, ... называются *связывающими* углами, стороны: a_1, a_2, ..., a_n также называются сторонами *связывающими*. Углы же: C_1, C_2, ... и стороны: c_1, c_2, ... называются углами и сторонами *промежуточными*.

Дифференція логарифмовъ sinus'овъ угловъ при измѣненіи угла на 1″ измѣняется весьма различно, смотря по величинѣ угла: чѣмъ уголъ меньше, тѣмъ дифференція больше; для угла, близкаго къ 90°, дифференція семизначнаго логарифма равна нулю, для угла въ 60°



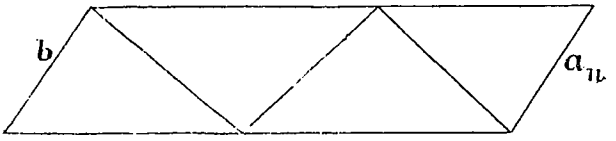
Черт. 412.

она равна 0,0000121 и для угла въ 30° равна 0,0000362. Изъ этого видимъ, что для того, чтобы ошибки, зависящія отъ дифференцій въ логарифмахъ sinus'овъ, вліяли наименьшимъ образомъ, нужно было бы брать связывающіе углы равными 90°, т. е. цѣпи треугольниковъ слѣдовало бы придавать видъ такой, какъ показано на чертежѣ 414. Но такъ какъ при такой цѣпи число треугольниковъ дѣлается большимъ, то вслѣдствіе этого явятся большія ошибки. Такимъ образомъ, удовлетворяя второму условію, приходится отказываться отъ перваго, и обратно.

Кромѣ того, первая система треугольниковъ (черт. 413) удобнѣе сравнительно со второю (черт. 414) еще и тѣмъ, что требуетъ меньшаго числа тригонометрическихъ знаковъ и меньшаго числа измѣреній угловъ, т. е. она выгоднѣе въ экономическомъ отношеніи.

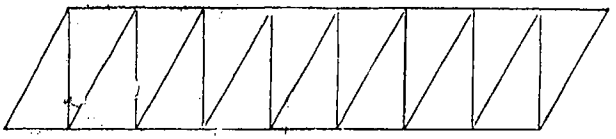
Вслѣдствіе всего этого, еще болѣе становится понятнымъ стремленіе брать треугольники равностороннимп.

Но *если условія мѣстности таковы, что потребуется взять треугольникъ съ очень острымъ угломъ, то этотъ уголъ надо взять такъ, чтобы онъ былъ промежуточнымъ, а не связывающимъ, такой*



Черт. 413.

треугольникъ введетъ въ числителя и знаменателя формулы (1) по одному лишнему множителю, вводящему лишь малыя ошибки; треугольникъ же съ острымъ связывающимъ угломъ уменьшитъ число множителей въ числителѣ и знаменателѣ формулы (1), т. е. введетъ



Черт 414.

по одному множителю вмѣсто нѣсколькихъ, но зато онъ введетъ бо́льшую ошибку, чѣмъ совокупность нѣсколькихъ множителей, менѣе ошибочныхъ.

Такимъ образомъ, достоинства различныхъ треугольниковъ тригонометрической цѣпи могутъ быть различны. Если назовемъ α и β дифференціи логариѳмовъ sinus'овъ связывающихъ угловъ при измѣненіи ихъ на $1''$, то выраженіе:

$$\frac{1}{3}\left[\alpha^2 + \beta^2 + (\alpha + \beta)^2\right] = S$$

называется *квадратомъ ошибки геометрической связи* даннаго треугольника. Когда связывающіе угл. близки къ $90°$, то величины α и β близки къ нулю, и тогда S — величина очень малая.

Половину промежуточной стороны треугольника Струве назвалъ

подвигомъ, поэтому для треугольника, стороны котораго равны 30-ти верстамъ, подвигъ равенъ 15-ти верстамъ.

Квадратъ ошибки геометрической связи даннаго треугольника и подвигъ его суть два противоположныхъ мѣрила геометрическаго достоинства треугольника, поэтому за мѣру геометрическаго достоинства треугольника принято считать отношеніе подвига къ квадрату ошибки геометрической связи, т. е. отношеніе:

$$\frac{\frac{1}{2}C}{S} = b_1, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

гдѣ C—длина промежуточной стороны, а S—квадратъ ошибки геометрической связи.

Если углы треугольника равны 60°, а стороны 30-ти верстамъ, то эта мѣра равна:

$$15 : \frac{(12,1)^2 + (12,1)^2 + (24,2)^2}{3} = \frac{15}{292,82}.$$

Обозначимъ $\frac{15}{292,82}$ буквою b. Отношеніе $\frac{b_1}{b} = d$ — Струве называетъ *геометрическимъ вѣсомъ треугольника*, у котораго промежуточная сторона равна C, слѣдовательно: $d = \frac{292,82}{30} \cdot \frac{C}{S}$.

Точность результатовъ вычисленія тріангуляціи зависитъ не только отъ геометрическаго вѣса треугольниковъ, но также и отъ точности измѣренія ихъ угловъ. Точность измѣреній угловъ лучше всего опредѣляется разностью между суммою измѣренныхъ угловъ и геодезической величиной этой суммы, т. е. такою разностью:

$$A + B + C - (180° + \varepsilon) = K,$$

гдѣ A, B, C — величины измѣренныхъ угловъ треугольника, а ε — сферическій избытокъ этого же треугольника. Если бы углы были измѣрены безошибочно, то K равнялось бы нулю; чѣмъ больше K отличается отъ нуля, тѣмъ меньше точность измѣренія угловъ. Величина, равная $\frac{1}{K^2}$, называется *тригонометрическимъ вѣсомъ треугольника*. Произведеніе же геометрическаго вѣса на тригонометрическій вѣсъ называется *общимъ вѣсомъ треугольника*, слѣдовательно, этотъ общій вѣсъ равенъ: $P = \frac{d}{K^2}$. Чѣмъ больше P, тѣмъ лучше выбраны и треугольники, и въ нихъ также хорошо измѣрены углы.

Но можно, выбравъ хорошо треугольники, измѣрить дурно углы, и тогда общій вѣсъ уменьшится. И обратно, если по необходимости приходится взять треугольники съ малымъ геометрическимъ вѣсомъ, то надо путемъ тщательнаго измѣренія угловъ придать имъ большій тригонометрическій вѣсъ

332. Осмотръ мѣстности, предназначенной для тригонометрической тріангуляціи. У насъ, въ Россіи, производятся каждый годъ тріангуляціонныя работы; такъ, напримѣръ, въ настоящее время при военно-топографическомъ отдѣлѣ имѣется особое управленіе для тріангуляцій въ западномъ пограничномъ пространствѣ, имѣющее въ своемъ распоряженіи до 20-ти опытныхъ съемщиковъ. Къ веснѣ каждаго года въ этомъ управленіи составляются предположенія о производствѣ этого рода работъ, а также о такъ называемыхъ нивеллиръ-теодолитныхъ работахъ. Предположенія эти наносятся на карту трехъ-верстнаго масштаба, на ней назначаются всѣ пункты, подлежащіе опредѣленію въ данное лѣто. Число пунктовъ разсчитывается такъ, чтобы оно было не болѣе 50 или 60 на каждаго тріангулятора. При этомъ всѣ эти пункты привязываются къ пунктамъ, опредѣленнымъ прежними тріангуляціями. Каждый тріангуляторъ снабжается картою трехъ-верстнаго масштаба, на которой наносятся не только тѣ пункты 1-го, 2-го и 3-го классовъ, которые должны быть сняты имъ самимъ, но также и пункты сосѣднихъ участковъ для его соображеній.

Прежде чѣмъ начать производство тригонометрической тріангуляціи, каждый тріангуляторъ осматриваетъ назначенную ему мѣстность и окончательно выбираетъ тѣ мѣста, гдѣ должны расположиться тригонометрическіе пункты, причемъ ему разрѣшается дѣлать отступленія отъ первоначальнаго предположенія съ объясненіемъ причины такого отступленія. Такая рекогносцировка обезпечиваетъ для тріангуляціи хорошій выборъ пунктовъ, отстраняетъ всякія недоразумѣнія; такъ, напримѣръ, сигналы тогда можно построить надлежащей высоты, ихъ не придется надстраивать, не придется бросать и строить новые. При рекогносцировкѣ объѣзжаютъ мѣстность или верхомъ, или въ экипажѣ, имѣя при себѣ карту съ проектированною на ней тріангуляціей на мягкой неломающейся бумагѣ, хорошій бинокль, буссоль Шмалькальдера, анероидъ, чертежныя принадлежности; кромѣ того, за тріангуляторомъ слѣдуетъ обозъ съ необходимыми принадлежностями для постановокъ

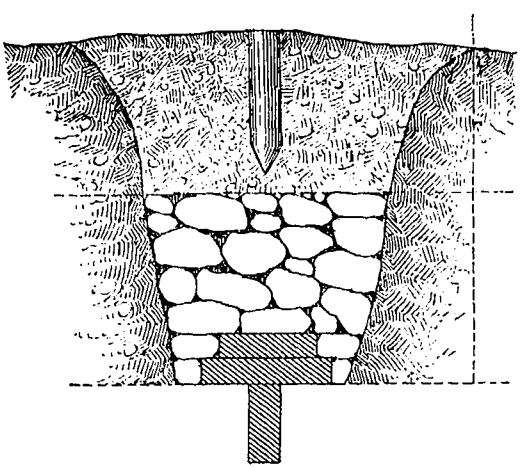
вѣхъ и для подъема на высокія деревья, какъ-то: веревочная лѣстница, стремянка. Если на мѣстности, предположенной для тригонометрической тріангуляціи, имѣются пункты прежнихъ тріангуляцій, то выбираютъ два такихъ пункта, принадлежащихъ къ первоклассной сѣти, которые были бы видны одинъ изъ другого и, кромѣ того, видны изъ разныхъ другихъ точекъ мѣстности; эти два пункта и будутъ служить базисомъ для новой тріангуляціи; когда на мѣстности нѣтъ пунктовъ прежней тріангуляціи, то выбираютъ, по возможности, ровное и открытое мѣсто для базиса. Съ концовъ, такъ или иначе, выбраннаго базиса, производитель тріангуляціи осматриваетъ мѣстность по направленію предполагаемой работы, замѣчаетъ всѣ возвышенные пункты, отдѣльные холмы, высокія зданія, колокольни и проч., и измѣряетъ буссолью на всѣ эти пункты азимуты, наноситъ на карту при помощи транспортира всѣ эти азимуты, благодаря чему, положеніе всѣхъ предметовъ получается на картѣ прямою засѣчкою, хотя и приблизительно. Кромѣ того, производитель тріангуляціи, находясь на каждомъ изъ концовъ выбраннаго базиса, записываетъ, на какіе предметы проектируются замѣченные имъ предметы, т. е. что видно сзади этихъ предметовъ: лѣсъ, возвышенность, постройка или прямо небесный сводъ. Дѣлается это для того, чтобы знать, какую слѣдуетъ дать окраску сигналу, чтобы онъ былъ лучше виденъ. Послѣ этого производитель тріангуляціи переѣзжаетъ на одинъ изъ пунктовъ, отмѣченныхъ имъ на картѣ, лучше всего на болѣе возвышенный, что онъ опредѣляетъ или на глазъ, или изъ разспросовъ мѣстныхъ жителей. Пріѣхавъ къ выбранному пункту, осматриваетъ весь горизонтъ, ориентируетъ карту по направленіямъ, или заранѣе проектированнымъ, или прочерченнымъ имъ на одномъ изъ концовъ базиса, и беретъ азимуты на всѣ пункты, видные съ мѣста, въ которомъ онъ находится. Если этотъ пунктъ представляетъ гору, покрытую лѣсомъ, то, чтобы лучше произвести осмотръ, онъ или влѣзаетъ на верхушку какого-либо дерева, или же всходитъ на верхнюю часть какого-либо зданія, находящагося по близости, колокольню церкви, башню какого-нибудь дома и т. п. Если пришлось для осмотра влѣзть на дерево, то послѣ осмотра привязываютъ къ этому дереву вѣху достаточной высоты, а къ верхушкѣ вѣшки прикрѣпляютъ большой пукъ соломы или бѣлый холстинный мѣшокъ, набитый соломою, и для соображеній, какой высоты здѣсь придется

строить тригонометрическій знакъ, измѣряютъ высоту верхушки вѣхи отъ земли. Разсмотрѣвъ всѣ направленія, прочерченныя на картѣ, производитель тріангуляціи дѣлаетъ соображенія, какіе изъ пунктовъ наивыгоднѣйшіе, при этомъ онъ руководствуется такими соображеніями: углы для первоклассной сѣти не должны быть менѣе 40°, и съ каждаго пункта должно быть видно, по крайней мѣрѣ, два другихъ, но лучше, если три-четыре.

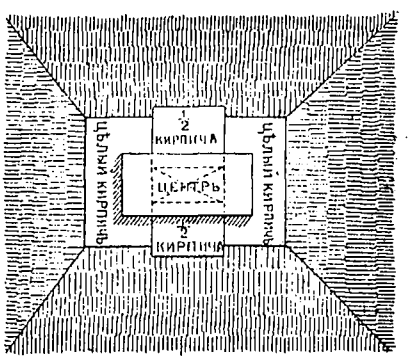
Осмотръ пунктовъ въ свѣтлые дни лучше всего производить между 3 и 7 часами дня или утромъ послѣ разсвѣта, такъ какъ въ это время дня предметы лучше видны; соотвѣтственно съ этимъ располагаютъ и временемъ переѣздовъ съ одного пункта на другой.

Выбравъ надлежащимъ образомъ мѣста для тригонометрическихъ сигналовъ, приступаютъ къ постройкѣ ихъ.

333. О тригонометрическихъ сигналахъ и о центрахъ. Точки тригонометрической сѣти должны быть означены какими-либо знаками



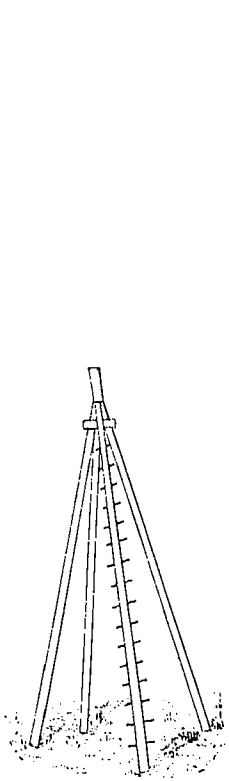
Черт. 416 *a*.



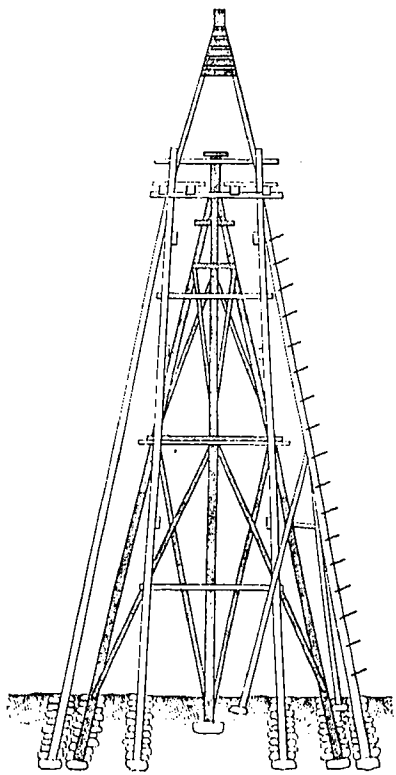
Черт. 416 *b*.

и сигналами, удобными для визированія на нихъ съ прочихъ пунктовъ. Сигналы устраиваютъ такъ, чтобы они были удобны также для измѣренія угловъ съ нихъ на другіе пункты. Поэтому тригонометрическимъ сигналамъ придаютъ симметрическую форму. Если мѣстность открыта, и съ нея хорошо видны другіе пункты, то устраиваютъ самые простые сигналы въ видѣ четырехъ-угольной пирамиды, состоя-

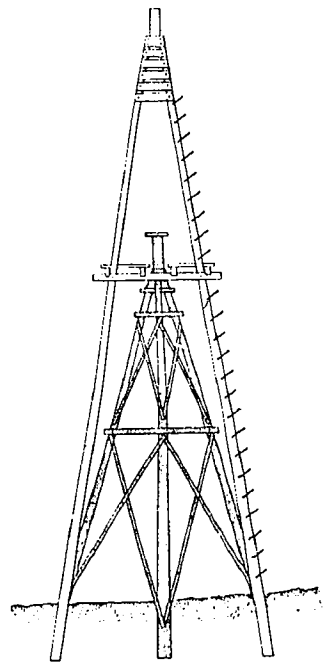
щей изъ 4-хъ бревенъ (черт. 415), закопанныхъ въ землю, въ вершинѣ сколоченныхъ гвоздями съ отвѣснымъ небольшимъ бревномъ цилиндрической формы. Верхнюю часть этого бревна окрашиваютъ въ черную краску, а нижнюю въ бѣлую; называется это бревно *визирнымъ цилиндромъ*. Подъ этимъ цилиндромъ зарывается въ землю



Черт. 415.

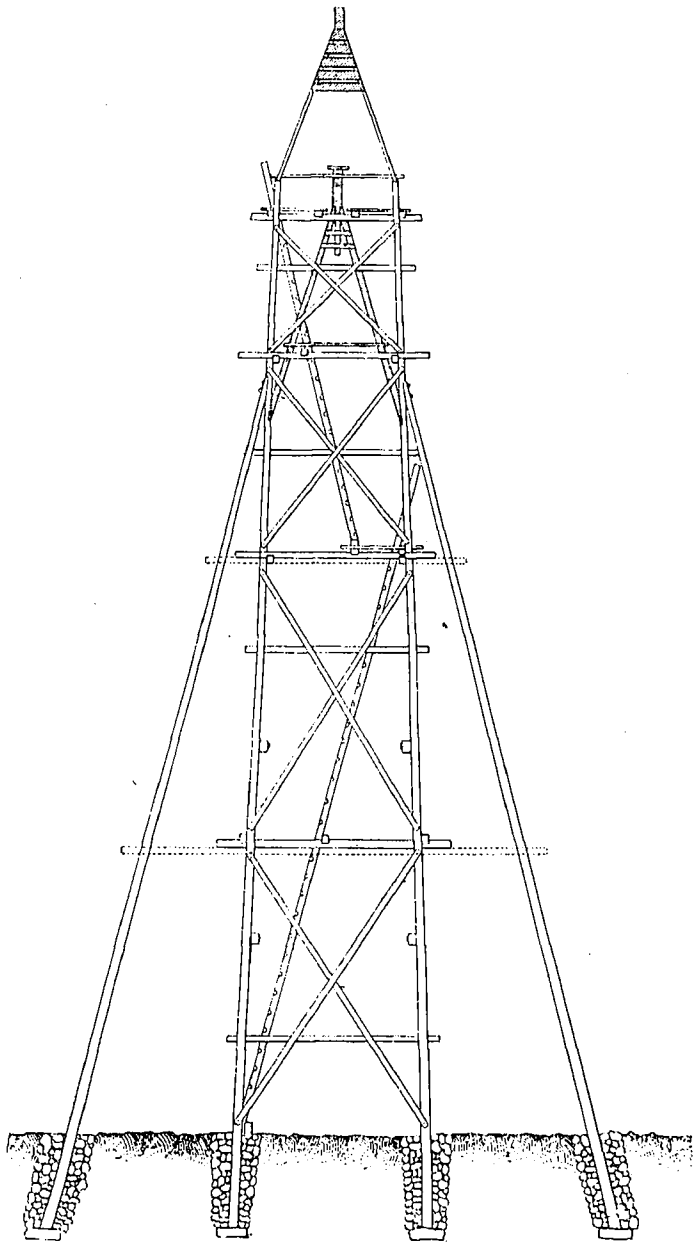


Черт. 417.



Черт. 418.

или камень, или свая, или пушка казенною частью вверхъ, или же устраивается цѣлый фундаментъ. У насъ же большею частью кладется 5 кирпичей на $1^1/_2$ аршина отъ поверхности земли (черт. 416 *а*); на одномъ изъ нихъ, среднемъ, чертятся двѣ линіи, и точка пересѣченія ихъ служитъ проекціей оси визирнаго цилиндра. Точка эта называется *центромъ сигнала*, и надъ ней устанавливается угломѣрный инструментъ. Въ каменномъ центрѣ иногда вырубаютъ кир-



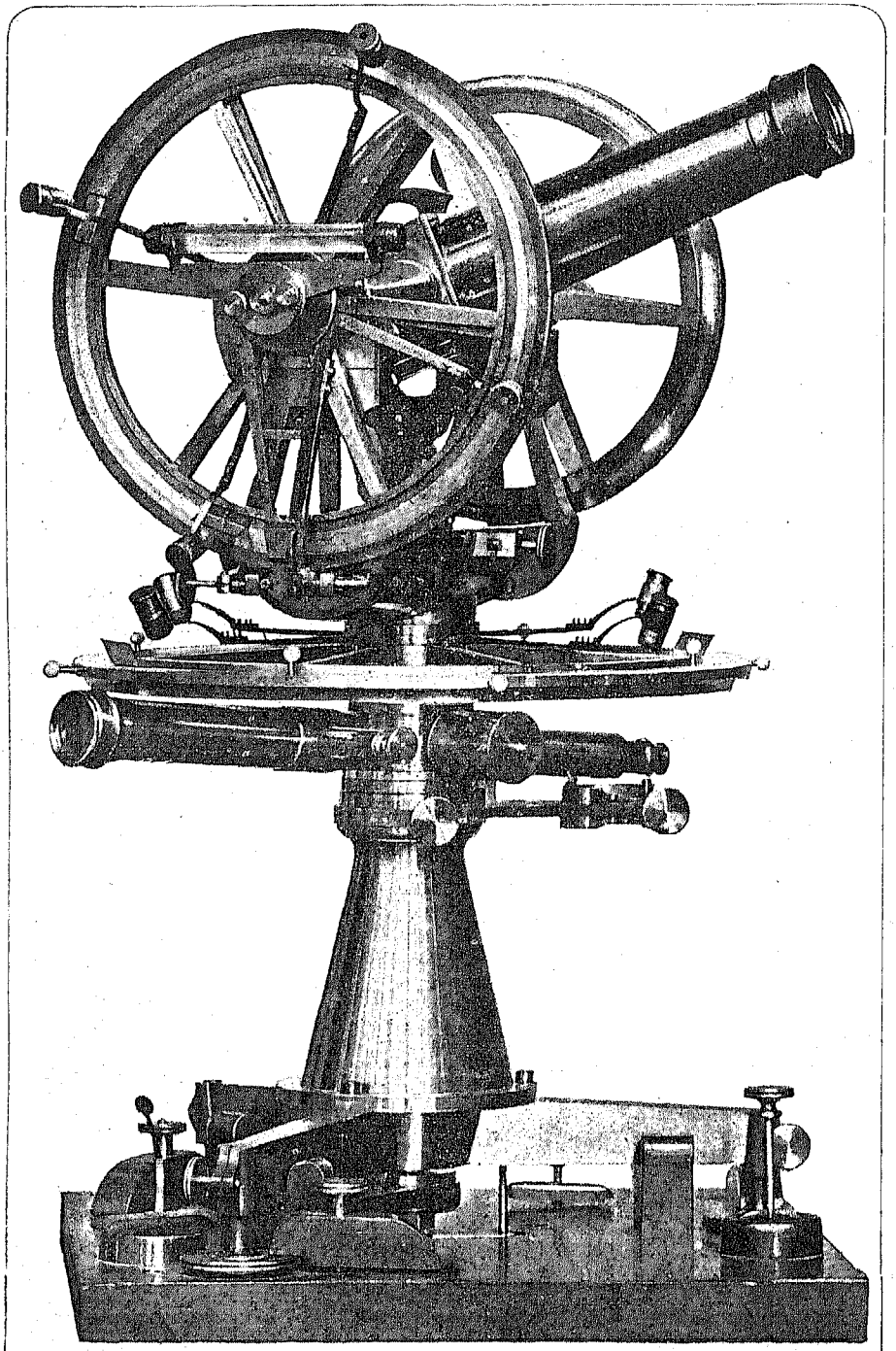
Черт. 419.

кой небольшое отверстіе, которое затѣмъ заливаютъ свинцомъ, а въ свинецъ, иногда, вставляютъ серебряный кружочекъ съ точкой въ центрѣ кружка или же такую точку дѣлаютъ въ свинцѣ.

Если центръ закрытый, то надъ нимъ вбиваютъ колъ съ гвоздемъ (черт. 416*а*). Иногда устраиваютъ центръ открытый.

Если мѣстность такова, что сосѣдніе пункты можно видѣть съ высоты 2—3 саженъ, то въ пирамидѣ, описанной выше, на большой ея высотѣ устраиваютъ помостъ, изъ котораго выступаетъ небольшой столикъ для постановки на немъ инструмента. Если надо подняться на большую высоту, чтобы видѣть сосѣдніе пункты, то сигналамъ придаютъ форму, показанную на чертежахъ 417-мъ, 418 и 419-мъ.

334. Нѣкоторыя замѣчанія объ угломѣрныхъ инструментахъ, употребляемыхъ при тріангуляціи. У насъ при тріангуляціяхъ употребляются теодолиты двухъ родовъ: одни для первоклассной сѣти съ точностью ноніуса въ 4″, другіе—для второклассной и третьеклассной сѣтей съ точностью ноніуса въ 10″. Среднюю ошибку въ измѣреніи одного угла теодолитомъ для первоклассной сѣти считаютъ отъ $\pm$ 5″ до $\pm$ 1″, для теодолита второго рода ее считаютъ до $\pm$ 3″. Первые теодолиты снабжены четырьмя ноніусами у круговъ, вторые—только двумя. Трубы переводятся чрезъ зенитъ. Обыкновенно въ такихъ теодолитахъ трубы астрономическія, т. е. изображеніе въ нихъ получается обратное, сѣтка состоитъ изъ нѣсколькихъ вертикальныхъ и горизонтальныхъ волосковъ, но, вмѣсто двухъ среднихъ перекрестныхъ нитей, иногда устраиваютъ по двѣ горизонтальныхъ нити, такъ что центръ сѣтки находится въ центрѣ маленькаго квадратика. При такомъ устройствѣ предметъ не скрывается средними нитями, наведеніе на предметъ совершается точнѣе, и опытъ показалъ, что, при угловомъ разстояніи между средними нитями, равномъ 30″ — 40″, точность наведенія можно считать равною 3″ — 4″. Во всемъ остальномъ трубы ничѣмъ не отличаются отъ употребляемыхъ въ обыкновенныхъ теодолитахъ. На чертежѣ 420-мъ показанъ универсальный инструментъ Эртеля, употреблявшійся при тріангуляціи, предпринятой для градуснаго измѣренія по $47^1/_2$ параллели отъ Кишенева до Астрахани. Теодолиты, употребляемые у насъ при тріангуляціяхъ, снабжаются повѣрительными трубами. Кромѣ уровня при алидадѣ горизонтальнаго круга, въ такихъ теодолитахъ всегда имѣется еще 2-й уровень, онъ разыгрываетъ такую же роль отно-



Черт. 420.

сительно вертикальнаго круга, какъ повѣрительная труба относительно круга горизонтальнаго, т. е. даетъ возможность знать, существуетъ ли неизмѣняемость или измѣняемость вертикальнаго круга при передвиженіи трубы въ отвѣсной плоскости.

Для болѣе точнаго чтенія мелкихъ частей одного дѣленія лимба, употребляютъ микрометры съ микроскопами, въ этомъ случаѣ алидадный кругъ снабжается 2-мя или 4-мя выступами, на концахъ которыхъ, перпендикулярно къ плоскости лимба, привинчиваются микроскопы. Въ трубѣ микроскопа, въ общемъ фокусѣ ея объектива и окуляра, получается увеличенное изображеніе нѣсколькихъ смежныхъ дѣленій лимба. Въ мѣстѣ изображенія помѣщается пара нитей, укрѣпленныхъ на рамкѣ микрометра, которая можетъ передвигаться продольно, когда вращаютъ микрометренный винтъ. Шляпка этого винта раздѣляется на части, и у шляпки имѣется индексъ, по которому отсчитывается число дѣленій шляпки. Къ рамкѣ микрометра придѣлавается маленькая металлическая гребенка съ нѣсколькими зубцами, напримѣръ, 8-ью, средина гребенки означается особымъ большимъ вырѣзомъ; когда винтъ дѣлаетъ цѣлый оборотъ, то каждая нить передвигается на одинъ зубецъ, подобно тому какъ это описано въ § 222-мъ.

При употребленіи угломѣрнаго инструмента для тригонометрической тріангуляціи, надо обращать большое вниманіе на уходъ за этимъ инструментомъ, такъ какъ отъ этого во многомъ зависитъ неизмѣняемость его. Если движеніе отдѣльныхъ частей инструмента дѣлается тугимъ, съ сильнымъ треніемъ, то подвинчиваніемъ пружинокъ или ослабленіемъ ихъ можно устранить это тугое вращеніе. Вообще же, необходимо, чтобы движеніе отдѣльныхъ частей было плавное, безъ шатанія осей во втулкахъ. Отдѣльныя части инструмента необходимо отъ времени до времени разбирать, обтирать втулки и оси тряпкою, смоченною керосиномъ, а затѣмъ сухою тряпкою и смазывать ихъ костянымъ масломъ. Пыль стираютъ особою кисточкою изъ мягкихъ волосъ, которою снабжается всякій подобный инструментъ. Укладку въ ящикъ инструмента и выниманіе его изъ ящика никогда не слѣдуетъ поручать рабочимъ, которые, и при добромъ желаніи обращаться съ этими инструментами осторожно, по незнанію могутъ ихъ легко испортить грубымъ прикосновеніемъ къ нѣжнымъ частямъ инструмента. Разъ инструментъ помѣщенъ въ ящикъ, то

этотъ послѣдній долженъ находиться всегда въ такомъ положеніи, чтобы вертикальная ось вращенія инструмента находилась въ вертикальномъ положеніи, а не въ горизонтальномъ.

335. Какое правило надо соблюдать при измѣреніи угловъ тріангуляціи? При измѣреніи вертикальныхъ угловъ трубу наводятъ на визирный цилиндръ такъ, чтобы онъ находился между двумя вертикальными волосками сѣтки и чтобы верхушка цилиндра была ниже четыреугольника, образованнаго двумя парами среднихъ вертикальныхъ и горизонтальныхъ волосковъ. При измѣреніи горизонтальныхъ угловъ, центръ волосковъ устанавливаютъ правѣе или лѣвѣе предмета, но такъ, чтобы верхушка предмета находилась между двумя средними горизонтальными волосками. Дѣлается такое наведеніе грубо, рукою, а затѣмъ труба и алидада горизонтальнаго лимба закрѣпляются, и предметъ вводится въ центръ средняго квадрата волосковъ положительнымъ движеніемъ микрометреннаго винта, такъ какъ только при этомъ движеніи будетъ перемѣщаться центръ волосковъ. Положительнымъ движеніемъ микрометреннаго винта называется вращеніе его по направленію часовыхъ стрѣлокъ. При измѣреніи угловъ, предметы надо вводить въ центръ волосковъ всегда однообразно, стремясь поставить ихъ въ центрѣ, т. е. на равномъ разстояніи отъ всѣхъ четырехъ волосковъ, иначе точность наведенія будетъ различна. Между двумя наблюденіями микрометренные винты надо вращать въ обратную сторону, иначе отъ постояннаго вращенія въ положительную сторону станетъ, наконецъ, невозможнымъ передвиженіе микрометренныхъ винтовъ.

При рекогносцировкѣ назначаютъ на картѣ всѣ пункты, вводимые въ тригонометрическую сѣть, и, до приступа къ измѣренію угловъ на мѣстѣ, измѣряютъ приблизительно на картѣ величину угловъ транспортиромъ съ каждаго пункта; благодаря этому, легче будетъ разыскивать пункты, а слѣдовательно, между наблюденіями не будетъ проходить много времени. Самый отдаленный пунктъ или хуже другихъ видимый принимается за начальный. Выбирается такой пунктъ за начальный, потому что на него приходится визировать въ два раза большее число разъ, чѣмъ на остальные пункты. У насъ принято измѣрять углы при тріангуляціяхъ круговыми пріемами, т. е. труба наводится на всѣ пункты, послѣдовательно одинъ за другимъ, на-

чная съ начальнаго. Прежде всего устанавливаютъ надлежащимъ образомъ инструментъ, трубу поворачиваютъ такъ, чтобы при этомъ положеніи вертикальный кругъ былъ слѣва отъ наблюдателя. Потомъ нули ноніуса и алидады сводятъ съ нулями горизонтальнаго лимба, закрѣпляютъ алидаду и поворачиваютъ лимбъ до тѣхъ поръ, пока труба не будетъ наведена на начальный пунктъ, закрѣпляютъ лимбъ, наводятъ повѣрительную трубу на какой-либо предметъ или марку и направляютъ ее окончательно положительнымъ движеніемъ микрометреннаго винта лимба; затѣмъ положительнымъ же движеніемъ микрометреннаго винта алидады направляютъ верхнюю трубу на начальный пунктъ, послѣ чего дѣлаютъ отсчеты по ноніусамъ, освобождаютъ алидаду и, вращая ее по направленію часовыхъ стрѣлокъ, послѣдовательно наводятъ на всѣ пункты, оканчивая начальнымъ пунктомъ. Это составляетъ полуприемъ. Переводятъ трубу черезъ зенитъ или перекладываютъ горизонтальную ея ось вращенія въ лагеряхъ, послѣ чего положеніе вертикальнаго круга будетъ справа отъ наблюдателя, наводятъ трубу послѣдовательно на всѣ пункты, на какіе наводили въ первомъ полуприемѣ, но только вращая алидаду по направленію, обратному движенію часовыхъ стрѣлокъ, и оканчивая наведеніе опять начальнымъ пунктомъ. Такимъ образомъ составляется уже цѣлый пріемъ.

Начиная второй пріемъ, оставляютъ трубу въ томъ положеніи, въ какомъ она была въ концѣ предыдущаго пріема, а лимбъ переводятъ на $\frac{360^\circ}{n}$, гдѣ n — число пріемовъ. Порядокъ работы въ одномъ пріемѣ указываетъ, что, благодаря ему, уничтожится вліяніе гнутія спицъ лимба отъ тренія алидады, такъ какъ насколько онѣ гнутся въ одну сторону въ первомъ полупріемѣ, настолько же онѣ должны гнуться въ другую сторону во второмъ полупріемѣ.

Если при инструментѣ имѣется повѣрительная труба, то лучше, если при инструментѣ работаютъ 2 наблюдателя, и тогда одинъ изъ нихъ визируетъ повѣрительной трубой на выбранный предметъ или марку, а другой окончательно беретъ направленіе на пунктъ, послѣ того, какъ первый дастъ знать, что повѣрительная труба установлена хорошо. Послѣ этого первый наблюдатель читаетъ по ноніусамъ, а второй записываетъ эти отсчеты въ журналъ и выводитъ среднюю величину изъ всѣхъ 4-хъ или двухъ ноніусовъ. Этотъ же наблюдатель дѣлаетъ и другія вычисленія. Если измѣренія были безошибочны,

то величины угловъ, найденныя изъ каждаго пріема, должны быть однѣ и тѣ же. Но, конечно, онѣ окажутся неодинаковыми. Взявъ среднюю ариѳметическую изъ всѣхъ отсчетовъ одного угла и сравнивъ ее съ каждымъ изъ угловъ, находятъ точность наведенія на каждый изъ сигналовъ. Изъ этого видимъ, что чѣмъ больше число пріемовъ, тѣмъ точность наведенія возрастаетъ.

Если при инструментѣ имѣется повѣрительная труба, а наблюдатель одинъ, то онъ смотритъ при каждомъ наведеніи въ обѣ трубы, и самъ записываетъ и вычисляетъ, вслѣдствіе этого теряется много времени, а имъ нужно дорожить, такъ какъ могутъ произойти измѣненія въ погодѣ, и работу, разъ начатую, придется прекратить и начинать вновь въ другой разъ. Если измѣреніе дѣлаетъ одинъ наблюдатель, то главное значеніе повѣрительной трубы значительно ослабляется, такъ какъ нельзя быть убѣжденнымъ, что лимбъ не отойдетъ въ промежутокъ времени между наведеніемъ повѣрительной и алидадной трубы.

Когда имѣется повѣрительная труба и работаютъ 2 наблюдателя, то приходится иногда нѣсколько разъ дѣлать наведенія на одинъ и тотъ же сигналъ, вслѣдствіе того, что сходятъ то та, то другая труба, и это единственное неудобство повѣрительной трубы; но это неудобство во многихъ инструментахъ послѣдняго времени устранено тѣмъ, что повѣрительная труба скрѣплена со втулкою лимба наглухо, а въ самой трубѣ имѣется микрометръ съ подвижной нитью и нѣсколько вертикальныхъ, постоянныхъ нитей, такъ что, когда повѣрительная труба отходитъ отъ марки, то при помощи микрометра можно знать, насколько центръ сѣтки отошелъ отъ марки, а зная угловое разстояніе, соотвѣтствующее разстоянію между вертикальными волосками, можно знать, насколько отошелъ лимбъ, и, слѣдовательно, насколько отсчетъ при данномъ наведеніи надо потомъ исправить.

Если приходится работать одному наблюдателю, то иногда не употребляютъ повѣрительной трубы, а измѣряютъ углы только наведеніемъ одною верхнею трубою, причемъ предъ всякимъ наведеніемъ на новый сигналъ дѣлаютъ наведенія на начальный пунктъ. Удобство такого способа заключается въ томъ, что можно такимъ образомъ измѣрить утромъ углы между предметами, расположенными на западной

сторонѣ горизонта, а вечеромъ между расположенными на восточной части горизонта, т. е. въ то время, когда сигналы будутъ лучше всего освѣщены, такъ какъ утромъ предметы на восточной сторонѣ хуже освѣщены, чѣмъ на западной, а вечеромъ обратно.

Окончивъ измѣреніе горизонтальныхъ угловъ, приступаютъ къ измѣренію угловъ вертикальныхъ. При этомъ визируютъ на верхушки визирныхъ цилиндровъ сигналовъ, высота которыхъ надъ землею опредѣлена. Измѣреніе вертикальныхъ угловъ дѣлается при двухъ положеніяхъ трубы такъ, что полуразность отсчетовъ даетъ величину угла, а полусумма даетъ мѣсто нуля. При визированіи смотрятъ также на уровень при вертикальномъ кругѣ; это дѣлаетъ одинъ наблюдатель, а если ихъ два, то, въ то время, какъ одинъ наводитъ трубу, другой поправляетъ уровень.

336. О геліотропѣ. На разстояніяхъ, большихъ 30-ти верстъ, сигналы, даже довольно высокіе, видны въ трубы угломѣрныхъ инструментовъ только въ рѣдкихъ случаяхъ при особенно благопріятныхъ атмосферныхъ условіяхъ, и когда пункты эти хорошо освѣщены; поэтому отдаленные пункты часто освѣщаютъ искусственно, напримѣръ, электрическими фонарями, какъ это было сдѣлано при производствѣ тріангуляціи между Европой и Африкой. При разстояніяхъ не столь большихъ употребляютъ особые инструменты, называемые *геліотропами*, освѣщающіе предметы отраженными лучами солнца.

Геліотропъ Гауса состоитъ изъ приспособленія, въ видѣ особаго цилиндра, надѣваемаго на объективъ трубы. Этотъ цилиндръ снабжается двумя осями, на которыхъ могутъ вращаться два зеркала. Если направить трубу инструмента съ одного пункта на другой— отдаленный пунктъ, а затѣмъ поставить оси зеркалъ геліотропа такъ, чтобы отраженные лучи солнца шли прямо въ поле зрѣнія трубы, на которую надѣтъ геліотропъ, то наблюдатель, находящійся на другомъ пунктѣ, увидитъ первый пунктъ освѣщеннымъ. При этомъ необходимо чрезъ каждыя 2—3 минуты измѣнять положеніе зеркалъ, такъ какъ солнце не остается на одномъ мѣстѣ. Геліотропомъ съ успѣхомъ можно пользоваться даже и тогда, когда направленіе изъ одного предмета извѣстно приблизительно, а самый предметъ и не виденъ. Въ Германіи, при пользованіи геліотропомъ Гауса, не считаютъ даже нужнымъ устраивать сигналовъ.

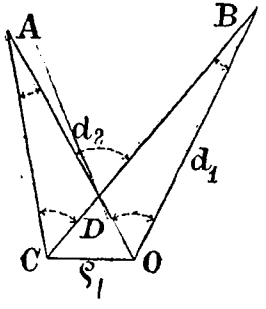
Геліотропъ Струве состоитъ изъ зеркала на оси и двухъ діоптровъ, установленныхъ на подставкѣ.

Геліотропами можно пользоваться лишь въ ясные солнечные дни, поэтому они употребляются не всегда. При тріангуляціяхъ, производимыхъ у насъ въ настоящее время въ западномъ пограничномъ пространствѣ, геліотропы не употребляются.

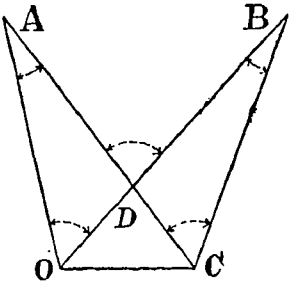
При производствѣ тригонометрической тріангуляціи во Франціи измѣряли углы между пунктами ночью, когда атмосфера тише, и для освѣщенія сигналовъ употребляли сильныя керосиновыя лампы.

337. Приведеніе угловъ, измѣренныхъ внѣ центра сигнала, къ центру сигнала. Устраивая тригонометрическій сигналъ такъ или иначе, его снабжаютъ всегда двумя существенно необходимыми частями: *цилиндромъ* на верхушкѣ его, служащимъ для визированія на него съ другихъ пунктовъ, и *центромъ*, о чемъ сказано въ § 333. Центръ сигнала закладывается всегда такъ, чтобы онъ находился на одной отвѣсной линіи съ осью визирнаго цилиндра для того, чтобы углы, измѣренные на горизонтальномъ лимбѣ при визированіи на цилиндры сигналовъ, вмѣстѣ съ тѣмъ были горизонтальными углами между центрами сигналовъ. Устроить такимъ образомъ сигналъ очень затруднительно, и если даже въ началѣ, послѣ постройки сигнала, это требованіе было удовлетворено, то чрезъ нѣкоторое время, вслѣдствіе неравномѣрной осадки различныхъ частей сигнала и усыханія дерева, условіе это не будетъ выполнено. Кромѣ того, не всегда возможно установить угломѣрный инструментъ, въ точности, надъ центромъ сигнала; такъ, напримѣръ, установивъ инструментъ надъ центромъ, можно не увидѣть того или другого предмета, на который надо было визировать, чему могутъ помѣшать какія-нибудь части самого сигнала. Кромѣ того, иногда приходится брать за тригонометрическіе знаки такія сооруженія, надъ центрами которыхъ нельзя поставить угломѣрный инструментъ. Иногда же просто предпочитаютъ ставить угломѣрный инструментъ внѣ центровъ сигналовъ, такъ какъ этимъ путемъ возможно установить лучшій контроль за измѣреніемъ угловъ, какъ то и дѣлалъ В. Струве въ Балтійской тріангуляціи. Поэтому, въ очень рѣдкихъ случаяхъ центръ сигнала и оси визирнаго цилиндра находятся на одной отвѣсной линіи. Слѣдовательно, надо указать способы нахожденія поправокъ угловъ, зависящихъ отъ этого несовпаденія, или, какъ говорятъ, способы *приведенія угла къ центру сигнала*, или способы центрировки.

Положимъ, что C изображаетъ центръ сигнала (черт. 421), A и B—визирные цилиндры двухъ другихъ сигналовъ. Надо измѣрить уголъ ACB, но, по тѣмъ или другимъ причинамъ, угломѣрный инструментъ былъ поставленъ не въ C, а въ O, такъ что уголъ AOB из-



Черт. 421.



Черт. 422.

вѣстенъ изъ измѣренія; назовемъ его, для краткости, буквою O. Покажемъ, какъ опредѣлить величину угла C.

Изъ треугольниковъ ACD и DOB найдемъ:

$$D = C + A, \quad D = O + B,$$

откуда

$$C + A = O + B,$$

или

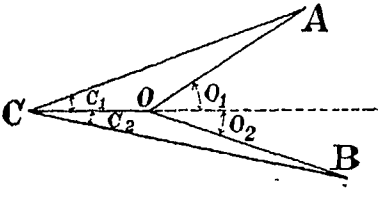
$$C - O = B - A.$$

Если бы искомый уголъ находился справа отъ O (черт. 422), то получили бы:

$$O + A = C + B,$$

откуда

$$C - O = A - B.$$



Черт. 423.

Если бы C находилось позади O (черт. 423), то нашли бы попрежнему:

$$O_1 = C_1 + A, \quad O_2 = C_2 + B.$$

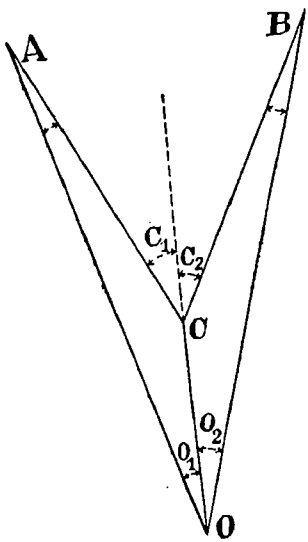
Складывая, получили бы:

$$O = C + A + B,$$

откуда

$$C - O = -(A + B),$$

Если бы C находилось впереди O, то изъ чертежа 424 нашли бы:



Черт. 424.

$$C_1 = A + O_1 \quad \text{и} \quad C_2 = B + O_2,$$

откуда

$$C = A + B + O,$$

или

$$C - O = A + B.$$

Углы же A и B опредѣляются по слѣдующимъ формуламъ. Назовемъ уголъ AOC буквою φ_1 (черт. 421), тогда можемъ написать:

$$\frac{\sin B}{\sin (O + \varphi_1)} = \frac{\rho_1}{CB} \quad \text{и} \quad \frac{\sin A}{\sin \varphi_1} = \frac{\rho_1}{AC}.$$

Углы B и A углы малые, такъ какъ ρ_1 нѣсколько саженъ, а CB и AB, т. е. разстоянія между сигналами, равны нѣсколькимъ верстамъ, поэтому, вмѣсто послѣднихъ формулъ, можно взять такія:

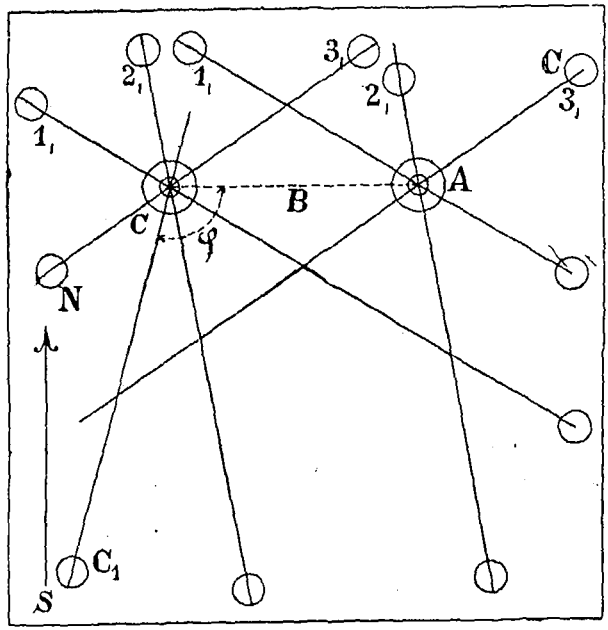
$$B = \frac{\rho_1 \sin (O + \varphi_1)}{CB \sin 1''} \quad \text{и} \quad A = \frac{\rho_1 \sin \varphi_1}{AC \sin 1''} \quad \ldots\ldots (1)$$

Въ этихъ формулахъ CB и AC, стороны треугольника $BC\Phi$ величины неизвѣстныя, поэтому дѣлаютъ такъ: когда всѣ углы сѣти измѣрены, то рѣшаютъ всѣ треугольники, какъ прямолинейные, употребляя при этомъ пятизначные логариѳмы; вычисленныя стороны будутъ заключать малыя ошибки, а на основаніи вычисленныхъ такимъ образомъ сторонъ, вычисляютъ углы B и A по формулѣ (1), причемъ ошибки въ A и B будутъ уже ничтожныя, вслѣдствіе малости этихъ угловъ. Когда же извѣстны A и B, то дѣлаютъ вновь вычисленіе треугольниковъ сѣти, какъ сферическихъ треугольниковъ малаго изгиба.

Что касается величины ρ_1, то она называется *элементомъ центрировки* и опредѣляется по способамъ, о которыхъ скажемъ далѣе.

338. Нахожденіе элементовъ центрировки графическимъ путемъ. *Элементами центрировки* называется горизонтальное разстояніе между центромъ сигнала и точкою, въ которой находился инструментъ; это разстояніе мы уже означали буквою ρ_1. Кромѣ того, элементами центрировки называются: 1) горизонтальное разстояніе между центромъ сигнала и проекціею оси визирнаго цилиндра; это разстояніе будемъ означать буквою ρ, и 2) уголъ, составленный направленіемъ ρ_1 съ направленіемъ на какой-либо сигналъ съ того тригонометрическаго пункта, элементы центрировки котораго желаемъ опредѣлить; уголъ этотъ мы означимъ буквою φ. Разстояніе ρ для каждаго сигнала обыкновенно настолько мало, что оно всегда можетъ помѣститься на одномъ листѣ бумаги, если не простой, то александрійской или ватманской, точно также обыкновенно мало и разстояніе ρ_1 отъ центра сигнала до той точки, въ которой находился инструментъ при измѣреніи угловъ. Итакъ, задача заключается въ опредѣленіи графическимъ путемъ трехъ величинъ: ρ_1, ρ и φ. Опредѣленіе это дѣлается тотчасъ же послѣ измѣренія угловъ на тригонометрическомъ пунктѣ слѣдующимъ образомъ. Надъ центромъ сигнала устанавливаютъ особый столикъ, называемый центрировочнымъ; доскѣ этого столика часто придаютъ треугольную форму со срѣзанными углами такой величины, чтобы къ ней можно было приколоть кнопками листъ бумаги. Установивъ столикъ, прочерчиваютъ направленіе магнитнаго меридіана по буссоли на бумагѣ, наколотой на столикѣ; затѣмъ надъ центромъ сигнала ставятъ гвоздь или винтъ, шляпкою внизъ, для возможности визировать на центръ сигнала. Одинъ изъ наблюдателей устанавливаетъ, саженяхъ въ 20 отъ сигнала, маленькій теодолитъ въ такомъ мѣстѣ, откуда былъ бы виденъ въ трубу визирный цилиндръ сигнала и доска центрировочнаго столика; наводитъ вертикальный волосокъ на середину визирнаго цилиндра и затѣмъ опускаетъ трубу до тѣхъ поръ, пока не увидитъ доски центрировочнаго столика; въ это время другой наблюдатель держитъ очиненный карандашъ отвѣсно, такъ, чтобы остріе карандаша касалось бумаги вблизи одного края столика, и переставляетъ карандашъ по указаніямъ перваго наблюдателя до тѣхъ поръ, пока отвѣсный волосокъ трубы не покроетъ карандаша, или пока карандашъ не будетъ находиться на срединѣ между двумя средними отвѣсными волосками; послѣ того, какъ карандашъ установленъ въ надлежащемъ мѣстѣ,

второй наблюдатель обчерчиваетъ кружочкомъ точку, въ которой касалось остріе карандаша, и вновь ставитъ карандашъ вблизи противоположнаго края листа бумаги; установивъ его окончательно на новомъ мѣстѣ, по знакамъ перваго наблюдателя, обчерчиваетъ точку кружочкомъ. Чрезъ обѣ, полученныя такимъ образомъ (черт. 425), точки прочерчиваетъ линію. Эта линія будетъ слѣдомъ проектирующей плоскости оси визирнаго цилиндра. Подобнымъ образомъ получается на бумагѣ слѣдъ проектирующей плоскости центра сигнала.

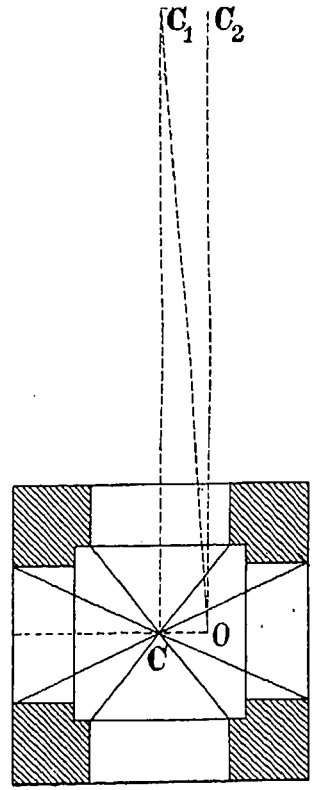


Черт. 425.

Получивъ на бумагѣ двѣ линіи, теодолитъ переносятъ въ новую точку и поступаютъ попрежнему; вновь получаютъ на бумагѣ двѣ линіи. Пересѣченія соотвѣтственныхъ слѣдовъ дадутъ на бумагѣ проекціи оси визирнаго цилиндра и центра сигнала. Для повѣрки этихъ пересѣчекъ переносятъ теодолитъ въ третью точку и получаютъ на бумагѣ еще двѣ линіи; онѣ или пройдутъ чрезъ полученныя раньше проекціи центра и оси визирнаго цилиндра, или не пройдутъ чрезъ нихъ; въ послѣднемъ случаѣ получатся треугольники погрѣшности, и если стороны ихъ равны нѣсколькимъ линіямъ дюйма, то центры этихъ треугольниковъ надо принять за искомыя проекціи, въ про-

тивномъ случаѣ, надо передѣлать вновь всю работу опредѣленія элементовъ центрировки. Такимъ образомъ, на чертежѣ 425-мъ получены въ пересѣчкѣ трехъ линій точки C и A. Разстояніе между ними $AC = \rho$ будетъ искомымъ разстояніемъ, а чтобы найти величину φ, надо переставить теодолитъ такъ, чтобы карандашъ, установленный въ точкѣ C, покрывалъ сигналъ, на который бралось первоначальное направленіе. Послѣ этого можно будетъ прочертить направленіе CC_1 и измѣрить по транспортиру уголъ $C_1CA = \varphi$. Если разстояніе ρ было бы таково, что на одномъ листѣ бумаги оно не помѣстилось, то одну изъ точекъ, либо C, либо A, можно получить, приложивъ другой листъ бумаги и продолживъ направленія, проведенныя на первомъ листѣ.

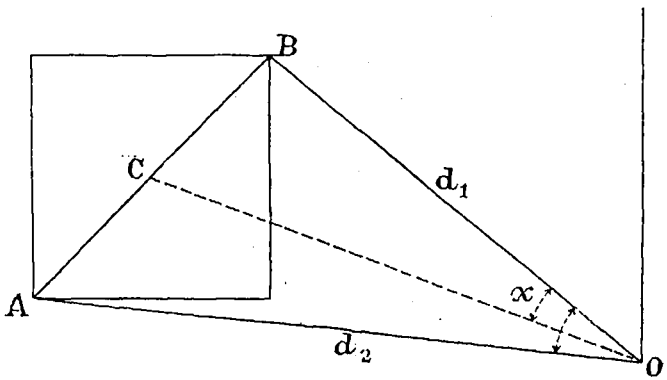
339. Нахожденіе элементовъ центрировки непосредственнымъ измѣреніемъ. Когда за тригонометрическій пунктъ взято какое-либо существующее сооруженіе, какъ, напримѣръ, колокольня церкви, башня, то въ этомъ случаѣ обыкновенно измѣряютъ элементы центрировки непосредственно. Съ другихъ пунктовъ направленіе на колокольню или башню, принятыхъ за тригонометрическій пунктъ, дѣлается или на цилиндръ, поддерживающій крестъ колокольни, или на шпицъ башни. Если проекцію оси визирнаго цилиндра или конуса на помостъ колокольни или башни, гдѣ устанавливается теодолитъ для измѣренія угловъ, опредѣлить непосредственно нельзя, то обыкновенно полагаютъ, что центръ этого помоста вмѣстѣ съ тѣмъ есть и проекція оси визирнаго цилиндра или конуса. Положеніе центра помоста разыскиваютъ по пересѣченію тонкихъ веревочекъ, натягиваемыхъ по направленію осей симметріи этого помоста, какъ, напримѣръ, показано на чертежѣ 426-мъ. Положеніе проекціи центра угломѣрнаго инструмента O на помостъ опредѣляется по отвѣсу; такимъ образомъ, разстояніе



Черт. 426.

между центромъ помоста C и проекціей центра теодолита O равно искомому ρ. Искомый уголъ φ равенъ тогда углу OCC_1.

340. Нахожденіе элементовъ центрировки помощью вспомогательныхъ измѣреній и вычисленій. Когда, по какимъ-либо обстоятельствамъ, на верхнемъ помостѣ башни или колокольни, принятыхъ за тригонометрическіе пункты, нельзя установить угломѣрнаго инструмента для измѣренія угловъ на другіе тригонометрическіе сигналы, то приходится поставить инструментъ въ нѣкоторомъ разстояніи отъ башни или колокольни. Въ этомъ случаѣ вычисляютъ элементы центрировки на основаніи другихъ величинъ, измѣренныхъ непосредственно. Если, напримѣръ, въ планѣ сооруженіе имѣетъ квадратную



Черт. 427.

форму, центръ его въ точкѣ C (черт. 427), а инструментъ находится въ точкѣ O, то, чтобы вычислить разстояніе $OC = \rho_1$, измѣряютъ непосредственно уголъ AOB и разстоянія $BO = d_1$ и $AO = d_2$. Назовемъ уголъ BOC буквою x.

Изъ треугольниковъ CBO и COA можемъ написать:

$$\frac{d_1}{CB} = \frac{\sin BCO}{\sin x} \text{ и } \frac{CA}{d_2} = \frac{\sin (O - x)}{\sin ACO};$$

такъ какъ $CB = CA$ и $\sin BCO = \sin ACO$, то, послѣ помноженія этихъ двухъ равенствъ другъ на друга, получимъ:

$$\frac{\sin (O - x)}{\sin x} = \frac{d_1}{d_2},$$

откуда, составивъ сложную пропорцію, найдемъ:

$$\frac{tang\left(\frac{O}{2}-x\right)}{tang\,\frac{O}{2}} = \frac{d_1-d_2}{d_1+d_2}.$$

Такъ какъ d, d_1 и O извѣстны, то по этой формулѣ найдемъ $\frac{O}{2}-x$, а слѣдовательно, и x. Найдя x, опредѣлимъ ρ_1; дѣйствительно изъ тѣхъ же треугольниковъ получимъ:

$$\frac{d_1}{BA} = \frac{sin\ BAO}{sin\ O}, \qquad \frac{\frac{BA}{2}}{\rho_1} = \frac{sin\ (O-x)}{sin\ BAO}.$$

Умножая одно на другое, найдемъ:

$$\frac{d_1}{2\rho_1} = \frac{sin\ (O-x)}{sin\ O},$$

откуда

$$\rho_1\ sin\ (O-x) = \frac{d_1}{2}\ sin\ O. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Изъ этого уравненія получается ρ_1 по такой формулѣ:

$$\rho_1 = \frac{d}{2}\ \frac{sin\ O}{sin\ (O-x)}.$$

Но можно опредѣлить его и иначе. Какъ найдено уравненіе (2), такимъ же образомъ найдемъ:

$$\rho_1\ sin\ x = \frac{d_2}{2}\ sin\ O \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Складывая (2) и (3), получимъ:

$$\rho_1\ [sin\ x + sin\ (O-x)] = \frac{d_1+d_2}{2}\ sin\ O,$$

или

$$\rho_1 = \frac{d_1+d_2}{2} \cdot \frac{sin\ O}{sin\ x + sin\ (O-x)},$$

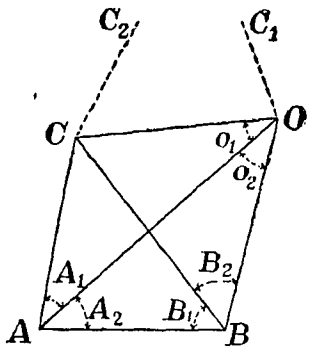
но

$$\frac{sin\ O}{sin\ x + sin\ (O-x)} = \frac{2\ sin\ \frac{O}{2}\ cos\ \frac{O}{2}}{2\ sin\ \frac{O}{2}\ cos\left(\frac{O}{2}-x\right)},$$

слѣдовательно:

$$\rho_1 = \frac{d_1+d_2}{2} \cdot \frac{cos\ \frac{O}{2}}{cos\left(\frac{O}{2}-x\right)}.$$

Для угла φ, въ этомъ случаѣ, по малости ρ_1, можно взять дополнительный до 180° угла COC_1, полученнаго визированіемъ на C и C_1, гдѣ C_1—сигналъ, на который бралось первое направленіе съ O. Это можно сдѣлать въ виду того, что направленія OC_1 и CC_1, по малости ρ_1, можно считать параллельными, хотя они пересѣкаются.



Черт. 428.

Подобнымъ образомъ опредѣляются элементы центрировки, если сооруженіе, взятое для тригонометрическаго пункта, имѣетъ въ планѣ или восьмиугольникъ, или шестиугольникъ, или кругъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда измѣреній угла O и длинъ d_1 и d_2 сдѣлать почему либо нельзя, дѣлаютъ отдѣльную небольшую тріангуляцію. Напримѣръ, если точка C — шпицъ башни (черт. 428), а инструментъ могъ быть поставленъ въ O, тогда, выбравъ вблизи C и O небольшой базисъ AB, измѣряютъ его, а также углы: A_1, A_2, B_1, B_2, O_1, O_2 и дѣлаютъ вычисленіе длины $CO=\rho_1$, а для угла φ берутъ дополненіе угла COC_1 до 180°. Такъ какъ базисъ здѣсь берется небольшой, то вычисленія дѣлаются на основаніи формулъ прямолинейной тригонометріи.

341. Общія понятія о нормальныхъ мѣрахъ и базисныхъ приборахъ. Для измѣренія базисовъ тригонометрической сѣти употребляютъ особые приборы, называемые *базисными*. Приборы эти состоятъ, главнымъ образомъ, изъ жезловъ, предварительно сравненныхъ съ нормальными мѣрами. Нормальныя мѣры дѣлаютъ, преимущественно изъ мѣди и стали, иногда изъ дерева. Имъ придаютъ различную форму и дѣлаютъ ихъ или со штрихами, или концевыми. Нормальныя мѣры со штрихами снабжаются штрихами или точками, вырѣзанными на малыхъ серебряныхъ, платиновыхъ или золотыхъ пластинкахъ, вдѣланныхъ на концахъ мѣры. Концевыя нормальныя мѣры оканчиваются небольшими цилиндриками съ выпуклыми оконечностями изъ полированнаго твердаго металла, а иногда изъ агата.

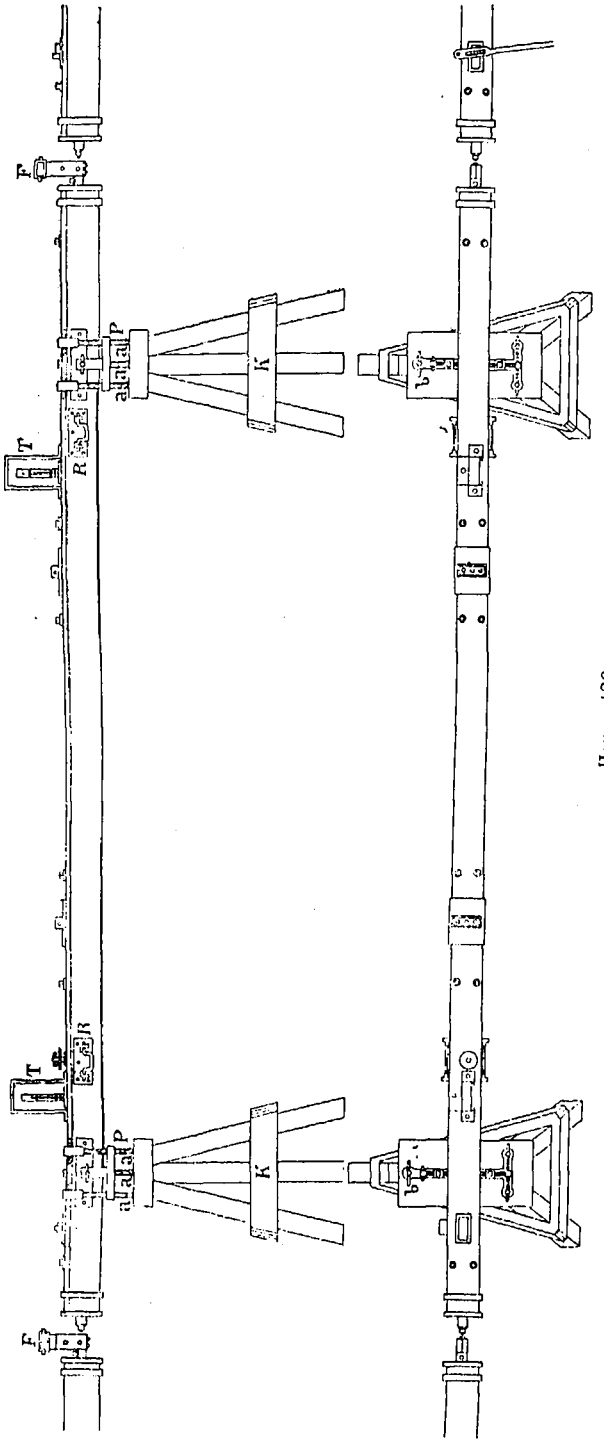
За единицу длины большей части геодезическихъ измѣреній принятъ Перуанскій тоазъ — концевая мѣра. Съ нея сдѣланы 3 копіи: жезлъ Борды № 1, вторая копія, сдѣланная для В. Струве въ 1821 году,

третья для Бесселя, въ 1823 году, всѣ три сравненныя съ оригиналомъ и засвидѣтельствованныя Араго. Русская же нормальная мѣра, длиною въ 2 тоаза, сдѣлана по тоазу Струве. Бельгійская и Прусская нормальныя мѣры—копіи тоаза Бесселя.

342. Базисный приборъ В. Струве. Онъ состоитъ изъ 4-хъ жезловъ кованнаго желѣза длиною по 2 тоаза. На чертежѣ 429-мъ изображенъ въ фасадѣ и планѣ одинъ жезлъ полностью и части прилегающихъ къ нему двухъ смежныхъ жезловъ. Одинъ конецъ каждаго жезла, называемый твердымъ, оканчивается маленькимъ стальнымъ цилиндрикомъ, ось котораго совпадаетъ съ осью жезла. Оконечность цилиндрика отполирована по слегка выпуклой поверхности. Другой конецъ жезла снабженъ стальнымъ ломаннымъ рычагомъ (F), называемымъ фюльгебелемъ и непосредственно скрѣпленнымъ съ самимъ жезломъ. Нижнее плечо рычага фюльгебеля оканчивается полированнымъ полушаромъ, называемымъ мягкимъ концомъ, верхнее же длинное плечо можетъ двигаться по раздѣленной дугѣ, составляющей одно цѣлое съ жезломъ. Когда черта индекса длиннаго плеча показываетъ среднее дѣленіе дуги, на которой имѣется черта, съ надписью 15-ть, тогда жезлъ имѣетъ нормальную длину. Но длина его опредѣляется также и при всякомъ другомъ положеніи рычага.

Каждый жезлъ лежитъ на 2-хъ подставкахъ и заключенъ въ ящикъ, изъ котораго выступаютъ только его концы; отъ рѣзкихъ перемѣнъ температуры жезлы защищены обмотками изъ ваты и холста. Температура каждаго жезла опредѣляется при помощи 2-хъ термометровъ T и T_1, шарики которыхъ введены въ самое тѣло жезловъ.

343. Измѣреніе базиса приборомъ Струве. Линія, выбранная для базиса, обыкновенно расчищается и планируется, т. е. дѣлается, по возможности, горизонтальною, чрезъ впадины и овраги строятъ даже маленькіе мостики. Жезлы кладутся въ одной вертикальной плоскости при помощи особаго маленькаго теодолита, устанавливаемаго саженяхъ въ 200—300, по линіи базиса въ той ея части, куда направляется измѣреніе, такъ что послѣдняя стоянка теодолита берется за конецъ базиса. Ящики съ жезлами кладутся на козла такъ, чтобы твердый конецъ перваго жезла пришелся, въ точности, надъ первымъ базиснымъ центромъ, для этого въ нѣсколькихъ саженяхъ отъ центра устанавливаютъ особый теодолитъ по линіи, перпендикулярной къ линіи базиса, наводятъ трубу этого теодолита на центръ базиса такъ, чтобы центръ пришелся между 2-мя среднимъ вертикаль-



Черт. 429.

ными волосками сѣтки, послѣ чего поднимаютъ трубу такъ, чтобы увидѣть конецъ перваго жезла, и если онъ не придется между вертикальными волосками, то весь жезлъ передвигаютъ, независимо отъ ящика, особымъ винтомъ до тѣхъ поръ, пока конецъ жезла не займетъ мѣста между средними вертикальными волосками. Затѣмъ повторяютъ наведеніе еще одинъ разъ, сначала на центръ, а затѣмъ на конецъ жезла. Установивъ такимъ образомъ первый жезлъ, начинаютъ установку второго жезла такъ, чтобы твердый конецъ его почти касался мягкаго конца перваго жезла, а передній конецъ съ фюльгебелемъ передвигаютъ 2 наблюдателя вправо или влѣво, при помощи подъемныхъ (*a*, *a*, *a*) и азимутныхъ (*b*, *b*) винтовъ, входящихъ въ мѣдныя подставки, положенныя на козлы

(черт. 429). Одна изъ этихъ подставокъ имѣетъ одинъ горбъ, а другая 2 горба, такъ что каждый ящикъ съ жезломъ лежитъ на 3-хъ опорныхъ точкахъ.

Какъ сказано выше, одинъ изъ наблюдателей находится при теодолитѣ и подаетъ сигналы для установки жезловъ по линіи базиса, два наблюдателя устанавливаютъ жезлы и записываютъ, каждый въ своемъ журналѣ, показанія уровня, показанія фюльгебеля и показанія термометровъ, четвертый переноситъ и устанавливаетъ уровень и распоряжается переноскою и установкою козелъ, которыхъ при 4-хъ жезлахъ имѣется 5 паръ. Установивъ всѣ 4 жезла по линіи базиса и пятую пару козелъ, начинаютъ наблюдать отсчеты по уровню, термометрамъ и фюльгебелю на первомъ жезлѣ; записавъ соотвѣтствующія числа, наблюдатели свѣряютъ свои записи, и если онѣ расходятся болѣе чѣмъ на 0,2 одного дѣленія, то провѣряютъ вновь; послѣ этого 4-й наблюдатель переноситъ уровень съ 1-го жезла на 2-й, дѣлаются отсчеты на 2-мъ жезлѣ, затѣмъ на 3-мъ и 4-мъ, послѣ чего два первыхъ наблюдателя снимаютъ 1-й жезлъ съ подставокъ, двое рабочихъ снимаютъ подставки, а двое другихъ рабочихъ переносятъ первую пару козелъ. Установивъ первый жезлъ на пятой парѣ козелъ, наблюдатели дѣлаютъ надлежащіе отсчеты, по окончаніи чего снимаютъ второй жезлъ и несутъ его чтобы положить на первую пару козелъ, которая вмѣстѣ съ подставками къ этому времени уже поставлена на соотвѣтственныхъ мѣстахъ; первый жезлъ устанавливается надлежащимъ образомъ, дѣлаются записи, послѣ чего второй жезлъ переносятъ на первую пару козелъ и т. д., такъ что на мѣстѣ всегда стоитъ 3 жезла. Въ одинъ день успѣваютъ пройти съ жезлами Струве 300 — 400 саженъ. При наступленіи ночи или предъ отдыхомъ въ серединѣ дня, или при ожиданіи ненастной погоды и, вообще, при окончаніи работы, между 2-мъ и 3-мъ жезлами забивается въ землю особый желѣзный колъ, имѣющій придѣланную къ нему перпендикулярно желѣзную же планку съ прорѣзомъ, въ которомъ можетъ быть передвигаема мѣдная линеечка, закрѣпляемая особымъ винтомъ на желѣзной планкѣ. Эта мѣдная линеечка ne-образнаго сѣченія имѣетъ въ своихъ выступахъ гайки, чрезъ которыя проходятъ винты, задерживающіе маленькій мѣдный кубикъ, такъ что этотъ кубикъ можетъ быть передвигаемъ по двумъ взаимно-перпендикулярнымъ направленіямъ. На верхней грани кубика награвированъ кру-

жокъ съ центромъ. По линіи, перпендикулярной къ базису, въ нѣсколькихъ отъ него саженяхъ устанавливаютъ теодолитъ и по отвѣсу проектируютъ точку касанія твердаго и мягкаго конца 2-го и 3-го жезла въ центръ кружочка кубика, для какой цѣли кубикъ передвигаютъ соотвѣтственнымъ образомъ. Затѣмъ жезлы покрываютъ брезентами, и около нихъ оставляютъ особыхъ сторожей, которые не должны дотрогиваться до жезловъ.

Когда затѣмъ вновь начинаютъ работу, то предварительно убѣждаются при помощи теодолита, сохранили ли концы жезловъ свое мѣсто относительно центра кубика желѣзнаго кола.

Если конецъ базиса придется противъ какой-нибудь точки послѣдняго жезла, то разстояніе отъ конца предыдущаго жезла до 2-го центра базиса измѣряется по линейкѣ, на которую, при помощи теодолита, проектируютъ какъ конецъ предыдущаго жезла, такъ и 2-й центръ базиса, а проекціи отмѣчаютъ тонкою чертою остраго ножа, затѣмъ при помощи масштаба и штангъ-циркуля измѣряютъ разстояніе между сдѣланными нарѣзками.

344. Вычисленіе длины базиса. Мѣрные жезлы сравниваются на особомъ компараторѣ съ нормальнымъ жезломъ, длина котораго, положимъ, равна l, при нѣкоторой опредѣленной температурѣ, напримѣръ, t_0. Положимъ, что длина каждаго изъ мѣрныхъ жезловъ оказалась равною l_1, l_2, l_3 и l_4, причемъ

$$l_1 = l + \lambda_1, \quad l_2 = l + \lambda_2, \quad l_3 = l + \lambda_3 \quad \text{и} \quad l_4 = l + \lambda_4,$$

гдѣ λ_1, λ_2, λ_3 и λ_4 — части, измѣренныя при помощи микрометра микроскопа, находящагося на компараторѣ. Если коэффиціентъ расширенія желѣза назовемъ k, то длина жезла l, при температурѣ t, будетъ:

$$l\,[1 + k\,(t - t_0)\,],$$

или

$$l + lk\,(t - t_0).$$

Если уголъ наклоненія жезла къ горизонту во время измѣренія равнялся i, то горизонтальное разстояніе, измѣренное жезломъ, равно $l \cos i$, а слѣдовательно, $l - l \cos i$ есть поправка, которую надо вычитать изъ l, чтобы получить длину горизонтальнаго проло-

женія; эта поправка можетъ быть написана, слѣдовательно, такъ:

$$-(l - l\cos i) = -l(1 - \cos i) = -2l\sin^2\frac{i}{2},$$

а по малости угла i, для нея можно написать формулу:

$$-\frac{li^2}{2}\sin^2 1''.$$

Здѣсь i равно числу секундъ въ углѣ i.

Если цѣна одного дѣленія дуги фюльгебеля равна α, которое получается изъ сравненія на компараторѣ, а β—показаніе фюльгебеля во время измѣренія, то поправка за показаніе фюльгебеля равна: $\alpha(15-\beta)$ (§ 342).

Такимъ образомъ, длина горизонтальной проекціи части базиса, занятой первымъ мѣрнымъ жезломъ l_1, равна:

$$l_1 + l_1k(t - t_0) - \frac{l_1i^2}{2}\sin 1'' + \alpha(15-\beta),$$

или

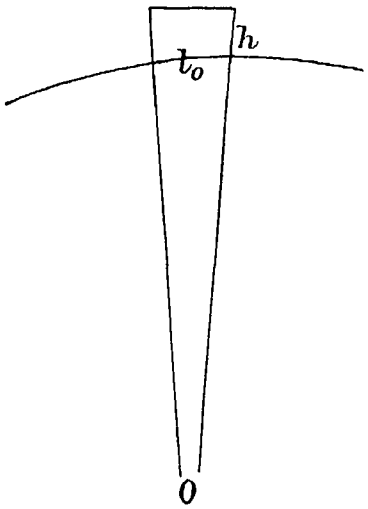
$$l + \lambda_1 + lk(t - t_0) + \lambda_1 k(t - t_0) - \frac{li^2}{2}\sin 1'' - \\ - \frac{\lambda_1 i^2}{2}\sin 1'' + \alpha(15-\beta).$$

Подобныя же формулы получатся и для горизонтальныхъ проекцій другихъ жезловъ. Такъ что, взявъ сумму всѣхъ жезловъ, которыхъ, положимъ, уложилось въ базисѣ $4n$, и получился еще остатокъ, измѣренный по линейкѣ и равный r, получимъ для длины базиса такую формулу:

$$4nl + n(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) + lk\Sigma(t - t_0) - \frac{l\sin 1''}{2}\Sigma i^2 - \\ - \frac{\sin 1''}{2}\Sigma\lambda i^2 + \alpha\Sigma(15-\beta) + r = L; \quad \ldots \quad (1)$$

Длина каждаго жезла, кромѣ того, приводится къ уровню океана. Если длина одного жезла равна l, и если онъ былъ положенъ надъ уровнемъ океана на высотѣ h, то, принявъ въ этомъ мѣстѣ радіусъ земного эллипсоида равнымъ ρ и называя проекцію длины жезла на поверхность океана буквою l_0, найдемъ (черт. 430):

$$l : l_0 = (\rho + h) : \rho,$$



Черт. 430.

или

$$(l - l_0) : l_0 = h : \rho,$$

откуда

$$l - l_0 = \frac{l_0 h}{\rho}.$$

Такъ какъ h, сравнительно съ ρ, очень малая величина, то, подставивъ въ числителѣ правой части вмѣсто l_0 величину l, сдѣлаемъ ошибку очень нечувствительную, и формула для разности $l - l_0$ будетъ такая:

$$l - l_0 = \frac{lh}{\rho},$$

или

$$l_0 = l - \frac{lh}{\rho}.$$

И длину L всего базиса, вычисленную по формулѣ (1), надо будетъ еще уменьшить на $\frac{l}{\rho} \Sigma h$.

345. Измѣреніе базиса при помощи бичевки. У насъ, въ Россіи, въ 1836 году, по предложенію В. Струве, при производствѣ Каспійской тріангуляціи были измѣрены базисы по бичевкѣ. При производствѣ этого рода измѣренія сначала провѣшивали линію базиса, длину между заложенными центрами измѣряли цѣпью и каждыя 10 саженъ отмѣчали колышками, затѣмъ во всѣхъ этихъ мѣстахъ крѣпко забивали вѣхи, устанавливаемыя по теодолиту. Высота вѣхъ бралась равною почти росту человѣка. При установкѣ этихъ вѣхъ теодолитъ ставился у начала базиса, а 1-я самая дальняя вѣха означалась номеромъ 50 затѣмъ 49 и т. д. Поставивъ 1-ую вѣху, теодолитъ переносили въ точку, гдѣ стояла вѣха 50 ая, и 1-я установленная вѣха означалась номеромъ 100 и т. д.

Послѣ того, какъ на нѣкоторомъ участкѣ были забиты всѣ вѣхи, забивали еще одну вѣху вблизи 1-го центра внѣ базиса по линіи вѣхъ, за этою вѣхою устанавливали теодолитъ, и наблюдатель наводилъ трубу теодолита такъ, чтобы были видны верхушки ряда вѣхъ, закрѣплялъ трубу и измѣрялъ уголъ наклоненія; инструментъ оставался въ этомъ положеніи, а одинъ рабочій начиналъ, по указанію

наблюдателя, забивать во всѣ вѣхи гвозди, на такой высотѣ, чтобы они покрывались горизонтальнымъ волоскомъ трубы. Такимъ образомъ, всѣ эти гвозди находились въ плоскости наклоненія къ горизонту подъ однимъ измѣреннымъ угломъ. Когда забивать гвозди по той же линіи, вслѣдствіе перегибовъ поверхности земли, далѣе не представлялось возможнымъ, то теодолитъ переносили на самую дальнюю вѣху, въ которую былъ забитъ гвоздь; теодолитъ устанавливали по линіи вѣхъ, и притомъ на такой высотѣ, чтобы, установивъ его горизонтально, можно было измѣрить уголъ наклоненія линіи, проходящей чрезъ забитые уже гвозди. Полусумма этихъ 2-хъ угловъ давала наклоненіе линіи гвоздей къ горизонту. Послѣ этого теодолитъ поворачивался по дальнѣйшей линіи базиса, и гвозди забивались на слѣдующемъ участкѣ вѣхъ, какъ это дѣлалось раньше. Когда была исполнена эта работа на нѣкоторой части базиса, то передъ 1-ю вѣхою наклонно забивали толстый колъ и къ нему прикрѣпляли смоленую пеньковую бичевку, въ 2 линіи толщиною, протягивали ее черезъ гвозди вѣхъ и около каждаго гвоздя обматывали одинъ разъ, причемъ бичевку натягивали неособенно крѣпко. На другой день бичевка натягивалась вновь немного крѣпче. Послѣ этого измѣреніе начиналось по бичевкѣ отдѣльными наблюдателями, снабженными саженями, сдѣланными изъ дерева съ желѣзными наконечниками. Сажени эти брались неравной длины и отличались другъ отъ друга на нѣкоторую часть дюйма. При каждой сажени было по 2 наблюдателя и по одному рабочему. Рабочій прикладывалъ сажень къ бичевкѣ, первый наблюдатель устанавливалъ точно конецъ сажени по отвѣсу надъ центромъ базиса, а 2-й наблюдатель дѣлалъ на бичевкѣ острымъ ножемъ небольшой надрѣзъ у 2-го конца сажени, рабочій переносилъ сажень дальше, 2-й наблюдатель оставался у своего мѣста, чтобы видѣть сдѣланный имъ надрѣзъ, а первый наблюдатель отмѣчалъ ножемъ на бичевкѣ положеніе второго конца сажени, когда первый конецъ точно былъ приложенъ къ первой мѣткѣ 2-мъ наблюдателемъ.

Когда такая партія измѣрителей отходила отъ начала саженъ на 30, то такимъ же образомъ другая партія, состоявшая изъ 2-хъ наблюдателей съ рабочимъ, начинала дѣлать измѣренія другою саженью описаннымъ выше способомъ, и такъ какъ сажень второй партіи была больше первой, то надрѣзы первыхъ наблюдателей не

приходились на надрѣзы вторыхъ, и, слѣдовательно, никакой путаницы съ надрѣзами не могло происходить. Измѣривъ 10 саженъ, дѣлали надпись на ближайшей вѣхѣ карандашомъ; этимъ устранялась возможность грубыхъ ошибокъ.

Между первою и второю партіей измѣрителей шла партія изъ 2-хъ наблюдателей, мѣрившая стрѣлки провѣса бичевки между каждыми 2-мя вѣхами; для этого одинъ визировалъ по гвоздикамъ, а другой въ серединѣ между вѣхами прикладывалъ къ бичевкѣ отвѣсно особую небольшую линеечку съ дѣленіями и, по указанію перваго наблюдателя, повышалъ или понижалъ линеечку, читалъ показанія на ней и записывалъ въ особый журналъ; это необходимо было дѣлать, чтобы ввести поправку за провѣсъ бичевки. Измѣренныя стрѣлки провѣса служили затѣмъ для обоихъ измѣреній, сдѣланныхъ обѣими партіями измѣрителей.

Предъ началомъ и въ концѣ работы мѣрныя саженн сравнивались на особомъ компараторѣ съ полусаженною мѣдною нормальною мѣрою. Въ мѣстахъ окончанія работы и въ серединѣ дня забивали сваи, а въ нихъ гвозди по отвѣсу. Въ день проходили до 3-хъ верстъ при 5-ти наблюдателяхъ и 30-ти человѣкъ рабочихъ. Точность измѣренія, изъ сравненія по двумъ измѣреніямъ, оказалось равною $\frac{1}{50.000}$ длины базиса.

346. Вычисленіе базиса, измѣреннаго при помощи бичевки. Если сравненіе мѣрныхъ саженей на компараторѣ съ нормальною мѣрою давало для нихъ длины l_1 и l_2, и если при измѣреніи ими по бичевкѣ между центрами базиса ихъ уложилось n и еще нѣкоторая часть, меньшая саженн, напримѣръ, r_1, а при второмъ r_2, то длина бичевки между центрами изъ двухъ измѣреній базиса, очевидно, опредѣлится по такимъ формуламъ:

$$L_1 = nl_1 + r_1 \text{ и } L_2 = nl_2 + r_2,$$

слѣдовательно, среднюю длину бичевки L можно принять равною:

$$L = \frac{L_1 + L_2}{2}.$$

Полученная такимъ образомъ длина L не будетъ еще горизонтальнымъ разстояніемъ базиса между центрами, и чтобы получить это разстояніе, необходимо исправить его отъ невѣрной длины нормальной мѣры, отъ температуры, бывшей во время сравненія саженн

съ нормальною мѣрою, отъ провѣса бичевки между каждыми 2-мя вѣхами, отъ наклонности отдѣльныхъ частей линіи гвоздиковъ и, наконецъ, отъ приведенія къ уровню океана.

Поправка отъ неточности нормальной мѣры опредѣляется по величинѣ этой неточности, которая должна быть извѣстна изъ сравненія съ нормальною мѣрою; положимъ, оказалось, что въ ней не 0,5 сажени, а 0,5 саж. $+\alpha$, гдѣ α — нѣкоторая дробная часть сажени; такъ какъ число нормальныхъ мѣръ въ длинѣ L равно $\frac{L}{0,5}$, то поправка отъ неточности нормальной мѣры будетъ:

$$+\frac{L}{0,5}\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Положимъ, нормальная мѣра имѣла длину 0,5 саж. $+\alpha$, при температурѣ t_0; въ то же время, когда съ ней сравнивались деревянныя сажени, температура ея была больше, напримѣръ t, поэтому длина нормальной мѣры во время сравненія съ мѣрными саженями была такою:

$$0,5\,k\,(t-t_0)+\alpha\,k\,(t-t_0),$$

гдѣ k — коэффиціентъ расширенія металла, изъ котораго сдѣлана нормальная мѣра; такъ какъ число нормальныхъ мѣръ въ длинѣ L равно $\frac{L}{0,5}$, то, умножая предыдущее выраженіе на $\frac{L}{0,5}$, найдемъ поправку длины базиса за температуру нормальной мѣры:

$$Lk\,(t-t_0)+\frac{L}{0,5}\alpha k\,(t-t_0). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Называя длину бичевки между 2-мя вѣхами буквою a, ея стрѣлку провѣса — y, разстояніе между гвоздями — b (черт. 431), можемъ для y написать невполнѣ точную формулу, именно:

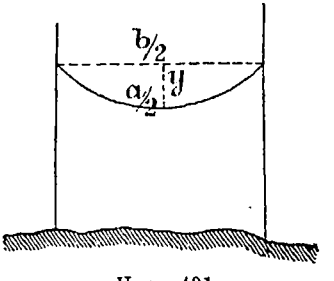
$$y^2 = \frac{a^2}{4} - \frac{b^2}{4},$$

или

$$4y^2 = (a+b)\,(a-b),$$

откуда

$$a-b = \frac{4y^2}{a+b},$$



Черт. 431.

но a почти равно b, поэтому, положивъ: $a+b=2b$, найдемъ: $a-b=\frac{2y^2}{b}$, слѣдовательно, изъ каждаго a надо вычесть $\frac{2y^2}{b}$, а такъ

какъ b равно 10 саж., то поправка равна $-\frac{y^2}{5}$, и къ L надо прибавить алгебраически:

$$-\frac{1}{5}\Sigma y^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

т. е. вычесть одну пятую суммы квадратовъ всѣхъ провѣсовъ.

Поправка отъ наклоненія отдѣльныхъ участковъ линій, проходящихъ чрезъ гвоздики, опредѣляется по измѣреннымъ угламъ наклоненія i_1, i_2, i_3, ... и длинамъ отдѣльныхъ участковъ, которыя равны: $10\,d_1$, $10\,d_2$...., гдѣ: d_1, d_2, ... — числа вѣхъ каждаго участка; проекція каждой части равна, слѣдовательно, $10\,d\,cos\,i$, а поправка отъ наклонности: $10\,d - 10\,d\,cos\,i$, или $20\,d\,sin^2\frac{i}{2}$, или, по малости угловъ i, можно взять: $20\,d\,\frac{i^2}{2}\,sin^2\,1''$, а потому поправка отъ наклонности опредѣляется формулою:

$$-10\,sin^2\,1''\,\Sigma\,di^2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

гдѣ $\Sigma\,di^2$ представляетъ собою сумму всѣхъ ошибокъ вида di^2.

Для приведенія базиса къ уровню моря, надо еще отнять отъ L величину:

$$\frac{L\,(h_1 + h_2)}{2\,R} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

гдѣ h_1 и h_2 — высоты центровъ базиса надъ уровнемъ моря, а R — средній радіусъ земли. Соединяя всѣ 5 поправокъ вмѣстѣ и называя вычисленную длину базиса буквою L_0, найдемъ:

$$L_0 = L + \frac{L}{0{,}5}\,\alpha + L\,k\,(t - t_0) + \frac{L}{0{,}5}\,\alpha\,k\,(t - t_0) -$$

$$-\frac{1}{5}\Sigma y^2 - 10\,sin^2\,1''\,\Sigma\,di^2 - \frac{L\,(h_1 + h_2)}{2\,R}.$$

347. Базисный приборъ Едерина. Базисный приборъ шведскаго профессора Едерина состоитъ изъ проволоки въ 25 метровъ длиной, концы которой скрѣпляются съ динамометрами, имѣющими видъ пружинныхъ вѣсовъ; эти послѣдніе надѣваются на особые колья, вбитые въ землю, кромѣ того, концы проволоки пропускаются чрезъ особыя муфты, поддерживаемыя 2-мя треногами, устанавливаемыми вблизи кольевъ; у концовъ проволоки назначены дѣленія на протяженіи 10 сантиметровъ, въ серединѣ которыхъ поставлена цифра 5; разстояніе между этими цифрами на проволокѣ равняется 25 метрамъ,

когда проволока натянута силою, равною 10 килограммамъ. Приборъ этотъ снабжается 10-ю треногами, 2-мя проволоками: одною мѣдною, покрытою никкелемъ, а другою стальною, тоже покрытою никкелемъ. При измѣреніи базиса, проволоки натягиваютъ въ такомъ порядкѣ: между первымъ и вторымъ штативами сначала стальную, потомъ мѣдную, между вторымъ и третьимъ штативами сначала мѣдную, потомъ стальную и т. д.

Благодаря такому пріему, можно вычислить длину базиса безъ исправленія за температуру. Дѣйствительно, если l_0 — длина каждой проволоки при температурѣ t_0, а k_1 и k_2 — коэффиціенты расширенія мѣди и стали, то при всякой другой температурѣ t, длина проволокъ: мѣдной — l_1, а стальной — l_2, опредѣлятся такими формулами:

$$\left.\begin{aligned} l_1 &= l_0 + l_0 k_1 (t - t_0) \\ l_2 &= l_0 + l_0 k_2 (t - t_0) \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots (1)$$

Вычитая одно равенство изъ другого, найдемъ:

$$l_1 - l_2 = l_0 (k_1 - k_2)\ (t - t_0),$$

откуда

$$t - t_0 = \frac{l_1 - l_2}{l_0 (k_1 - k_2)}.$$

Подставивъ это въ (1), найдемъ:

$$l_1 = l_0 + \frac{k_1}{k_1 - k_2}(l_1 - l_2);\ l_2 = l_0 + \frac{k_2}{k_1 - k_2}(l_1 - l_2);$$

$l_1 - l_2$, разность длинъ мѣдной и стальной проволоки, между каждыми штативами, будетъ извѣстна; поэтому, если проволокъ въ базисѣ положено m, то длина всего базиса опредѣлится одною изъ такихъ формулъ:

$$L = ml_0 + \frac{k_1}{k_1 - k_2} \sum_1^m (l_1 - l_2) \text{ и } L = ml_0 + \frac{k_2}{k_1 - k_2} \sum_1^m (l_1 - l_2).$$

Предварительно опредѣляютъ коэффиціенты расширенія k_1 и k_2 проволокъ, сравненіемъ съ нормальною мѣрою на особомъ компараторѣ.

При производствѣ измѣренія разность высотъ штативовъ опредѣляютъ нивеллиромъ. Измѣреніе производятъ въ такомъ порядкѣ:

одинъ производитель работъ нивеллируетъ, двое разставляютъ и выравниваютъ треноги по линіи базиса, двое держатъ проволоки и слѣдятъ за динамометрами, двое отсчитываютъ шкалы проволокъ. При этомъ требуется прислуги не менѣе 15 человѣкъ. Точность измѣренія простирается до $\frac{1}{250.000}$ длины базиса, что вполнѣ достаточно даже для первоклассной сѣти треугольниковъ. У насъ приборъ Едерина примѣнялся при тріангуляціи Петербургской губерніи въ 1888 году, и имъ измѣрены два базиса въ $2^1/_4$ и въ $9^1/_4$ верстъ. Въ 1892 году онъ былъ примѣненъ для тріангуляціи на Кавказѣ, при изысканіяхъ Владикавказско-Тифлисской дороги, съ цѣлью опредѣленія двухъ базисовъ: одного въ 2 версты, другого—въ 250 саженъ.

Кромѣ описанныхъ здѣсь базисныхъ приборовъ, нельзя не упомянуть еще о существованіи многихъ другихъ базисныхъ приборовъ, въ томъ числѣ о приборѣ Кильби, употреблявшемся въ Америкѣ, приборахъ Бесселя и Порро, употреблявшихся въ Западной Европѣ, и о приборѣ Тенера, употреблявшемся въ Россіи.

348. О вѣроятнѣйшихъ поправкахъ измѣренныхъ угловъ сѣти. Если бы измѣренія угловъ, произведенныя при тріангуляціи, были совершенно безошибочны, то и вычисленія приводили бы къ результатамъ ошибочнымъ лишь въ зависимости отъ измѣренія базиса и ошибокъ вслѣдствіе логарифмическихъ вычисленій. Но вѣроятная ошибка въ измѣреніи каждаго угла зависитъ отъ совершенства угломѣрнаго инструмента, отъ искусства и тщательности наблюдателя, выработавшаго въ себѣ эти качества продолжительною практикой, и отъ числа наблюденій. Ошибка, зависящая отъ точности наведенія на сигналъ, отъ отсчета по лимбу, отъ невѣрности дѣленій лимба, опредѣляется сравненіемъ отдѣльныхъ наблюденій, полученныхъ на одной какой-либо точкѣ, съ ихъ среднею ариѳметическою. Но, кромѣ того, есть еще ошибки, которыя обнаруживаются изъ сравненія измѣреній, произведенныхъ въ разныхъ точкахъ. Этого рода ошибки называются *постоянными*; такова, напримѣръ, ошибка, происходящая отъ невѣрности центрированія инструмента, и ошибка отъ боковой рефракціи, уклоняющей лучъ свѣта весьма незначительно вслѣдствіе того, что сигналъ, визируемый съ различныхъ мѣстъ, представляется освѣщеннымъ неодинаково.

Такимъ образомъ, всѣ измѣренія заключаютъ въ себѣ неизбѣжныя

ошибки, а потому, прежде чѣмъ сдѣлать вычисленія сторонъ, исправляютъ величины измѣренныхъ угловъ поправками, опредѣляемыми особыми способами. Если, напримѣръ, измѣрены всѣ углы одного треугольника съ-одинаковою точностью, и сумма измѣренныхъ угловъ отличается, напримѣръ, на 15″ отъ теоретической величины, т. е. отъ $180^\circ + \varepsilon$, то было бы самымъ правильнымъ, какъ будетъ доказано ниже (§ 355), каждый изъ угловъ исправить на 5″. Если же каждый уголъ измѣряется съ различною точностью, то необходимо разбить ошибку по особымъ правиламъ, обезпечивающимъ болѣе вѣроятную величину каждаго угла. Когда же измѣряются углы не одного треугольника, а многихъ, то правила эти еще болѣе усложняются. Но могущественную помощь въ розысканіи этихъ правилъ, называемыхъ *уравновѣшиваніемъ тріангуляціи*, оказываетъ способъ наименьшихъ квадратовъ, основанный на томъ началѣ, что *сумма квадратовъ ошибокъ измѣреній должна быть наименьшая для того, чтобы ошибки эти давали для измѣряемыхъ величинъ наивѣроятнѣйшія значенія.*

349. Уравновѣшиваніе наблюденій тріангуляціи. Сумма угловъ во всякомъ треугольникѣ на шарѣ равняется $180^\circ + \varepsilon$, гдѣ ε — сферическій избытокъ, вычисленный по одной изъ формулъ, выведенныхъ ранѣе (§§ 43, 59 и 50). Сумма измѣренныхъ угловъ треугольника никогда или развѣ случайно равна теоретической, выше написанной величинѣ. Поэтому, если вычислить какую-либо сторону тригонометрической сѣти по даннымъ измѣреннымъ угламъ, ведя вычисленія въ томъ или другомъ порядкѣ, то величина стороны, вычисленная изъ разныхъ треугольниковъ, получится различною. Чтобы избѣжать такого несходства, необходимо исправить величину угловъ или привести ихъ въ согласіе съ геометрическими условіями, существующими для данной сѣти. Приведеніе всѣхъ наблюденныхъ угловъ въ такое согласіе называется *уравновѣшиваніемъ* тріангуляціи. Когда уравновѣшиваніе исполнено надлежащимъ образомъ, то несогласіе вычисленій для одной и той же стороны, вычисленной по разнымъ исходнымъ направленіямъ, объясняется лишь ошибками вычисленія, всегда исправимыми новымъ перечисленіемъ. Вычисленныя величины послѣ уравновѣшиванія не будутъ дѣйствительныя, но онѣ будутъ наиболѣе подходить къ дѣйствительнымъ, или, какъ говорятъ, сдѣлаются наивѣроятнѣйшими.

Для уравновѣшиванія тріангуляціи строятъ, такъ называемыя,

условныя уравненія, выражающія собою геометрическія условія, какимъ должны удовлетворять наблюденные углы, а затѣмъ рѣшаютъ эти уравненія послѣ надлежащихъ преобразованій. Условныхъ уравненій въ сложной тріангуляціи можетъ быть нѣсколько родовъ. Разсмотримъ каждый изъ этихъ родовъ отдѣльно.

350. Условное уравненіе угловъ. Сумма внутреннихъ угловъ въ сферическомъ треугольникѣ равна $180° + \varepsilon$, такъ что, если углы треугольника A, B и C, то геометрическое условіе для треугольника должно быть таково:

$$A + B + C = 180° + \varepsilon,$$

или

$$A + B + C - (180° - \varepsilon) = 0 \ldots\ldots (1)$$

Наблюденные же углы A, B и C, вообще говоря, не удовлетворятъ написанному уравненію, и сумма ихъ обыкновенно отличается отъ $180° + \varepsilon$ на нѣкоторую величину, положимъ, на величину p, которую называютъ *ошибкою треугольника*. Слѣдовательно, имѣемъ:

$$A' + B' + C' - (180° + \varepsilon) = p \ldots\ldots (2)$$

Если назовемъ поправки измѣренныхъ угловъ тѣми же буквами, но въ скобкахъ (A'), (B') и (C'), то для того, чтобы поправки эти дѣлали измѣренные углы, если не истинными, то, по крайней мѣрѣ, удовлетворяющими условному уравненію угловъ, необходимо, чтобы:

$$A' + (A') + B' + (B') + C' + (C') - (180° + \varepsilon) = 0.$$

Вычитая изъ этого равенства (2), найдемъ:

$$(A') + (B') + (C') = -p \ldots\ldots (3)$$

Это уравненіе и есть условное уравненіе угловъ.

351. Условное уравненіе синусовъ. *Если имѣются изъ одной точки направленія на всѣ вершины какой-нибудь замкнутой сѣти, то можно составить рядъ отношеній, произведеніе которыхъ равно единицѣ.* Дѣйствительно, для части тригонометрической сѣти, изображенной на чертежѣ 432-мъ, можно написать такія формулы:

$$\frac{a}{b} = \frac{\sin B_1}{\sin A_2}; \quad \frac{b}{c} = \frac{\sin C_1}{\sin B_2}; \quad \frac{c}{d} = \frac{\sin D_1}{\sin C_2}; \quad \frac{d}{l} = \frac{\sin E_1}{\sin D_2};$$

$$\frac{l}{f} = \frac{\sin F_1}{\sin E_2}; \quad \frac{f}{a} = \frac{\sin A_1}{\sin A_2} = \frac{\sin A_1}{\sin F_2}.$$

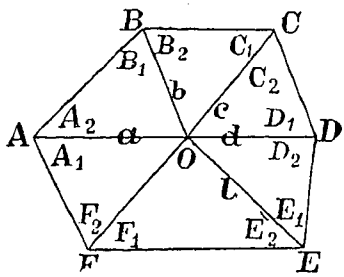
Перемножая между собою каждый изъ этихъ рядовъ отношеній, получимъ для сѣти слѣдующую формулу:

$$1 = \frac{\sin B_1 \sin B_1' \sin D_1 \sin F_1 \sin A_1 \sin E_1}{\sin A_2 \sin C_2 \sin C_2 \sin D_2 \sin E_2 \sin F_2}.$$

Взявъ логарнѳмы обѣихъ частей этой формулы, найдемъ:

$$0 = (log\,sin\,A_1 + log\,sin\,B_1 + log\,sin\,C_1 + \ldots) -$$
$$- (log\,sin\,A_2 + log\,sin\,B_2 + log\,sin\,C_2 + \ldots,) \ . \ . \ . \quad (4)$$

Это уравненіе имѣетъ мѣсто для истинныхъ величинъ всѣхъ угловъ, если же вмѣсто нихъ внесемъ величины, полученныя измѣреніемъ, то уравненіе это нарушится, т. е. лѣвая часть не будетъ уже равна нулю, а нѣкоторой величинѣ, отличной отъ нуля, напримѣръ, p, и, слѣдовательно, такимъ образомъ найдемъ:



Черт. 432.

$$p = (log\,sin\,A'_1 + log\,sin\,B'_1 + log\,sin\,C'_1 + \ldots.) -$$
$$- (log\,sin\,A'_2 + log\,sin\,B'_2 + log\,sin\,C'_2 + \ldots.) \ . \ . \quad (5)$$

гдѣ A'_1, B'_1, ..., величины угловъ, полученныхъ измѣреніемъ.

Для того чтобы найти поправки угловъ (A'_1), (B'_1) и т. д. такъ, чтобы углы, будучи исправлены этими поправками, удовлетворили уравненію (4), надо (5) вычесть изъ (4), но при этомъ необходимо имѣть въ виду слѣдующее: ошибки въ измѣренныхъ углахъ, хотя бы онѣ были одинаковы, дадутъ различныя ошибки въ величинахъ логариѳмовъ синусовъ этихъ угловъ, такъ какъ измѣненія угла на $1''$, при различной величинѣ угловъ, дадутъ различныя дифференціи въ логарнѳмахъ синусовъ; разности такого вида: $log\,sin\,A_1 - log\,sin\,A'_1$ могутъ быть замѣнены дифференціей логарнѳма синуса угла при измѣненіи его на $1''$, умноженной на величину поправки угла. Называя дифференціи логариѳмовъ буквами: $\Delta_1'\ \Delta_1''\ \Delta_1'''\ \ldots.\ \Delta_2'\ \Delta_2''\ \Delta_2'''\ \ldots.$, а поправки угловъ означая (A'_1), (B'_1), ..., и вычитая изъ уравне-

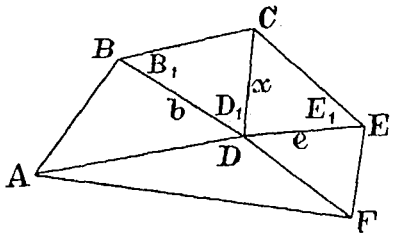
нія (4) уравненіе (5), найдемъ:

$$-p = [\Delta_1' (A_1') + \Delta_1'' (B_1') + \ldots.] -$$

$$-[\Delta_2' (A_2') + \Delta_2'' (B_2') + \ldots.] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Это будетъ условное уравненіе синусовъ.

352. Условное уравненіе боковъ. Нѣкоторыя стороны сѣти треугольниковъ могутъ быть вычислены изъ 2-хъ и даже большаго числа треугольниковъ. Такъ, напримѣръ, на чертежѣ 433-мъ сторона x можетъ быть вычислена или изъ треугольника DBC, или изъ треугольника DCE, причемъ b и e уже вычислены изъ прежней тріангуляціи и не должны быть измѣняемы. Точно такъ же и уголъ $BDE = D_1$ не долженъ измѣняться. Для стороны CD или x можно написать 2 такихъ формулы:



Черт. 433.

$$x = b \frac{\sin B_1}{\sin [180^\circ - (B_1 + D_1)]}; \quad x = e \frac{\sin E_1}{\sin C}.$$

Приравнявъ правыя части между собою и взявъ отъ обѣихъ частей результата логариѳмы, получимъ:

$$[\log b + \log \sin B_1 - \log \sin (B_1 + D_1)] -$$

$$-[\log e + \log \sin E_1 - \log \sin C] = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Если вмѣсто истинныхъ угловъ: B_1, E_1, и D_1 внести въ это уравненіе углы измѣренные: B_1', E_1' и D_1', то правая часть не будетъ равна нулю, а окажется нѣкоторою величиною, напримѣръ, p, т. е. получимъ:

$$[\log b + \log \sin B_1' - \log \sin (B_1' + D_1')] -$$

$$-[\log c + \log \sin E_1' - \log \sin C'] = p \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

Вычитая послѣднее равенство (9) изъ предыдущаго (8), и замѣняя разности вида: $\log \sin B_1 - \log \sin B_1'$ диференціей логариѳма

синуса угла B'_1 умноженной на поправку (B'_1) можемъ написать новое условное уравненіе.

353. Условное уравненіе базисовъ. При производствѣ тріангуляціи, обыкновенно, измѣряютъ не одинъ базисъ, а нѣсколько, и во всякомъ случаѣ въ началѣ тріангуляціи и въ концѣ ея. Измѣреніе базисовъ производится съ такою точностью, что измѣренная величина считается безошибочною; съ другой стороны, конечный базисъ можетъ быть также вычисленъ изъ сѣти треугольниковъ; въ § 302-мъ мы имѣли формулу:

$$a_n = b\,\frac{\sin A_1\,\sin A_2\,\ldots\,\sin A_n}{\sin B_1\,\sin B_2\,\ldots\,\sin B_n},$$

или

$$a_n \sin B_1\,\sin B_2\,\ldots\,\sin B_n = b\sin A_1\,\sin A_2\,\ldots\,\sin A_n;$$

взявъ логариѳмы обѣихъ частей, найдемъ:

$$[\log a_n + \log\sin B_1 + \ldots + \log\sin B_n] -$$
$$-[\log b + \log\sin A_1 + \ldots + \log\sin A_n] = 0 \quad . \quad . \quad (10)$$

Если въ это уравненіе внести вмѣсто истинныхъ: a_n, b, A_1, A_2, ..., B_1, B_2, ... измѣренныя величины, то, вообще говоря, уравненіе нарушится, и въ правой части вмѣсто нуля будетъ находиться какая-нибудь величина, напримѣръ, p, т. е. найдемъ:

$$[\log a_n + \log\sin B'_1 + \ldots + \log\sin B'_n] -$$
$$-[\log b + \log\sin A'_1 + \ldots + \log\sin A'_n] = p; \quad . \quad (11)$$

здѣсь a_n и b поставлены истинныя на томъ основаніи, что логариѳмы измѣренныхъ базисовъ не будутъ отличаться отъ логариѳмовъ истинныхъ величинъ, вслѣдствіе незначительности ошибки измѣренія базиса. Если означимъ поправки угловъ такъ же, какъ прежде, т. е.: (A'_1), (A'_2), ..., (B'_1), ..., (B'_n), то эти поправки должны быть опредѣлены такъ, чтобы онѣ удовлетворяли уравненію, получаемому вычитаніемъ послѣдняго равенства (11) изъ предпослѣдняго (10) и замѣною въ немъ разностей вида: $\log\sin B_1 - \log\sin B'_1$ дифференціей логариѳма синуса угла B'_1 умноженной на искомую поправку (B'_1).

354. Общій методъ рѣшенія условныхъ уравненій тригонометрической сѣти. Когда условныя уравненія угловъ, синусовъ, бо̀ковъ и базисовъ построены, и притомъ именно въ такомъ числѣ, какое необходимо для полученія всѣхъ поправокъ, то къ нимъ надо присоединить еще уравненіе, выражающее собою условіе того, что сумма квадратовъ поправокъ угловъ должна быть минимумъ (§ 349), и затѣмъ полученную такимъ образомъ систему уравненій надо рѣшить. Условныя уравненія, вообще говоря, можно представить въ такой формѣ:

$$\left.\begin{array}{l} a_1(\alpha) + a_2(\beta) + a_3(\gamma) + \ldots\ldots + a_n = 0 \\ b_1(\alpha) + b_2(\beta) + b_3(\gamma) + \ldots\ldots + b_n = 0 \\ c_1(\alpha) + c_2(\beta) + c_3(\gamma) + \ldots\ldots + c_n = 0 \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \end{array}\right\} \ldots \quad (1)$$

Здѣсь: (α), (β), (γ), ...—искомыя поправки или ошибки угловъ; a_1, b_1, c_1, ... m—извѣстные постоянные коэффиціенты числомъ, положимъ, n. Присоединимъ еще къ этой системѣ уравненіе суммы квадратовъ поправокъ:

$$(\alpha)^2 + (\beta)^2 + (\gamma)^2 + \ldots\ldots = \Sigma\delta^2, \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

гдѣ величина $\Sigma\delta^2$ должна быть наименьшею.

Для рѣшенія полученной системы уравненій умножимъ каждое изъ (1) на неопредѣленные коэффиціенты: $2A$, $2B$, $2C$, ..., $2M$ и сумму результатовъ умноженія вычтемъ изъ (2); тогда найдемъ слѣдующее:

$$\begin{array}{l} (\alpha)^2 + (\beta)^2 + (\gamma)^2 + \ldots\ldots - \\ -2A[a_1(\alpha) + a_2(\beta) + a_3(\gamma) + \ldots + a_n] - \\ -2B[b_1(\alpha) + b_2(\beta) + b_3(\gamma) + \ldots + b_n] - \\ -2C[c_1(\alpha) + c_2(\beta) + c_3(\gamma) + \ldots + c_n] - \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots - \end{array}$$

$$-2M[m_1(\alpha) + m_2(\beta) + m_3(\gamma) + \ldots + m_n] = \Sigma\delta^2. \ldots (3)$$

Если здѣсь отобрать всѣ члены, помноженные на (α), (β), ..., то получимъ:

$$(\alpha)^2 - 2(\alpha)[Aa_1 + Bb_1 + \ldots + Mm_1] +$$
$$+ (\beta)^2 - 2(\beta)[Aa_2 + Bb_2 + \ldots + Mm_2] +$$
$$+ (\gamma)^2 - 2(\gamma)[Aa_3 + Bb_3 + \ldots + Mm_3] +$$
$$+ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots -$$
$$- 2[Aa_n + Bb_n + \ldots\ldots + Mm_n] = \Sigma\delta^2;$$

въ каждой строкѣ этого уравненія прибавимъ и отнимемъ по квадрату коэффиціента, стоящаго соотвѣтственно у $2(\alpha)$, $2(\beta)$, ...; тогда найдемъ:

$$(\alpha)^2 - 2(\alpha)[Aa_1 + Bb_1 + \ldots + Mm_1] +$$
$$+ [Aa_1 + Bb_1 + \ldots + Mm_1]^2 - [Aa_1 + Bb_1 + \ldots + Mm_1]^2 +$$
$$+ (\beta)^2 - 2(\beta)[Aa_2 + Bb_2 + \ldots + Mm_2] +$$
$$+ [Aa_2 + Bb_2 + \ldots + Mm_2]^2 - [Aa_2 + Bb_2 + \ldots + Mm_2]^2 +$$
$$+ (\gamma)^2 - 2(\gamma)[Aa_3 + Bb_3 + \ldots + Mm_3] +$$
$$+ [Aa_3 + Bb_3 + \ldots + Mm_3]^2 - [Aa_3 + Bb_3 + \ldots + Mm_3]^2 +$$
$$+ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots -$$
$$- 2[Aa_n + Bb_n + \ldots + Mm_n] = \Sigma\delta^2,$$

или, замѣняя каждые три числа, составляющіе полный квадратъ однимъ, найдемъ:

$$[(\alpha) - (Aa_1 + Bb_1 + \ldots + Mm_1)]^2 + [(\beta) - (Aa_2 + Bb_2 +$$
$$+ \ldots + Mm_2)]^2 + [(\gamma) - (Aa_3 + Bb_3 + \ldots + Mm_3)]^2 -$$
$$- \{[Aa_1 + Bb_1 + \ldots + Mm_1]^2 + [Aa_2 + Bb_2 + \ldots +$$
$$+ Mm_2]^2 + \ldots + 2[Aa_n + Bb_n + \ldots + Mm_n]\} = \Sigma\delta^2 \ldots (4)$$

Для того чтобы $\Sigma\delta^2$, сумма квадратовъ ошибокъ, была минимумъ, необходимо, чтобы первыя производныя отъ лѣвой части уравненія (4) или (3) по всѣмъ тѣмъ буквамъ, которыя можно разсматривать перемѣнными, были нулями, и такъ какъ $A, B, \ldots, M, a, b, c, \ldots, m$— величины постоянныя, то дифференцированіе должно относиться къ $(\alpha), (\beta), \ldots$, т. е. къ поправкамъ угловъ. Исполняя эти дифференцированія, найдемъ систему слѣдующихъ уравненій, которыхъ будетъ столько, сколько поправокъ угловъ, т. е.

$$\begin{aligned}
(\alpha) - (Aa_1 + Bb_1 + \ldots + Mm_1) &= 0,\\
(\beta) - (Aa_2 + Bb_2 + \ldots + Mm_2) &= 0,\\
(\gamma) - (Aa_3 + Bb_3 + \ldots + Mm_3) &= 0,\\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned}$$

Изъ этихъ уравненій первой степени опредѣляются поправки, онѣ будутъ таковы:

$$\left.\begin{aligned}
(\alpha) &= Aa_1 + Bb_1 + Cc_1 + \ldots + Mm_1\\
(\beta) &= Aa_2 + Bb_2 + Cc_2 + \ldots + Mm_2\\
(\gamma) &= Aa_3 + Bb_3 + Cc_3 + \ldots + Mm_3\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned}\right\}\ldots \quad (5)$$

Такимъ образомъ, система уравненій (5) даетъ величины поправокъ угловъ. Остается опредѣлить величины неопредѣленныхъ коэффиціентовъ, онѣ найдутся, если систему равенствъ (5) внесемъ въ (1); тогда получимъ:

$$\begin{aligned}
a_1[Aa_1 + Bb_1 + Cc_1 + \ldots + Mm_1] +\\
+ a_2[Aa_2 + Bb_2 + Cc_2 + \ldots + Mm_2] + \ldots + a_n = 0,\\
b_1[Aa_1 + Bb_1 + Cc_1 + \ldots + Mm_1] +\\
+ b_2[Aa_2 + Bb_2 + Cc_2 + \ldots + Mm_2] + \ldots + b_n = 0,\\
c_1[Aa_1 + Bb_1 + Cc_1 + \ldots + Mm_1] +\\
+ c_2[Aa_2 + Bb_2 + Cc_2 + \ldots + Mm_2] + \ldots + c_n = 0,\\
\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots
\end{aligned}$$

Вынося въ каждомъ изъ уравненій за скобки: A, B, C, ..., найдемъ:

$$\left.\begin{array}{l} A[a_1a_1 + a_2a_2 + \ldots] + B[a_1b_1 + a_2b_2 + \ldots] + \\ \quad + C[a_1c_1 + a_2c_2 + \ldots] + \ldots + a_n = 0 \\ A[b_1a_1 + b_2a_2 + \ldots] + B[b_1b_1 + b_2b_2 + \ldots] + \\ \quad + C[b_1c_1 + b_2c_2 + \ldots] + \ldots + b_n = 0 \\ A[c_1a_1 + c_1b_1 + \ldots] + B[c_1b_1 + c_2b_2 + \ldots] + \\ \quad + C[c_1c_1 + c_2c_2 + \ldots] + \ldots + c_n = 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}\right\} \quad (6).$$

Такъ какъ всѣ: $a_1\ a_2 \ldots.$, $b_1 \ldots. b_n$, $c_1 \ldots. c_n$, ... величины извѣстныя, и число этихъ уравненій равно числу неопредѣленныхъ коэффиціентовъ, то изъ этой (6) системы найдутся неопредѣленные коэффиціенты, которые, будучи внесены въ систему (5), дадутъ возможность вычислить окончательно численную величину поправокъ (α), (β), (γ) и т. д.

Если численныя значенія ошибокъ угловъ (5) внесемъ въ равенство (4), то найдемъ минимальное значеніе функціи $\Sigma\delta^2$, т. е. будемъ имѣть:

$$minimum\ \Sigma\delta^2 = -\{(Aa_1 + Bb_1 + \ldots + Mm_1)^2 + (Aa_2 + Bb_2 + \ldots + Mm_2)^2 + \ldots + 2(Aa_n + Bb_n + \ldots + Mm_n)\} \ldots \quad (7)$$

Но эта формула (7) можетъ быть упрощена, если принять во вниманіе уравненія (2) и (5):

$$(\alpha)^2 + (\beta)^2 + (\gamma)^2 + \ldots = -\{(\alpha)^2 + (\beta)^2 + \ldots + 2(Aa_n + Bb_n + \ldots + Mm_n)\},$$

или

$$2\{(\alpha)^2 + (\beta)^2 + (\gamma)^2 + \ldots\} = -2(Aa_n + Bb_n + \ldots + Mm_n),$$

или, сокративъ на 2:

$$\Sigma\delta^2 = -\{Aa_n + Bb_n + \ldots + Mm_n\} \quad \ldots \quad (8)$$

a_n, b_n .... m_n — суть величины постоянныя условныхъ уравненій; A, B, C, ... — неопредѣленные коэффиціенты, слѣдовательно, $\Sigma\delta^2$

найдется. Раздѣливъ полученную для $\Sigma\delta^2$ величину на число ошибокъ и извлекши изъ результата квадратный корень, найдемъ *среднюю ошибку угла*.

Изъ всего этого видимъ, что для нахожденія поправокъ угловъ такъ, чтобы сумма ихъ квадратовъ была наименьшая, надо составить условныя уравненія, зависящія отъ геометрическихъ и тригонометрическихъ условій треугольниковъ. При этомъ, этихъ уравненій должно быть достаточное число для опредѣленія всѣхъ неизвѣстныхъ, т. е. необходимо, чтобы не было ни лишнихъ условныхъ уравненій, ни недостатка въ уравненіяхъ. Когда всѣ необходимыя условныя уравненія построены и рѣшены, то численная величина всѣхъ коэффиціентовъ окажется извѣстною, послѣ чего надо составить систему уравненій (6), или, какъ ее называютъ, систему *нормальныхъ уравненій*, и рѣшить ее относительно постоянныхъ неопредѣленныхъ коэффиціентовъ A, B, C..... Когда численная величина неопредѣленныхъ коэффиціентовъ опредѣлится, то, при помощи уравненій (5), найдутся величины поправокъ угловъ, а при помощи (8) — минимальная сумма квадратовъ этихъ поправокъ и, наконецъ, средняя ошибка въ углахъ.

Нормальныя уравненія (6) можно, конечно, рѣшать любымъ способомъ алгебры, но проще всего будетъ составить опредѣлитель изъ коэффиціентовъ при A, B, C, ... и написать общія формулы.

Такъ какъ при рѣшеніи нормальныхъ уравненій приходится, главнымъ образомъ, брать логариѳмы синусовъ и ихъ дифференціи, соотвѣтствующія $1''$ дуги, то эти логариѳмы затѣмъ окажутся нужными и для вычисленія самой тріангуляціи, а потому слѣдуютъ такому правилу. *Послѣ того, какъ поправки угловъ вычислены, нѣтъ надобности брать логариѳмы исправленныхъ угловъ, а достаточно число секундъ поправки* (α) .... *или долей секунды умножить на соотвѣтствующую дифференцію найденнаго уже логариѳма и результатъ вычесть или прибавить къ найденному логариѳму, смотря по знаку поправки.*

Число нормальныхъ уравненій сильно растетъ съ возрастаніемъ числа треугольниковъ сѣти, поэтому составленіе всѣхъ этихъ уравненій и рѣшеніе ихъ представляло бы работу крайне сложную, въ которой легко было бы и запутаться; поэтому, при значительныхъ размѣрахъ тріангуляціи, ее разбиваютъ на отдѣльныя части и, урав-

новѣсивъ углы въ первой части, вычисленныя стороны въ концѣ первой части принимаютъ за базисы, абсолютно вѣрные для 2 части, и т. д.

Для всей тріангуляціи лучше всего дѣлать цѣпи треугольниковъ, по возможности, равносторонними и, не беря, слѣдовательно, направленій по діагоналямъ, можно при составленіи условныхъ уравненій ограничиваться только условными уравненіями угловъ. Дѣйствительно, если возьмемъ какой-нибудь треугольникъ сѣти, истинные углы котораго A_1, B_1 и C_1, а измѣренные—A', B', C', причемъ сумма $A'+B'+C'$ оказалась неравной $180°+\varepsilon$, гдѣ ε — сферическій избытокъ треугольника, такъ что:

$$A'+B'+C'-p=180°+\varepsilon,$$

тогда будемъ имѣть лишь одно условное уравненіе, именно:

$$(\alpha)+(\beta)+(\gamma)+p=0, \quad \ldots\ldots (9)$$

гдѣ (α), (β) и (γ) — поправки угловъ A', B' и C', т. е. въ системѣ уравненій (1) всего одно уравненіе, а коэффиціенты: a_1, a_2, a_3 равны единицѣ, a_n равно p, дальнѣйшіе коэффиціенты: b, c, ... равны нулю, поэтому система уравненій (5) въ данномъ случаѣ будетъ такова:

$$(\alpha)=A, \quad (\beta)=A, \quad (\gamma)=A.$$

Вставивъ эти величины въ (9), найдемъ: $3A+p=0$, откуда: $A=\frac{p}{3}$, и, слѣдовательно:

$$(\alpha)=\frac{p}{3}, \quad (\beta)=\frac{p}{3}, \quad (\gamma)=\frac{p}{3},$$

т. е. *ошибку всѣхъ угловъ треугольника надо раздѣлить на 3 и къ каждому измѣренному углу прибавить третью часть ошибки съ обратнымъ знакомъ тому, какой входитъ при этой ошибкѣ въ основномъ условномъ уравненіи угловъ (9)*, тогда углы треугольника получатся уравновѣшенными. Такимъ образомъ, здѣсь мы доказали положеніе, о которомъ упомянуто въ § 344-мъ.

355. Вычисленіе сторонъ и угловъ треугольниковъ сѣти. Когда всѣ углы сѣти или ея части уравновѣшены, то приступаютъ къ окончательному вычисленію всѣхъ длинъ сторонъ и нѣкоторыхъ угловъ. Начинаютъ вычисленіе, конечно, отъ базиса, измѣреннаго непосред-

ственно или отъ стороны первоклассной сѣти треугольниковъ, вычисленныхъ ранѣе. Такъ какъ треугольники на земной поверхности надо разсматривать, какъ треугольники малаго изгиба (§ 65), то, при рѣшеніи треугольниковъ сѣти, вычисленія ведутся на основаніи теоремы доказанной Лежандромъ (§ 65), т. е. вычисляютъ сферическіе треугольники тріангуляціи, какъ плоскіе, предварительно уменьшивъ каждый уголъ сферическаго треугольника на $^1/_3$ сферическаго избытка этого же треугольника. При этомъ сферическіе избытки могутъ быть вычислены по одной изъ формулъ

$$\varepsilon = A + B + C - 180^\circ, \quad \varepsilon = \frac{P}{R^2 \sin 1''}, \quad \text{или} \quad \varepsilon = \frac{1}{2R^2 \sin 1''} a\, b \sin C,$$

гдѣ R—радіусъ земли, a и b—спрямленныя стороны треугольника и C—уголъ между этими сторонами. Коэффиціентъ $\frac{1}{2R^2 \sin 1''}$ зависитъ отъ R—радіуса кривизны земного сфероида въ данномъ мѣстѣ, выражающагося въ функціи широты, R берется изъ геодезическихъ таблицъ для широты, равной средней величинѣ широтъ вершинъ треугольника.

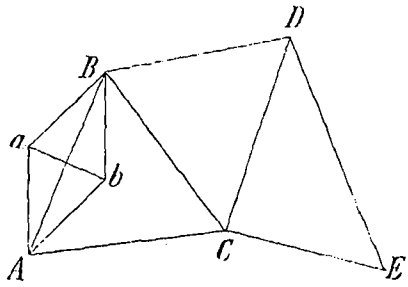
При вычисленіи треугольниковъ тріангуляціи, главнымъ образомъ, можетъ быть вычисленіе по одной данной сторонѣ, и въ этомъ случаѣ формулы будутъ (§ 65) такія:

$$a = b\,\frac{\sin\left(A - \frac{\varepsilon}{3}\right)}{\sin\left(B - \frac{\varepsilon}{3}\right)}; \quad c = b\,\frac{\sin\left(C - \frac{\varepsilon}{3}\right)}{\sin\left(B - \frac{\varepsilon}{3}\right)};$$

Если тріангуляція состоитъ изъ простой цѣпи треугольниковъ, то вычисленіе ея не представляетъ большихъ трудностей. Сначала сѣть вычисляютъ по правиламъ прямолинейной тригонометріи, употребляя пятизначные логариѳмы, затѣмъ исправляютъ всѣ углы за центрировки, вычисляютъ величины сферическихъ избытковъ, вычисляютъ поправки угловъ, уравновѣсивъ углы этими поправками, вычитаютъ изъ каждаго изъ нихъ по $^1/_3$ поправки соотвѣтственнаго сферическаго треугольника и вычисляютъ стороны по вышенаписаннымъ формуламъ. При этомъ сторона, вычисленная въ первомъ треугольникѣ по базису и угламъ, становится базисомъ для слѣдующаго треугольника и т. д.

Заканчивая изложеніе пріемовъ, употребляемыхъ при тріангуляціи, необходимо упомянуть еще о слѣдующемъ.

Такъ какъ вершины треугольниковъ помѣщаются, обыкновенно, на возвышенныхъ мѣстахъ, поэтому, для непосредственнаго измѣренія базиснаго разстоянія между ними, могутъ встрѣтиться препятствія. Въ такомъ случаѣ для базиса выбираютъ мѣстность, по возможности, ровную и не представляющую никакихъ препятствій къ непосредственному измѣренію базиса по всей его длинѣ, причемъ, обыкновенно его берутъ короче главныхъ сторонъ сѣти. У насъ въ Россіи базисы брались не болѣе 10 или 12 верстъ и соединялись съ главною сѣтью при помощи вспомогательной тригонометрической сѣти. Всегда можно выбрать базисъ поперекъ одной изъ сторонъ сѣти AB, и если длина его ab равна, напримѣръ, третьей части длины AB, то треугольники aBb и aAb не имѣютъ слишкомъ острыхъ угловъ, и, такимъ образомъ, изъ нихъ можно вычислить длину сторонъ: Aa, aB, Bb, Ab, а потомъ и діагональ AB (черт. 433 *а*).

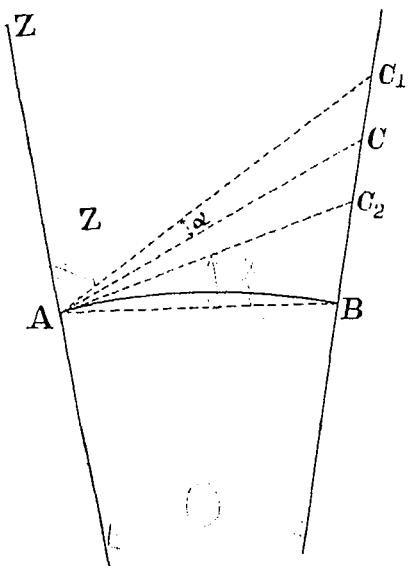


Черт. 433 *а*.

356. О геодезическомъ нивеллированіи, производимомъ при тригонометрической съемкѣ. Геодезическимъ нивеллированіемъ называется опредѣленіе разности высотъ центровъ двухъ смежныхъ тригонометрическихъ пунктовъ. Пріемы, употребляемые при геодезическомъ нивеллированіи, въ существѣ своемъ, конечно, такіе же, какъ и въ топографическомъ нивеллированіи, т. е. для опредѣленія разности высотъ двухъ точекъ надо знать разстояніе между точками и вертикальный уголъ, составленный визирною осью инструмента съ одной точки на другую съ отвѣсной линіей, или зенитное разстояніе этого второго пункта. Отличіе геодезическаго нивеллированія отъ топографическаго заключается только въ томъ, что при геодезическомъ нивеллированіи нельзя уже пренебрегать земною рефракціей, которая, какъ знаемъ, пропорціональна квадрату разстоянія (§ 208). А разстоянія между тригонометрическими пунктами 3-го класса могутъ доходить до 10 верстъ, тогда какъ при топографическомъ ни-

веллированіи, когда разстоянія равны отъ 100 до 200 саженъ, вліяніемъ земной рефракціи пренебрегаютъ.

Пусть A и B—точки, находящіяся на уровнѣ океана, и положимъ (черт. 434), требуется опредѣлить разность высотъ точекъ A и C, причемъ уголъ C_1AC равный α уголъ рефракціи, AC_2— касательная къ дугѣ AB, которую, по малости разстоянія между A и B, можно считать за дугу, принадлежащую тару. При производствѣ вычисленій считаютъ уголъ α пропорціональнымъ коэффиціенту рефракціи, опредѣляемому изъ наблюденія, и разстоянію между пунктами.



Черт. 434.

Разность высотъ точекъ C и A равна CB:

$$CB = CC_2 + C_2B =$$

$$= C_1C_2 - C_1C + C_2B \quad . \quad . \quad (1)$$

Уголъ C_2AB, составленный касательною съ хордой, равенъ половинѣ центральнаго угла, т. е. $\frac{0}{2}$. Назовемъ разстояніе между пунктами A и B буквою d и будемъ считать, что ему равны также AC и AC_2; уголъ при C_2 будемъ считать равнымъ 90°, тогда, вмѣсто 3-хъ членовъ правой части формулы (1), можемъ написать ихъ приблизительныя выраженія изъ чертежа:

$$CB = d\,tang\,(90° - z) - d\,tang\,\alpha + d\,tang\,\frac{0}{2};$$

но малости же угловъ: $90° - z$, α и $\frac{0}{2}$, можемъ написать:

$$CB = d\,(90° - z)\,sin\,1'' - d\,\alpha\,sin\,1'' + d\,\frac{0}{2}\,sin\,1'',$$

но α можно считать равнымъ $k\,\frac{0}{2}$, гдѣ k — означаетъ коэффиціентъ рефракціи, слѣдовательно:

$$CB = d\,(90° - z)\,sin\,1'' + \frac{0}{2}\,d\,sin\,1''\,(1 - k);$$

кромѣ того, $0 = \frac{d}{R \sin 1''}$, гдѣ R—радіусъ въ точкѣ средней между A и C, поэтому:

$$CB = d(90° - z) \sin 1'' + \frac{d^2}{2R}(1 - k).$$

Если точка A будетъ находиться не на океанѣ, а на нѣкоторой высотѣ H, тогда, называя H_1—высоту надъ уровнемъ океана точки C, высоту сигнала въ этой точкѣ—h_1 и высоту инструмента въ точкѣ A черезъ I, изъ CB надо будетъ вычесть $(h_1 - I)$, и слѣд. получимъ:

$$H_1 - H = d(90° - z) \sin 1'' + \frac{d^2}{2R}(1 - k) - (h_1 - I) \quad . \quad . \quad (2)$$

Эта формула и служитъ къ опредѣленію разности высотъ двухъ пунктовъ. Но обыкновенно не ограничиваются измѣреніемъ зенитнаго разстоянія изъ пункта A на C, а измѣряютъ еще зенитное разстояніе въ C на пунктъ A; положимъ, это второе зенитное разстояніе равно z_1. Если, кромѣ того, измѣреніе зенитныхъ разстояній z_1 и z сдѣлано одновременно, то коэффиціентъ рефракціи можно считать въ обоихъ случаяхъ однимъ и тѣмъ же. Назовемъ высоту инструмента въ точкѣ C буквою I_1, а высоту сигнала въ точкѣ A — буквою h, тогда для разности высотъ двухъ точекъ можемъ написать еще такую формулу:

$$-(H_1 - H) = d(90° - z_1) \sin 1'' + \frac{d^2}{2R}(1 - k) - (h - I_1). \quad (3)$$

Взявъ разность между (2) и (3) равенствами и раздѣливъ ее на 2, получимъ:

$$H_1 - H = d\,\frac{z_1 - z}{2} \sin 1'' + \frac{h - h_1}{2} + \frac{I - I_1}{2} \quad . \quad . \quad (4)$$

т. е. получаемъ формулу для разности высотъ двухъ пунктовъ, не зависящую отъ рефракціи.

Для нахожденія коэффиціента земной рефракціи, необходимо дѣлать одновременныя измѣренія зенитныхъ разстояній съ двухъ пунктовъ; но такъ какъ въ большинствѣ случаевъ это неисполнимо, въ особенности въ томъ случаѣ, когда тріангуляціонныя работы производитъ одно лицо, то обыкновенно коэффиціентъ рефракціи выводится также изъ наблюденій, произведенныхъ въ одни и тѣ же часы разныхъ дней, но такъ, чтобы промежутокъ времени между этими днями былъ небольшой, потому что коэффиціентъ рефракціи, какъ показали различныя тріангуляціи, есть величина, измѣняющаяся въ теченіе су-

токъ — ночью онъ имѣетъ наибольшую величину, послѣ полудня — наименьшую, а затѣмъ къ вечеру онъ начинаетъ увеличиваться; зимою онъ больше, чѣмъ лѣтомъ. Поэтому для каждыхъ двухъ пунктовъ, для которыхъ имѣются или одновременныя наблюденія, или соотвѣтственныя, т. е. произведенныя хотя и въ разные дни, но слѣдующіе скоро одинъ за другимъ и въ одни и тѣ же часы, выводится свой коэффиціентъ рефракціи, и его прилагаютъ къ наблюденіямъ одностороннимъ, какъ, напримѣръ, къ пунктамъ 3-го разряда. Въ тѣхъ же случаяхъ, когда не было произведено соотвѣтственныхъ наблюденій, для коэффиціента рефракціи берутъ 0,16.

Если нѣсколько тригонометрическихъ пунктовъ, разности высотъ которыхъ найдены, можно разсматривать, какъ вершины какого-либо замкнутаго многоугольника, то, очевидно, сумма послѣдовательныхъ разностей должна быть равна нулю. Такъ, напримѣръ, въ треугольникѣ ABC, высоты вершинъ котораго равны H_1, H_2, H_3, сумма:

$$(H_2 - H_1) + (H_3 - H_2) + (H_1 - H_3) = 0.$$

Это уравненіе служитъ условнымъ уравненіемъ для высотъ. На самомъ же дѣлѣ вычисленныя высоты не удовлетворяютъ этому условію, и сумма разностей вычисленныхъ высотъ оказывается равной нѣкоторой опредѣленной величинѣ, такъ что можемъ написать:

$$(H'_2 - H'_1) + (H'_3 - H'_2) + (H'_1 - H'_3) = p,$$

или, полагая

$$(H'_2 - H'_1) = (H_2 - H_1) + (\alpha'),$$
$$(H'_3 - H'_2) = (H_3 - H_2) + (\beta')$$

и

$$(H'_1 - H'_3) = (H_1 - H_3) + (\gamma'),$$

получимъ слѣдующее уравненіе для ошибокъ въ каждой высотѣ:

$$(\alpha') + (\beta') + (\gamma') = p,$$

причемъ и сумма квадратовъ этихъ ошибокъ должна быть наименьшею. Для треугольника ошибки эти (§ 355) оказываются равными между собою, а потому:

$$(\alpha') = (\beta') = (\gamma') = \frac{p}{3}.$$

Глава XXXIII.

НИВЕЛЛИРЪ-ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА.

У насъ, въ Россіи, сравнительно съ ея пространствомъ, произведено мало тріангуляцій; въ особенности затруднительно производить ихъ въ мѣстахъ, покрытыхъ лѣсомъ, гдѣ приходится строить очень высокіе сигналы, что, конечно, беретъ и время, и деньги; поэтому, съ конца 60-хъ годовъ, у насъ начали производить, такъ называемыя, нивеллиръ-теодолитныя работы для полученія геодезическихъ опорныхъ пунктовъ, необходимыхъ для мензульной съемки страны. Такая съемка производилась съ 1860 года въ Финляндіи, и въ 1896 году вышелъ въ свѣтъ отчетъ объ этихъ работахъ.

357. Производство нивеллиръ-теодолитной съемки. Нивеллиръ-теодолитная работа—это не что другое, какъ съемка обходомъ, исполняемая нивеллиръ-теодолитомъ, а разстоянія при ней опредѣляются дальномѣромъ. Отличіе этого рода съемки заключается въ большей точности производства работы и въ особой обработкѣ вычисленій. Нивеллиръ-теодолиты, употребляемые у насъ военно-топографическимъ отдѣломъ, исполнены довольно совершенно Петербургскимъ механикомъ-артистомъ Брауэромъ (умершимъ). Нивеллиръ-теодолитъ Брауэра имѣетъ видъ, подобный изображенному на чертежѣ 389. Онъ имѣетъ горизонтальный лимбъ, два вертикальныхъ сектора съ точностью нониуса въ 4 секунды; цѣна дѣленія уровня не превосходитъ $2^1/_2$ секундъ. Нивеллиръ-теодолитъ снабженъ повѣрительною трубою и двумя уровнями, одинъ изъ нихъ для горизонтальнаго лимба придѣланъ къ алидадѣ, а другой расположенъ на верхней трубѣ и можетъ быть снимаемъ съ нея. Труба имѣетъ дальномѣръ. Нивеллиръ-теодолитъ снабженъ тремя штативами, такъ что, установивъ инструментъ на начальномъ пунктѣ, на слѣдующихъ двухъ устанавливаютъ также штативы, и на второмъ штативѣ, вмѣсто инструмента, вставляется въ дыру столика штатива особая цилиндрическая марка, окрашенная въ бѣлую краску; переходя на второй пунктъ, инструментъ снимаютъ съ перваго штатива и, вмѣсто нивеллиръ-теодолита, вставляютъ въ штативъ марку, такъ что, когда инструментъ установленъ на второмъ штативѣ, то визируютъ на марки перваго и третьяго штативовъ; пере-

неся инструментъ съ второго штатива на третій, штативъ стоявшій на начальномъ пунктѣ, переносятъ на четвертый и вставляютъ марку и т. д. Этимъ способомъ обезпечивается вполнѣ хорошая центрировка на пункты полигона, или, какъ говорятъ, *нивеллиръ-теодолитнаго ряда*. Разстояніе между пунктами берутъ не болѣе версты и не менѣе 250 саженъ. Между двумя штативами, въ сторонѣ отъ линіи, соединяющей ихъ, устанавливаютъ рейку, длиною въ $2^1/_2$ сажени, на прочной треногѣ. На каждой рейкѣ назначено по двѣ марки, горизонтальныя мѣтки которыхъ отстоятъ другъ отъ друга на двѣ сажени. Такихъ реекъ при каждомъ нивеллиръ-теодолитѣ обыкновенно имѣется по двѣ. При визированіи со штатива на штативъ и на рейки берутъ отсчеты не только на горизонтальномъ кругѣ, но и отсчеты вертикальныхъ угловъ на секторѣ, благодаря чему является возможность опредѣлять высоты точекъ, въ которыхъ находились рейки. Рейка снабжается двумя марками, устанавливаемыми обыкновенно на двѣ сажени другъ отъ друга. Горизонтальный волосокъ трубы наводятъ на горизонтальныя черты марокъ и при этомъ дѣлаютъ отсчеты на двухъ секторахъ (§ 210).

Нивеллиръ-теодолитные ряды, или полигоны, выбираютъ обыкновенно по дорогамъ. На нѣкоторыхъ пунктахъ центры закладываются каменные, или же забиваютъ прочную сваю и въ центрѣ ея вбиваютъ гвоздь. Такіе пункты называютъ *закладными*. Число закладныхъ пунктовъ берется такимъ образомъ, чтобы они давали достаточное число геодезическихъ пунктовъ для каждаго планшета. Со всѣхъ штативовъ берутъ направленія на всѣ пункты, видные съ нихъ и обозначенные на мѣстѣ какими-либо знаками или постройками. Кромѣ того, берутъ направленія на пункты, находящіеся на возвышенныхъ мѣстахъ. Все это дѣлается для того, чтобы впослѣдствіи пункты эти могли служить для лучшей ориентировки при мензульной съемкѣ. Начинаютъ нивеллиръ-теодолитную съемку отъ какого-либо пункта, опредѣленнаго тригонометрически. Если же въ мѣстности, въ которой предполагаютъ проложить нивеллиръ-теодолитные ряды, нѣтъ вблизи пунктовъ, опредѣленныхъ тригонометрически, то этой съемкѣ предпосылаютъ астрономическое опредѣленіе пунктовъ, отстоящихъ другъ отъ друга до 100 верстъ, и когда положеніе этихъ пунктовъ вычислено, то начинаютъ нивеллиръ-теодолитную съемку отъ пункта, опредѣленнаго астрономически.

Измѣреніе вертикальныхъ угловъ при этой съемкѣ производится особенно тщательно, при этомъ дѣлаются всякій разъ отсчеты по обоимъ концамъ уровня алидады, такъ что, зная цѣну дѣленія уровня, опредѣляютъ поправку вертикальнаго угла. Цѣну дѣленія уровня опредѣляютъ при помощи секторовъ нивеллиръ-теодолита или при помощи особаго снаряда, называемаго *экзаменаторомъ*. Это необходимо, потому что, при разстояніи до рейки въ 250 саженъ, ошибка въ вертикальномъ углѣ на 1 секунду вызываетъ ошибку въ разстояніи, равную 0,15 саж. А такъ какъ всѣ вычисленія разстояній основываются на измѣреніяхъ, сдѣланныхъ высотомѣромъ, то понятно, что на вѣрное измѣреніе вертикальныхъ угловъ должно быть обращено здѣсь особое вниманіе.

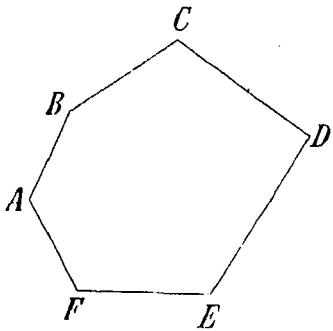
При измѣреніи горизонтальныхъ угловъ слѣдуютъ такому порядку: установивъ инструментъ на штативѣ, поворачиваютъ его такъ, чтобы винтъ при сѣточномъ колѣнѣ трубы былъ наверху, а секторъ слѣва, и визируютъ на марку задняго штатива; затѣмъ, вращая алидаду по направленію движенія часовыхъ стрѣлокъ, визируютъ: на заднюю, переднюю рейки, на марку передняго штатива и на мѣстные предметы, затѣмъ снова на марку задняго штатива. Послѣ этого ставятъ секторъ справа, а винтъ сѣточнаго колѣна трубы снизу и визируютъ на марку задняго штатива, затѣмъ, вращая алидаду по направленію, обратному движенію часовой стрѣлки, визируютъ на всѣ предметы, на которые визировали въ первый разъ, въ томъ числѣ на заднюю и переднюю рейки и, наконецъ, снова на марку задняго штатива. При визированіи на каждый предметъ дѣлаютъ отсчеты по обоимъ нониусамъ на горизонтальномъ лимбѣ. Такой рядъ наблюденій называется *пріемомъ*. Обыкновенно не ограничиваются однимъ пріемомъ, а дѣлаютъ ихъ два или три, переставляя алидаду на лимбѣ на соотвѣтственное число градусовъ. При началѣ второго пріема трубу оставляютъ въ томъ положеніи, въ какомъ она была въ концѣ перваго пріема. При началѣ каждаго пріема визируютъ также въ повѣрительную трубу на избранный предметъ.

При измѣреніи вертикальныхъ угловъ слѣдуютъ такому порядку: ставятъ секторы слѣва, винтъ трубы внизу, визируютъ на нижнюю и верхнюю марку задней рейки, на марку задняго штатива, на ея горизонтальную черту, на мѣстные предметы, на марку передняго штатива, на нижнюю и верхнюю марки передней рейки. Затѣмъ

ставятъ секторы справа отъ трубы, винтъ трубы вверху, визируютъ на всѣ предметы, указанные выше, но только въ обратномъ порядкѣ. При каждомъ наведеніи дѣлается отсчетъ по уровню алидады.

Въ полевой журналъ записываютъ время работы, состояніе погоды, всѣ мѣстные предметы, на которые визировали, т. е. названіе предмета и какая его точка визировалась, нумера штативовъ и всѣ показанія вертикальнаго и горизонтальнаго круговъ.

Если назовемъ разстояніе, считаемое по рейкѣ отъ ея подошвы до нижней марки, буквою V_1, до верхней — V_2, углы наклоненія визирной оси, когда она направлена на марки, буквами α_1 и α_2, то разстояніе до рейки опредѣляется такъ, какъ объяснено въ параграфѣ 210-мъ, для опредѣленія разстояній высотомѣромъ, т. е. по формулѣ:



Черт. 435.

$$d = \frac{V_2 - V_1}{tang\,\alpha_2 - tang\,\alpha_1},$$

гдѣ

$$V_2 = d\,tg\,\alpha_2,\quad V_1 = d\,tg\,\alpha_1 \quad . \quad . \quad (1)$$

Такъ какъ горизонтальный волосокъ нивеллиръ-теодолита наводится на марки рейки, отстоящія другъ отъ друга на 2 сажени, то написанная формула переходитъ въ такую:

$$d = \frac{2}{tang\,\alpha_2 - tang\,\alpha_1},$$

но

$$tang\,\alpha_2 - tang\,\alpha_1 = \frac{sin\,\alpha_2}{cos\,\alpha_2} - \frac{sin\,\alpha_1}{cos\,\alpha_1} = \frac{sin\,(\alpha_2 - \alpha_1)}{cos\alpha_2\,cos\alpha_1},$$

а потому:

$$d = 2\,\frac{cos\,\alpha_2\,cos\,\alpha_1}{sin(\alpha_2 - \alpha_1)}; \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Если разстояніе отъ подошвы рейки до нижней марки означимъ чрезъ V_1, высоту инструмента — J, отмѣтки высотъ точекъ стоянія инструмента и рейки H_2 и H_1, то H_1 опредѣлится такъ:

$$H_1 = H_2 + J - (d\,tg\,\alpha_1 - V) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Если въ A, C и E (черт. 435) стояли штативы, а въ B, D и F рейки, то сначала найдутся по формулѣ (2) разстоянія AB и BC,

а также *CD*, *DE*, *EF* и *FA*. Зная же эти разстоянія и углы горизонтальные, вычисляютъ *AC*, *CE* и *AE*. Такимъ образомъ, будутъ извѣстны полярныя координаты всѣхъ штативовъ.

Изъ всего этого видно, что отъ накопленія ошибокъ, положенія послѣдующихъ штативовъ опредѣлятся менѣе точно, чѣмъ начальныхъ. Это надо имѣть въ виду при производствѣ подробной съемки мензулой и потому ее основываютъ на точкахъ начальныхъ.

Глава XXXIV.

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТРІАНГУЛЯЦІЯ, ПРОИЗВОДИМАЯ ПРИ ПОМОЩИ МЕНЗУЛЬНОЙ СЪЕМКИ ЗАСѢЧКАМИ.

Съемка засѣчками, какъ знаемъ, основана на томъ началѣ, что треугольникъ вполнѣ опредѣленъ, если извѣстна одна сторона и два прилежащіе къ ней угла или одинъ прилежащій и противолежащій. Въ основѣ своей способъ этотъ уже описанъ въ параграфахъ 244—246.

358. Производство геометрической тріангуляціи, когда положеніе основныхъ пунктовъ опредѣлено. Если производилась тригонометрическая тріангуляція или нивеллиръ-теодолитная съемка и нанесены точки сѣти всѣхъ трехъ разрядовъ на планшеты, то на каждомъ планшетѣ имѣются уже хотя двѣ опредѣленныхъ точки, разстояніе между которыми можетъ играть роль базиса.

Когда на планшетѣ имѣется хотя одинъ базисъ, тогда составляется, такъ называемая, *геометрическая тріангуляція*, или сѣть треугольниковъ 4-го разряда. Оріентируя мензулу по базису, получаемому между тригонометрическими пунктами, опредѣляютъ главныя точки геометрической сѣти на мензулѣ обратною засѣчкою.

При этомъ хорошо получать обратную засѣчку визированіемъ не на одну опредѣленную точку, а, по крайней мѣрѣ, на двѣ точки. Линіи, проведенныя по тремъ направленіямъ къ опредѣляемой точкѣ, могутъ составить треугольникъ погрѣшности, болѣе или менѣе значительный. Смотря по величинѣ этого треугольника, заключаютъ, надо ли произвести вновь опредѣленіе этой точки.

Если имѣются на планшетѣ три точки, то опредѣляютъ по нимъ положеніе четвертой такъ, какъ описано въ § 246.

При выборѣ точекъ для геометрической тріангуляціи руководствуются слѣдующими правилами: точки сѣти должны находиться преимущественно на мѣстахъ открытыхъ и возвышенныхъ, чтобы изъ каждой точки можно было видѣть большее число остальныхъ пунктовъ, причемъ въ геометрическую сѣть должны быть включены важнѣйшіе мѣстные предметы, какъ-то: колокольни, вѣтряныя мельницы, отдѣльныя зданія съ башнями или, вообще, съ выдающимися верхушками, отдѣльно стоящія деревья, верстовые столбы, а также столбы у перекрестковъ дорогъ, сигнальные столбы на берегахъ судоходныхъ рѣкъ, на желѣзныхъ дорогахъ и т. п. предметы. Для обозначенія же точекъ, неотмѣченныхъ подобными предметами и которыя, по мѣстнымъ обстоятельствамъ, надлежитъ снять на планъ, устанавливаютъ большія вѣхи, въ 2 и 3 сажени, съ привязанными къ ихъ верхушкамъ разнообразными знаками—изъ пучковъ соломы, хвороста, для того, чтобы не смѣшать одну вѣху съ другою.

359. Производство геометрической тріангуляціи, когда положеніе основныхъ пунктовъ не опредѣлялось. Если предварительно не было сдѣлано тригонометрической тріангуляціи, и если надо снять участокъ небольшой, помѣщающійся на одномъ планшетѣ, тогда базисъ берутъ длиною до одной версты, смотря по масштабу, принятому для плана, выбравъ посреднѣ участка на ровномъ мѣстѣ, измѣряютъ его цѣпью нѣсколько разъ. Затѣмъ, сдѣлавъ геометрическую тріангуляцію, получаютъ нѣсколько отдѣльныхъ базисовъ для дальнѣйшей съемки подробностей; при этомъ точки, характеризующія различные контуры, обозначаютъ небольшими вѣхами съ флагами различныхъ цвѣтовъ. Такихъ вѣхъ болѣе 10 употреблять не слѣдуетъ, чтобы не было путаницы. Большинство этихъ точекъ или даже всѣ опредѣляются прямою засѣчкою.

360. Какова должна быть длина базиса при мензульной съемкѣ. При откладываніи базиса на планшетѣ можетъ быть сдѣлана ошибка вслѣдствіе хотя бы того, что точка, отмѣченная карандашомъ, не есть геометрическая точка. Ошибку въ назначеніи базиса на планшетѣ можно считать поэтому равною $^1/_{200}$ дюйма. При масштабѣ 200 саж. въ дюймѣ, ошибка въ длинѣ дѣйствительнаго базиса будетъ, слѣдовательно, равна, 1 сажени; при масштабѣ 100 саж.

въ дюймѣ, ошибка эта равна $^1/_2$ сажени. Если, при опредѣленіи положенія точекъ, не будетъ сдѣлано никакой ошибки, то, уже благодаря ошибкѣ, сдѣланной въ откладываніи базиса, ошибки на краяхъ планшета возрастутъ пропорціонально разстоянію краевъ планшета отъ базиса. Если считать планшетъ въ 22 дюйма и оставить по одному дюйму на рамки, то края планшета отстоятъ отъ концовъ базиса, взятаго въ серединѣ планшета, приблизительно на 10 дюймовъ, или на 2.000 саженъ, при масштабѣ 200 саженъ въ дюймѣ. Если ошибку на краяхъ планшета ограничить 4 саженями, то, называя базисъ буквою b, можно вычислить длину базиса изъ такой пропорціи:

$$b : 2000 = 1 : 4$$

$$b = \frac{2000}{4} = 500.$$

При съемкѣ участка, въ масштабѣ 100 саженъ въ дюймѣ, и въ предположеніи ошибки на краяхъ планшета въ 4 сажени, найдемъ величину базиса изъ слѣдующей пропорціи:

$$b : 1000 = {}^1/_2 : 4$$

$$b = 125 \text{ саж.}$$

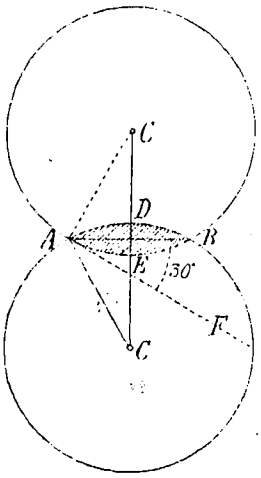
Такимъ образомъ, *величина базиса при мензульной съемкѣ должна быть соображена съ масштабомъ съемки и величиною допускаемой ошибки на краяхъ планшета.*

361. Предѣлы мензульной съемки съ одного базиса. При съемкѣ засѣчками, надо стараться всѣ опредѣляемыя точки получать засѣчками не очень острыми и не очень тупыми, иначе положеніе точки пересѣченія линій визированія будетъ получаться съ большою ошибкою. Засѣчки подъ угломъ меньше 30° или больше 150° считаются невозможными.

Чтобы назначить предѣлы для засѣчекъ съ одного базиса, надо начертить на немъ по обѣимъ сторонамъ уголъ, вмѣщающій 30° (черт. 436). Тогда точки, расположенныя внѣ окружностей, будутъ опредѣляться засѣчками съ базиса AB подъ углами меньшими 30°, ихъ надо опредѣлить съ другого базиса. Точки, расположенныя близъ базиса въ пространствѣ, заштрихованномъ между двумя кругами, будутъ опредѣляться засѣчками подъ углами большими 150°, поэтому

онѣ подлежатъ опредѣленію дальномѣромъ или визированіемъ на нихъ и измѣреніемъ цѣпью разстоянія до нихъ отъ инструмента.

Когда планъ снимаемаго участка не можетъ помѣститься на одномъ мензульномъ листѣ, а тригонометрической тріангуляціи предварительно не производилось, то, измѣривъ базисъ, выбранный посреди участка, наносятъ его въ опредѣленномъ масштабѣ на планшетъ, производятъ геометрическую тріангуляцію, причемъ стараются получать также точки за рамкой планшета. Перенеся точки, нанесенныя за рамкой, на соотвѣтствующіе планшеты, получаютъ на этихъ послѣднихъ точки для базиса геометрической тріангуляціи. Слѣдуетъ обращать вниманіе, чтобы эти точки не были расположены слишкомъ близко другъ отъ друга. Конечно, нельзя продолжать такой способъ сколь угодно далеко, потому что ошибки будутъ накопляться; но онъ можетъ быть употребленъ съ удобствомъ, когда участокъ помѣщается не болѣе какъ на 9-ти планшетахъ.



Черт. 436.

Когда на снимаемомъ участкѣ нѣтъ пунктовъ, опредѣленныхъ тригонометрически, но онъ, однако, довольно значителенъ, то съемку дѣлаютъ еще слѣдующимъ образомъ: сначала производятъ геометрическую тріангуляцію, на основаніи измѣреннаго небольшого базиса въ такомъ масштабѣ, чтобы весь снимаемый участокъ получился на одномъ планшетѣ. Такъ, напр., для хозяйственныхъ и инженерныхъ цѣлей, дѣлаютъ съемку въ одномъ дюймѣ или въ одной сотой сажени 100 или 50 саженъ. Уменьшивъ масштабъ вдвое или въ большее число разъ, такъ, чтобы весь снимаемый участокъ помѣстился на одномъ планшетѣ, дѣлятъ стороны планшета на двѣ или на три части, смотря по тому, во сколько уменьшенъ масштабъ, соединяютъ эти точки и, такимъ образомъ, получаютъ 4, 9, 16, 25 квадратовъ. Заполняютъ планшетъ треугольниками геометрической тріангуляціи такъ, чтобъ на каждомъ изъ маленькихъ квадратовъ было не менѣе трехъ точекъ геометрической сѣти. Когда, такимъ образомъ, геометрическая тріангуляція окончена, переносятъ пункты геометрической

тріангуляціи на планшеты большаго масштаба съ малыхъ квадратовъ. При этомъ, конечно, ошибки въ положеніи переносимыхъ точекъ удваиваются и утраиваются, а потому на общемъ планшетѣ опредѣленіе ихъ надо вести самымъ точнымъ образомъ, возможнымъ для мензулы.

Имѣя, такимъ образомъ, на каждомъ планшетѣ, по крайней мѣрѣ, три опредѣленныхъ точки, дѣлаютъ послѣдовательно на каждомъ изъ этихъ планшетовъ съемку, какъ описано ниже. При производствѣ мензульной съемки надо руководствоваться слѣдующими общими правилами.

Всѣ точки геометрической сѣти должны быть опредѣляемы или обратною засѣчкою, или оборотами мензулы, при этомъ слѣдуетъ засѣкаться, по возможности, большимъ числомъ точекъ, уже опредѣленныхъ, и считать только то опредѣленіе надежнымъ, при которомъ всѣ пересѣчки совпадаютъ въ одну точку. При разстановкѣ вѣхъ въ вершинахъ сѣти необходимо имѣть въ виду, чтобы на каждой изъ четырехъ рамокъ планшета приходилось не менѣе двухъ точекъ сѣти, что необходимо для связи одного планшета съ другимъ.

Въ лѣсистой мѣстности слѣдуетъ избирать на возвышенныхъ мѣстахъ болѣе высокія деревья и на нихъ привязывать вѣхи такой высоты, чтобы онѣ выдавались надъ лѣсомъ. Если же въ лѣсистой мѣстности проложеніе геометрической сѣти окажется невозможнымъ, то опредѣленіе основныхъ геометрическихъ пунктовъ дѣлаютъ посредствомъ инструментальныхъ обходовъ по замкнутымъ полигонамъ (§ 358), послѣдовательно примыкающимъ одинъ къ другому, идя по дорогамъ и просѣкамъ. Точки стоянія инструмента при обходахъ слѣдуетъ отмѣчать небольшими кольями, чтобы, при производствѣ съемки подробностей, возможно было ориентироваться по нимъ. При обходахъ въ лѣсу, гдѣ нельзя ориентировать мензулу по линіи, дозволительно пользоваться бусолью для ориентированія мензулы по странамъ свѣта.

Одновременно съ визированіемъ на опредѣляемую точку сѣти, опредѣляютъ и высоту ея, при этомъ, если неизвѣстна отмѣтка одной изъ крайнихъ точекъ базиса, то ее принимаютъ условно равною, напр., 100 саж. Разстоянія между всѣми точками сѣти опредѣляются не только графически при помощи засѣчекъ, но и дальномѣромъ кипрегеля. Если разстоянія опредѣляются кипрегелемъ, то отсчеты по

рейкѣ дѣлаются по крайнимъ волоскамъ. При опредѣленіи разстояній до отдаленныхъ точекъ, отсчеты по рейкѣ могутъ быть взяты по одному крайнему и среднему волоску, но при этомъ всегда надо брать двѣ разности: одну—изъ чтеній по верхнему и среднему волоску, а другую по среднему и нижнему волоску. Средняя изъ двухъ разностей вводится въ вычисленіе. Если кипрегель имѣетъ полный вертикальный кругъ, то визировать на рейку слѣдуетъ по два раза: при кругѣ справа и слѣва отъ трубы.

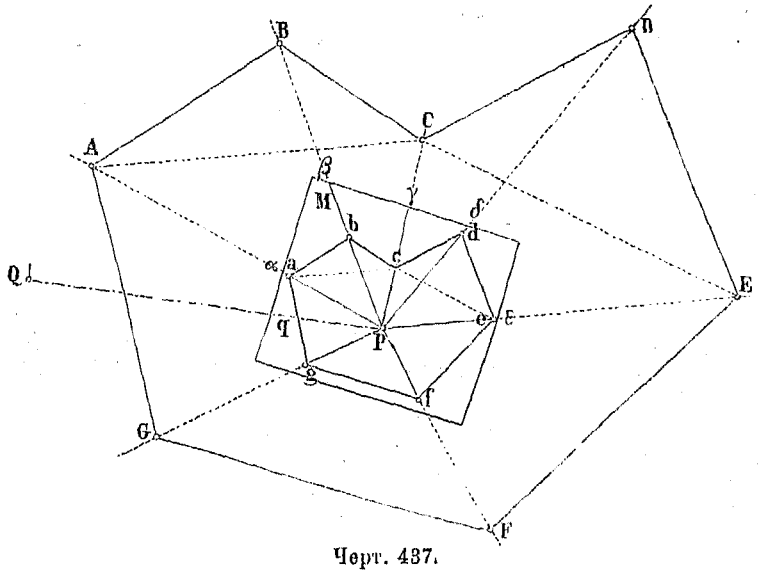
При опредѣленіи высотъ геометрической сѣти и прочихъ точекъ, ведется особый журналъ, всѣ измѣренія должны быть записаны въ него въ томъ порядкѣ, въ какомъ они дѣлались въ полѣ; вычисленія высотъ обязательно должны быть сдѣланы въ полѣ.

362. Съемка подробностей при геометрической тріангуляціи. Когда нанесена геометрическая тріангуляція на планшеты, то, такимъ образомъ, имѣютъ много отдѣльныхъ базисовъ, при помощи которыхъ получаютъ различныя точки подробностей, какъ-то: повороты дорогъ, изгибы рѣкъ и ручьевъ, точки, лежащія на контурахъ лѣсовъ, пашень, луговъ, болотъ и т. п., при этомъ употребляется или способъ обратной засѣчки, или прямой.

Точки подробностей менѣе важныя можно опредѣлять еще и такимъ образомъ: установить мензулу ея центромъ надъ опредѣляемою точкою, оріентировать ее по странамъ свѣта при помощи мензульной буссоли, а затѣмъ визировать на какія-либо двѣ точки мѣстности, нанесенныя уже на планшетѣ, прикладывая къ нимъ край линейки кипрегеля и прочерчивая на планшетѣ соотвѣтственныя линіи по этому краю, тогда пересѣченіе двухъ линій дастъ положеніе опредѣляемой точки съ достаточной точностью.

Съемка точекъ подробностей можетъ быть еще исполнена слѣдующимъ образомъ. Если съ какой-нибудь точки мѣстности хорошо видно много близлежащихъ точекъ, то слѣдуетъ опредѣлить положеніе ее или обратною засѣчкою по двумъ даннымъ, или оборотами мензулы по тремъ даннымъ точкамъ, а затѣмъ слѣдуетъ визировать на всѣ хорошо видныя точки подробностей, прикладывая каждый разъ кипрегель къ точкѣ, изображающей точку стоянія мензулы, прочертить по краю кипрегеля линіи и, измѣривъ цѣпью или лентою всѣ разстоянія отъ точки стоянія мензулы до опредѣляемыхъ точекъ, разстоянія эти отложить въ масштабѣ съемки. Если труба кипрегеля

имѣетъ дальномѣръ, то нѣтъ надобности мѣрить разстояніе цѣпью, а во всѣ опредѣляемыя точки надо ставить рейку, такъ какъ, при помощи дальномѣра и рейки, работа опредѣленія положенія точекъ исполняется очень быстро. Описанный способъ называется способомъ опредѣленія точекъ съ одной точки стоянія, или способомъ *полярныхъ координатъ*. Черт. 437-ой поясняетъ производство этого рода работы. Для полной увѣренности, что всѣ точки сняты вѣрно, слѣдуетъ въ началѣ и концѣ работы провизировать на какую-либо отдаленную точку, напр. Q, прикладывая оба раза край линейки кипрегеля къ

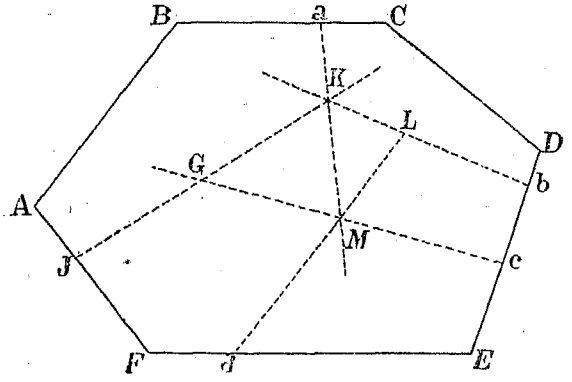


Черт. 437.

одной и той же линіи pq планшета; если при второмъ визированіи вертикальный волосокъ покроетъ сигналъ Q, то это укажетъ, что планшетъ во время работы не сдвинулся съ первоначальнаго своего мѣста. Для повѣрки правильности опредѣленія всѣхъ точекъ можно, напр., стать съ мензулой въ точку C, оріентировать ее по линіи bc и провизировать на всѣ точки видныя изъ C, напр., на A, E и D. Если, при визированіи на эти точки, край кипрегеля будетъ проходить чрезъ точки a, d, e на планшетѣ, то съемка сдѣлана вѣрно. Этотъ способъ съемки мензулой можетъ быть употребленъ также въ томъ случаѣ, когда надо снять какой-нибудь контуръ, углы котораго видны съ одной точки, находящейся внутри этого контура, такъ, въ нашемъ случаѣ, получается изображеніе контура $ABCDEFG$.

Начиная съемку подробностей мензулой, слѣдуетъ чертить направленія на всѣ выдающіеся предметы, какъ-то: на церкви, часовни, мельницы, трубы домовъ, отдѣльно стоящія деревья, кресты, колодцы и т. п. Непремѣнно слѣдуетъ брать направленія по створамъ, т. е. по такимъ направленіямъ, на которыхъ находятся два какихъ-нибудь предмета, а затѣмъ, при случаѣ, опредѣлять всѣ эти предметы засѣчкою прямою. Такъ, на чертежѣ 438-мъ взято напр. направленіе aKM, на которомъ находятся два предмета K и M. Всѣми этими направленіями можно пользоваться при съемкѣ для оріентированія мензулы по данной линіи.

Кромѣ того, должны быть сняты отдѣльно стоящіе жилые дома



Черт. 438.

и нежилыя постройки; въ малыхъ дворахъ отдѣльныя постройки не наносятся, а снимается общее очертаніе двора. Такъ же должны быть сняты контуры огородовъ, пашень, луговъ, выгоновъ и мѣста родниковъ, ключей, ямъ и бугровъ.

Если снимаемые предметы малы и не помѣщаются въ масштабѣ или если эти предметы, хотя и помѣщаются въ масштабѣ, но очертаніе ихъ не снималось, потому что къ нимъ подходить было неудобно, то всѣ такіе предметы отмѣчаются условнымъ знакомъ.

Съемка подробностей должна наноситься прямо на ватманскую бумагу, съ какою цѣлью отрываютъ по частямъ наклеенную поверхъ ватманской александрійскую бумагу съ проложенною на ней геометрической сѣтью, но такъ, чтобы не сорвать ее съ полей планшета, гдѣ будутъ прочерчены направленія на основные пункты. По мѣрѣ же заполненія частей планшета, части эти вытягиваются дома тушью и,

затѣмъ, вновь заклеиваются тонкою бумагою, чтобы сохранить планшетъ въ большей чистотѣ.

Съемка точекъ подробностей производится, какъ сказано выше, или инструментальными обходами, или прямыми засѣчками, или дальномѣромъ. Такимъ же точно образомъ опредѣляются и точки переходныя, съ которыхъ лучше всего видны всѣ видоизмѣненія рельефа окружающей мѣстности и возможно большее число контуровъ.

Переходныя точки не должны быть слишкомъ удалены другъ отъ друга, чтобы рисовку подробностей не приходилось производить издалека; для этого разстоянія между этими точками въ мѣстности, имѣющей много контуровъ, слѣдуетъ брать не болѣе 50 саженъ, въ средней мѣстности — не болѣе 100 саженъ. Съ переходныхъ точекъ слѣдуетъ рисовать только такіе контуры, какіе съ нихъ видны; если же не вполнѣ виденъ контуръ, то, послѣ нанесенія нѣсколькихъ точекъ контура по дальномѣру, слѣдуетъ пойти на мѣсто съ мензулою и нарисовать съ натуры, по глазомѣру, всѣ изгибы контура между нанесенными точками.

363. Изображеніе неровностей мѣстности горизонталями при геометрической тріангуляціи. Сдѣлавъ геометрическую тріангуляцію и опредѣливъ высоты всѣхъ точекъ сѣти, надо, кромѣ того, опредѣлить высоты и положеніе, по возможности, большаго числа точекъ съемки подробностей; при этомъ необходимо опредѣлить отмѣтки точекъ, расположенныхъ по хребтамъ и тальвегамъ, въ началѣ и концѣ каждаго изъ нихъ, въ точкахъ ихъ перегиба, на вершинахъ, сѣдловинахъ и на днѣ впадинъ, т. е. опредѣлить положеніе и высоты концовъ натуральныхъ линій.

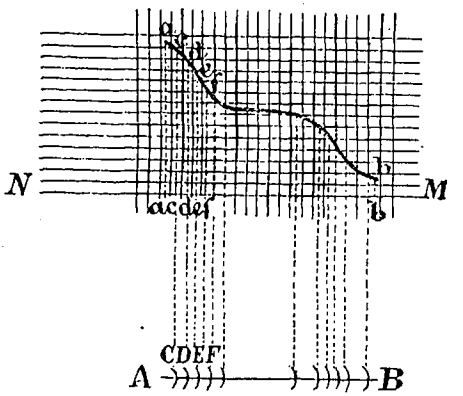
Чтобы не производить много лишней работы, можно опредѣлить максимальный предѣлъ числа точекъ, отмѣтки которыхъ надо опредѣлить, руководясь тѣмъ правиломъ, чтобы между этими точками не встрѣчалось никакихъ перегибовъ, такъ что линіи на земной поверхности между этими точками можно было бы считать за линіи одного ската. Тогда каждыя три точки будутъ вершинами треугольниковъ на мѣстностяхъ, которые можно принимать за плоскіе треугольники. Конечно, неровностями мелкими, не превосходящими, напр., $^1/_2$ высоты между горизонталями, можно пренебрегать.

Вообще, надо сказать, что чѣмъ опытнѣе съемщикъ, тѣмъ меньшимъ числомъ высотъ онъ можетъ обойтись, нисколько не уменьшая

точности. Чтобы выработать въ себѣ эту опытность, надо, между прочимъ, помнить, что всякая покатость на земной поверхности кажется глазу наклоненной къ горизонту болѣе, чѣмъ это есть въ дѣйствительности; такъ, покатость въ 60° кажется почти вертикальной, покатость въ 45° кажется имѣющей наклонъ въ 75°. Большинство крутыхъ горныхъ скатовъ имѣютъ уклонъ не болѣе $^2/_3$, кажутся же они глазу имѣющими уклонъ равный единицѣ. Въ мѣстностяхъ, имѣющихъ слабыя и длинныя покатости, углы наклоненія кажутся глазу также болѣе дѣйствительныхъ. Чтобы пріучить глазъ вѣрно опредѣлять углы наклоненія въ такихъ мѣстностяхъ, полезно опредѣлять ихъ на построенныхъ шоссе и желѣзныхъ дорогахъ. Если стать на желѣзной дорогѣ, подымающейся вверхъ сотеннымъ подъемомъ, и притомъ подъемомъ, имѣющимъ значительную длину, то будетъ казаться, что находишься у подошвы высокой горы. Каналы, судоходные и оросительные, съ слабымъ уклономъ всегда кажутся имѣющими значительный подъемъ въ гору. Что касается измѣренія разстояній глазомѣрно, то здѣсь также надо имѣть въ виду, что разстоянія, видимыя по прямому направленію, кажутся длиннѣе дѣйствительныхъ, а по направленіямъ боковымъ всегда кажутся короче дѣйствительныхъ. При разсматриваніи съ значительныхъ разстояній большихъ горныхъ кряжей, они всегда кажутся даже опытному глазу ближе, чѣмъ есть въ дѣйствительности, въ особенности если пространство между наблюдателемъ и горами перерѣзано второстепенными возвышенностями.

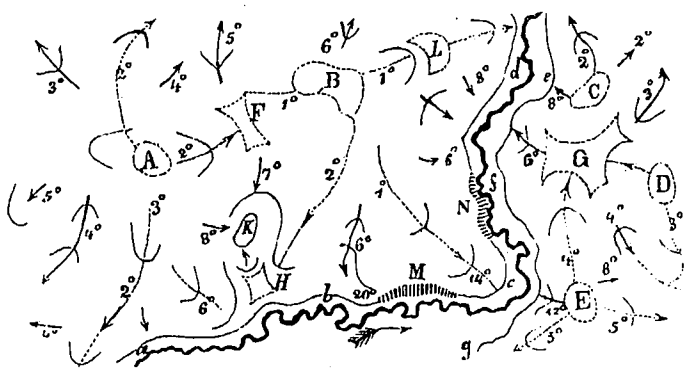
Опредѣлять отмѣтки большаго числа точекъ, чѣмъ указано выше, было бы излишнею непроизводительною работою. Въ большинствѣ случаевъ, приходится опредѣлять отмѣтки значительно меньшаго числа точекъ. Поэтому, чтобы получить точнѣе положеніе каждой изъ горизонталей, опредѣляютъ отмѣтки двухъ точекъ, между которыми есть возвышеніе или углубленіе, и, узнавъ, сколько между этими точками помѣстится горизонталей, по линіи между точками, отмѣтки которыхъ опредѣлены, срисовываютъ на глазъ профиль между ними на графленой бумагѣ (черт. 439), отложивъ предварительно въ масштабѣ съемки горизонтальное разстояніе между точками, самыя же точки назначаютъ соотвѣтственно разности ихъ высотъ. Рисовать профиль на глазъ съ натуры слѣдуетъ, становясь между точками, отмѣтки которыхъ опредѣлены. Рисовать профиля между точками слѣдуетъ

во время самой съемки, переносить же ихъ на планшетъ можно дома. Точки пересѣченія профиля, вычерченнаго на графленой бумагѣ, съ линіями горизонтальными, отстоящими другъ отъ друга на величину, равную высотѣ между горизонталями, спроектировываются на горизонтальное проложеніе между данными точками, и, наконецъ, графленая бумага прикладывается къ соотвѣтствующей линіи между данными точками на мензулѣ, и полученныя точки для горизонталей переносятся на планшетъ. Но, найдя точки, чрезъ которыя должны проходить горизонтали, рисовать эти послѣднія слѣдуетъ непремѣнно въ полѣ съ натуры, чтобы не упустить малѣйшихъ измѣненій въ очертаніи горизонталей.



Черт. 439.

Кромѣ всего этого, во время производства съемки, въ высшей степени полезно опредѣлять, какъ сказано выше, очертаніе вер-



Черт. 440.

шинъ, сѣдловинъ, подошвъ уступовъ, осей хребтовъ, тальвеговъ и рѣзкихъ перегибовъ, или, такъ называемыя, *натуральныя линіи*. Натуральныя линіи чертятся сплошными или пунктирными линіями, направленія скатовъ обозначаются коротенькими штрихами и стрѣлками, называемыми *бергштрихами*, а также наносятся коротень-

кія горизонтали, а около нихъ пишется число градусовъ угловъ наклоненія. Такой способъ называется *способомъ замытокъ*. На чертежѣ 440-мъ изображены вершины A, B, C, D и E, сѣдловины F, G и H, площадка L, котловина K; срѣзы или обрывы M и N вычерчены толстыми, короткими штрихами, оси хребтовъ вычерчены пунктирными линіями, подмывы и оси лощинъ пунктирными линіями.

Чтобы не испещрять плана, при проведеніи въ полѣ горизонталей, ихъ надо проводить въ возможно меньшемъ числѣ, т. е. при этомъ проведеніи слѣдуетъ брать разстояніе между горизонталями большее въ нѣсколько разъ противъ принятой высоты.

Глава XXXV.

СЪЕМКА ОРДИНАТАМИ.

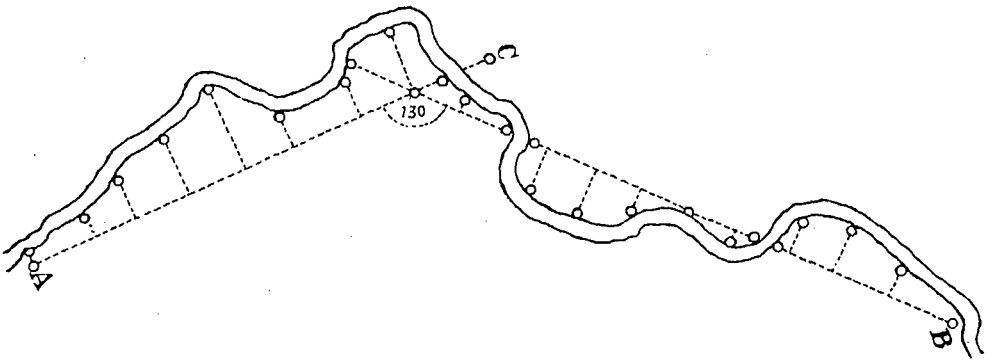
Съемка эта основана на томъ началѣ, что положеніе точки вполнѣ опредѣлено, если извѣстно ея разстояніе до какой-нибудь опредѣленной линіи; разстояніе это опредѣляется или по перпендикуляру къ данной линіи, называемой магистральной линіей (базисомъ), или же по какой угодно наклонной линіи къ магистральной, лишь бы былъ извѣстенъ уголъ, составляемый этой линіей съ магистральною. Способъ этотъ употребляется при съемкѣ длинныхъ и узкихъ участковъ, такъ, напримѣръ: дорогъ, береговъ рѣки, опушекъ лѣса, окраинъ длинныхъ и узкихъ овраговъ.

364. Производство съемки ординатами. Съемка этого рода производится слѣдующимъ образомъ: по краю снимаемаго участка или вблизи его провѣшивается линія отъ какого-либо пункта, уже опредѣленнаго и нанесеннаго на планъ, или же вновь опредѣляется положеніе этого пункта относительно опредѣленныхъ раньше. Измѣряется румбъ или азимутъ 1-й линіи, или вычисляется на основаніи румбовъ и азимутовъ извѣстныхъ линій. Измѣряется цѣпью или дальномѣромъ провѣшенная магистральная линія, или базисъ, и, чрезъ опредѣленныя разстоянія на базисѣ, напр., чрезъ 50 или 25 саженъ, возстановляются и измѣряются перпендикуляры до опредѣляемаго контура, или же назначаются линіи подъ произвольными углами и

также, конечно, измѣряются цѣпью или дальномѣромъ. На чертежѣ 441-мъ показано производство съемки контура ручья.

Если снимаемая дорога, оврагъ или рѣка поворачиваютъ, то необходимо измѣнить и направленіе базиса, или магистрали, повернувъ ее подъ нѣкоторымъ угломъ къ прежнему направленію. Магистраль должна отстоять отъ снимаемаго контура на такое разстояніе, чтобы подлежащія опредѣленію точки съ этого базиса были ясно видны съемщику. Вмѣстѣ съ тѣмъ каждая линія должна быть, по возможности, длиннѣе и ближе къ контуру, чтобы не приходилось мѣрить длинныхъ перпендикуляровъ (черт. 442).

Если снимаютъ оврагъ или рѣку, то во всѣхъ мѣстахъ, гдѣ они



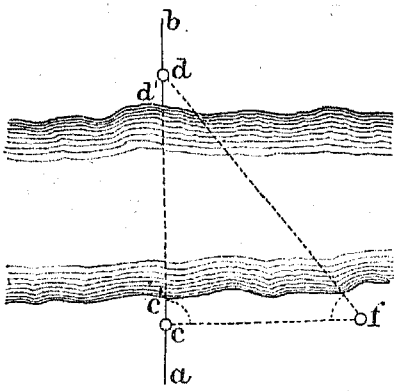
Черт. 441.

подходятъ слишкомъ близко къ магистрали или отдаляются отъ нея, надо возставить перпендикуляры, или ординаты, измѣрить углы, заключенные между ними, и измѣрить длину линіи. Чтобы не было путаницы при измѣреніи угловъ, надо, напр., измѣрять углы между назначенными ординатами и пройденною частью магистрали. При съемкѣ рѣки или оврага, по другую сторону разставляются вѣхи и засѣкаются съ точекъ стоянія инструмента.

Для засѣкаемыхъ точекъ слѣдуетъ имѣть при этомъ не болѣе четырехъ вѣхъ, чтобы избѣжать путаницы при записываніи угловъ. Всѣ измѣренныя величины заносятся въ журналъ. Если дѣлается съемка дороги или рѣки на довольно значительномъ протяженіи, то необходимо засѣкать всѣ пункты, опредѣленные тригонометрически или астрономически, съ тѣмъ, чтобы накопившіяся ошибки раздѣ-

лить только въ предѣлахъ двухъ смежныхъ пунктовъ, опредѣленныхъ точными способами.

Съемка засѣчками употребляется преимущественно при съемкѣ мензулой, но можетъ быть также исполнена всѣми угломѣрными инструментами, т. е. буссолью, астролябіей, пантометромъ и теодолитомъ. Разница заключается въ томъ, что въ этомъ случаѣ надо записывать въ журналъ всѣ углы при визированіи на точки, а потомъ по записямъ наносить на бумагу и получать точки засѣчками. Напримѣръ, чтобы узнать ширину рѣки (черт. 442), ставятъ угломѣрный инструментъ въ точкѣ *c* на провѣшенной линіи *cf*, возстановляютъ къ линіи *cf* линію перпендикулярную *ab* и на другой сторонѣ рѣки на этой линіи ставятъ въ точкѣ *d* вѣху, затѣмъ измѣряютъ разстояніе *cf*, въ точкѣ *f* ставятъ угломѣрный инструментъ и измѣряютъ имъ уголъ *cfd*. Измѣряютъ, кромѣ того, разстоянія cc' и dd'. Тогда будутъ имѣть всѣ данныя для нанесенія на бумагу или для вычисленія линіи *cd*, а слѣдовательно, и линіи $c'd'$. При нанесеніи можно легко спутать одинъ уголъ съ другимъ, вотъ почему упомянутыми инструментами дѣлаютъ съемку засѣчками только точекъ побочныхъ, точекъ подробностей, гдѣ, слѣдовательно, ошибочность опредѣленія не повліяетъ на послѣдующее опредѣленіе главныхъ точекъ, и когда, по какимъ либо причинамъ, мензулы нельзя или неудобно употреблять.



Черт. 442.

Если при съемкѣ ординатами требуется снять много точекъ другъ къ другу близкихъ, то, чтобы не возстановлять перпендикуляровъ изъ разныхъ точекъ, употребляютъ способъ полярныхъ координатъ. Способъ этотъ заключается въ томъ, что съ одной стоянки инструмента берутъ направленія на всѣ требуемыя точки, измѣряютъ азимуты или углы, составленные между собою этими направленіями, а также разстоянія до всѣхъ требуемыхъ точекъ отъ точки стоянія инструмента (§ 363). Въ этомъ случаѣ полезнѣе всего имѣть угломѣр-

ный инструментъ съ дальномѣромъ, чтобы не мѣрить многихъ разстояній цѣпью. Если же точки требуется опредѣлить не особенно точно, то разстояніе до нихъ можно опредѣлить шагами или на глазъ (§§ 79 и 80).

Всѣ данныя, необходимыя для опредѣленія положенія линій и точекъ, заносятъ въ журналъ, составляемый, напримѣръ, по нижеслѣдующей формѣ.

Журналъ съемки ординатами.

№№ линій.	Длина линій въ саж.	На какомъ разстояніи отъ начала каждой линіи взяты ординаты.	Уголъ, состав. ординатами съ магистралями.	Длина ординатъ въ саж.	Углы, состав. магистральными линіями	Наблюденные румбы или азимуты.	Вычисленные румбы или азимуты.	Засѣчка на другую сторону рѣки, оврага или озера.	Примѣчанія.
1	250					N030°		На бѣл. фл. 100° На кр. фл. 125° На бѣл. фл. съ кр. 136°	
		25	90	15					
		75	89	2					
		125	92	0				На бѣл. съ кр. 82°	
2	300				172	S037°	38"		

Если съемка дѣлается пантометромъ-дальномѣромъ или теодолитомъ-дальномѣромъ, то, одновременно со съемкой горизонтальной, ведется опредѣленіе отмѣтокъ точекъ (§ 206 — 214). Такого рода съемки употребительны при изысканіяхъ наилучшаго направленія для дороги или канала; болѣе подробно объ этомъ дѣлѣ изложено въ главѣ объ изысканіяхъ для сухопутныхъ путей сообщенія.

365. Нанесеніе вершинъ магистральной линіи при съемкѣ ординатами. Нанесеніе вершинъ угловъ магистральной линіи дѣлается или по транспортиру, или по координатамъ, которыя вычисляются и заносятся въ особую книжку координатъ.

Вычисленія въ книжкѣ координатъ, представленной ниже, ведутся такъ: въ графу первую записываютъ нумера угловъ магистральной линіи, въ графу вторую астролябическіе углы, въ графу третью сумму астролябическаго угла и азимута предыдущей линіи, въ графу четвертую вычисленные азимуты, въ графу пятую разстояніе между

румбами магистральной линіи; въ графы 6, 7, 8 и 9 записываютъ вычисленные катеты послѣдовательныхъ треугольниковъ, построенныхъ на линіяхъ базиса, — именно въ графахъ шестой и седьмой катеты, перпендикулярные къ направленію меридіана и получаемые отъ умноженія разстоянія на синусъ азимута; въ восьмую и девятую катеты, параллельные меридіану, получаемые отъ умноженія разстоянія D (между вершинами угловъ) на косинусъ азимута; въ графы десятую и одиннадцатую координаты каждой точки относительно принятыхъ осей координатъ.

Координаты какой-нибудь точки получаются изъ координатъ предыдущей точки прибавленіемъ или вычитаніемъ величинъ, помѣщенныхъ въ графахъ 6, 7, 8 и 9 противъ той точки, координаты которой желаютъ вычислить.

За начало координатъ, въ большинствѣ случаевъ, берутъ починный пунктъ; вообще же говоря, надо выбирать начало такъ, чтобы всѣ абсциссы (X) были положительныя.

Чтобы найти катеты треугольниковъ, построенныхъ на линіяхъ базиса, надо только умножить длину этихъ линій на синусъ или косинусъ вычисленнаго азимута этой линіи, помѣщеннаго въ графѣ четвертой. Это умноженіе совершается при помощи таблицъ логариѳмовъ или логариѳмической линейки.

Результаты этихъ умноженій могутъ быть положительные или отрицательные, смотря по величинѣ угла. Въ графахъ 6, 7, 8 и 9 написаны предѣлы угловъ, дающихъ положительные и отрицательные результаты.

Прежде чѣмъ дѣлать вычисленія катетовъ, полезно поставить ковычки въ тѣхъ графахъ изъ 6, 7, 8 и 9, гдѣ не будетъ цифръ, соображаясь съ величиною, стоящею въ графѣ четвертой, и затѣмъ производить вычисленія, а результаты записывать въ графы, не имѣющія ковычекъ.

Когда катеты опредѣлены, то, чтобы получить координаты, напримѣръ, второй точки, къ абсциссѣ первой точки придаютъ алгебраически величину, стоящую въ шестой или седьмой графѣ противъ второй точки, полученная сумма будетъ абсциссою второй точки; къ ординатѣ первой точки придаютъ алгебраически величину, стоящую въ восьмой или девятой графѣ противъ второй точки, полученная сумма будетъ ординатой второй точки и т. д. Нанеся по коорди-

натамъ вершины угловъ магистрали, линіи и точки подробностей наносятъ по транспортиру.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
№ угловъ магист. линіи.	Астрономическіе углы M.	Сумма азимута и астрон. угла A_1+M.	Вычисленные азимуты $A_2=A_1+M-180$	Горизонтальное разстояніе D.	Катеты послѣдовательныхъ треугольниковъ.				Координаты.	
					$x=D\ Sin\ A$		$y=D\ Cos\ A$			
					0—180 +	180—360 —	0—180 270—360 +	90—270 —	X	Y
0									0	500,00
	»	»	122°10′30″	157,70						
1	185°48′50″	307°58′0″			133,30	»	»	83,70	133,30	416,30
	»	»	127°58′0″	85						
2	168°46′40″	296°46′0″			67,00	»	»	52,20	200,30	364,10
	»	»	125°46′0″	135,50						
3	163°17′50″	280°3′40″			101,20	»	»	31,30	301,50	312,80

Глава XXXVI.

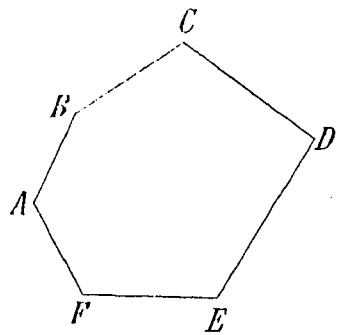
СЪЕМКА ОБХОДОМЪ.

Въ главѣ XXXIII-ей изложено производство нивеллиръ-теодолитной съемки, которая, какъ уже знаемъ, производится *обходомъ*. Но при нивеллиръ-теодолитной съемкѣ употребляются пріемы болѣе точные. Здѣсь же будетъ описана съемка обходомъ, какъ она производится въ тѣхъ случаяхъ, когда отъ нея не требуется высокой точности.

366. Производство съемки обходомъ. Съемка обходомъ производится большею частью въ тѣхъ случаяхъ, когда надо снять не-

большой участокъ, ограниченный межами или дорогами, поэтому съемка эта часто носитъ названіе межевой и граничной и можетъ быть произведена мензулой, буссолью, астролябіей, гоніометромъ, пантометромъ, теодолитомъ, но, въ большинствѣ случаевъ, ее производятъ астролябіей и гоніометромъ.

Производство астролябіею или гоніометромъ съемки обходомъ состоитъ въ измѣреніи цѣпью длины межниковъ, въ опредѣленіи образуемыхъ ими угловъ и, наконецъ, въ нанесеніи на бумагу какъ тѣхъ, такъ и другихъ, съ помощью масштаба и транспортира или таблицы хордъ.



Черт. 443.

При производствѣ подобнаго рода съемокъ, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Предположимъ, что многоугольникъ $ABCDEF$ (черт. 443) представляетъ снимаемый участокъ, ограниченный межами и не имѣющій никакихъ знаковъ на углахъ. Дѣйствіе начинаютъ выборомъ починнаго пункта, напримѣръ, A, мѣсто котораго опредѣлялось бы какими-либо естественными признаками, какъ-то: оврагомъ, изгибомъ рѣки и т. п.

Въ точкѣ A ставятъ астролябію или пантометръ и измѣряютъ румбъ или азимутъ первой линіи по лимбу, а не по кольцу буссоли, для чего, приведя лимбъ въ горизонтальное положеніе, сводятъ нули ноніусовъ въ совпаденіе съ линіей нулей лимба, поворачиваютъ лимбъ, не дотрогиваясь до алидады, пока магнитная стрѣлка не станетъ въ совпаденіе съ линіей нулей кольца буссоли. Закрѣпляютъ лимбъ, послѣ чего визирныя плоскости діоптровъ совпадаютъ съ направленіемъ магнитнаго меридіана. Поворачиваютъ алидаду по направленію 1-й линіи AB, читаютъ по лимбу уголъ у нуля ноніуса. Полученное чтеніе дастъ величину азимута первой линіи AB, прочтеннаго по лимбу, т. е. съ точностью пяти минутъ, если работаютъ астролябіей, или съ точностью двухъ минутъ, если работаютъ пантометромъ.

Если съемка производится съ цѣлью отмежеванія участка въ то или другое владѣніе, или если возобновляется это владѣніе, то по обѣ стороны точки A вырываютъ двѣ ямы, въ нихъ кладутъ уголья

и три камня, а на самой точкѣ A, гдѣ стояла астролябія, вкапываютъ столбъ, съ выжженными на немъ знаками, напр., съ государственнымъ гербомъ при генеральномъ межеваніи или съ буквами Ц. З., если отводится церковная земля.

Измѣривъ линію AB цѣпью (черт. 443) и записавъ длину ея въ журналъ, ставятъ на точкѣ B астролябію. Здѣсь наводятъ неподвижные діоптры на вѣху, стоящую въ точкѣ A, а подвижные на точку C; отсчетъ ноніуса дастъ величину астролябическаго угла ABC, а положеніе стрѣлки—величину румбическаго угла линіи BC. Оба угла записываются въ журналъ. Затѣмъ вырывается яма по направленію линіи AB, въ одной сажени отъ точки B, а въ самой точкѣ вкапывается столбъ. Измѣряютъ линію BC и, перенеся астролябію въ точку C, опредѣляютъ астролябическій уголъ BCD и румбическій уголъ линіи CD и т. д., продолжая это дѣйствіе въ томъ же порядкѣ до починнаго пункта A, и, придя въ этотъ пунктъ, измѣряютъ уголъ BAF. Такимъ образомъ, на починномъ пунктѣ инструментъ устанавливаютъ два раза: въ началѣ и концѣ работы. Послѣ измѣренія каждаго изъ астролябическихъ угловъ и румба слѣдующей линіи, производятъ грубую повѣрку, т. е. по румбу первой линіи и углу, измѣренному въ B, вычисляютъ румбъ второй линіи изъ формулъ, выведенныхъ въ параграфѣ 155-мъ.

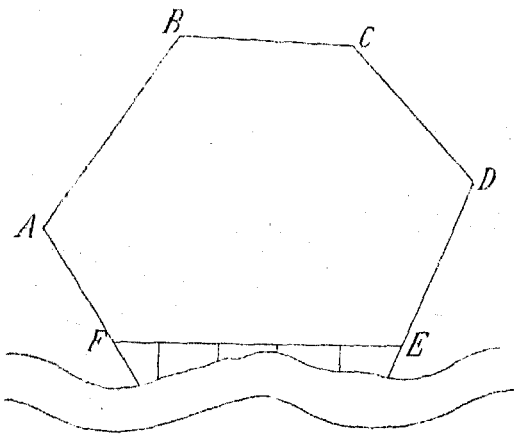
Если послѣ вычисленія не оказалось бы никакой разницы между наблюденнымъ и вычисленнымъ румбомъ, то, слѣдовательно, измѣреніе угловъ произведено вѣрно. Если же разность доходитъ до двухъ и болѣе градусовъ, то измѣреніе угловъ должно быть повторено.

Если бы граница снимаемой дачи примыкала къ живому рубежу,—къ какому-либо протоку, ручью, рѣкѣ или озеру, то выбираютъ двѣ точки E и F (черт. 444) въ недалекомъ разстояніи отъ этого рубежа; измѣряютъ прямую линію EF и возстановляютъ изъ различныхъ ея точекъ перпендикуляры, измѣряемые также до рубежа, т. е. производятъ въ этомъ мѣстѣ съемку по способу ординатъ. Въ точкахъ E и F вырываютъ ямы и вкапываютъ межевые столбы, а въ межевой книгѣ упоминаютъ, что въ такомъ-то мѣстѣ межа идетъ по живому рубежу (такому-то ручью, водостоку, рѣкѣ), и столбы вкопаны въ такомъ-то разстояніи отъ него.

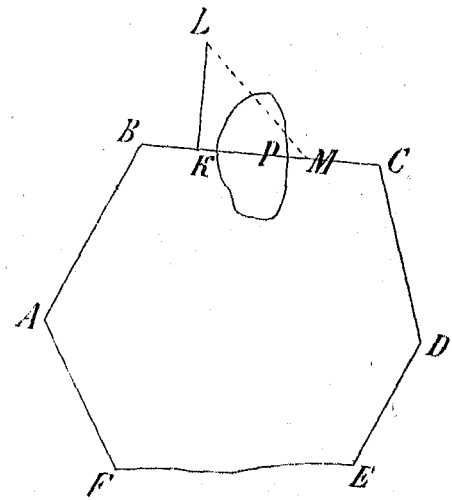
Если съемка обходомъ производится не для размежеванія, то ямъ не роютъ и столбовъ не ставятъ, но забиваютъ въ вершинахъ

угловъ свайки съ $^1/_2$ аршина длиной съ соотвѣтственными надписями.

Если бы одинъ изъ межниковъ BC (черт. 445) пересѣкался какимъ-либо естественнымъ препятствіемъ, какъ, напр., рѣчкою, болотомъ, озеромъ и т. п., чрезъ которое невозможно или затруднительно произвести измѣреніе цѣпью, то, выбравъ на линіи BC два пункта K и M по обѣ стороны препятствія, измѣряютъ цѣпью BK, а также перпендикуляръ KL, длиной приблизительно равный KM, а въ точкѣ L опредѣляютъ астролябіею уголъ KLM. При черченіи плана положеніе точки M опредѣляется засѣчкою, по измѣреннымъ угламъ,



Черт. 444.



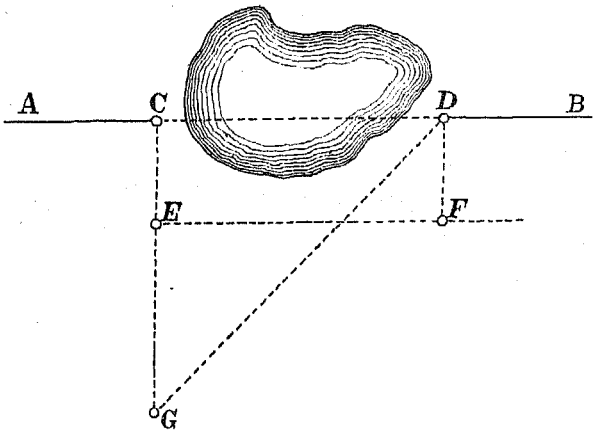
Черт. 445.

слѣдовательно, будетъ извѣстна длина KM. А затѣмъ измѣряютъ цѣпью или лентою линію MC.

Если работаютъ пантометромъ-дальномѣромъ или астролябіей, имѣющей трубу съ дальномѣромъ, и если разстояніе KM не превосходитъ предѣла, допускаемаго для измѣренія дальномѣромъ, то, очевидно, точку M можно опредѣлить безъ засѣчки.

Кромѣ того, можно обойти препятствіе такъ, какъ показано на чертежѣ 446-мъ. Къ линіи AB, пересѣкаемой нѣкоторымъ препятствіемъ въ точкахъ C и D, возстановляютъ перпендикуляры EC и DF равной длины; затѣмъ измѣряютъ линію EF цѣпью или лентою; найденная длина, очевидно, равна линіи CD. Или поступаютъ такъ: возстановляютъ въ точкѣ C (черт. 446) къ линіи AB перпендику-

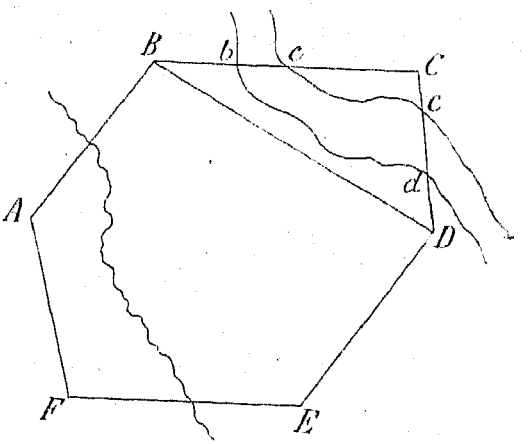
лярную линію, въ произвольной точкѣ G ставятъ угломѣрный инструментъ, оріентируютъ линію нулей лимба по линіи GEC, поворачиваютъ алидаду на 45° и по направленію визирной плоскости али-



Черт. 446.

дады ставятъ вѣху такъ, чтобы она, кромѣ того, была на линіи ACB; положимъ, она окажется въ точкѣ D. Очевидно, что прямоугольный треугольникъ DCG будетъ равнобедреннымъ, а потому $CG = CD$. Слѣдовательно, чтобы знать длину CD, надо только измѣрить длину линіи CG.

Если препятствіе пересѣкаетъ два межника BC и DC (черт. 447), то всего удобнѣе измѣрить длину линіи BD, соединяющую обѣ вершины B и D дачи, и съ концовъ этой линіи опредѣлить положеніе точки C засѣчками. А затѣмъ надо измѣрить Bb и Dd. Если приходится пересѣкать оврагъ или рѣку, то можно опредѣлить ширины bc и cd глазомѣрно, или же, переправившись чрезъ это препятствіе или обойдя его, надо измѣрить также Cc и Cc'. Измѣряя линію BD, изъ нѣкоторыхъ ея точекъ возставляютъ перпендикуляры и измѣряютъ ихъ до окраины оврага или берега рѣки, т. е. дѣлаютъ

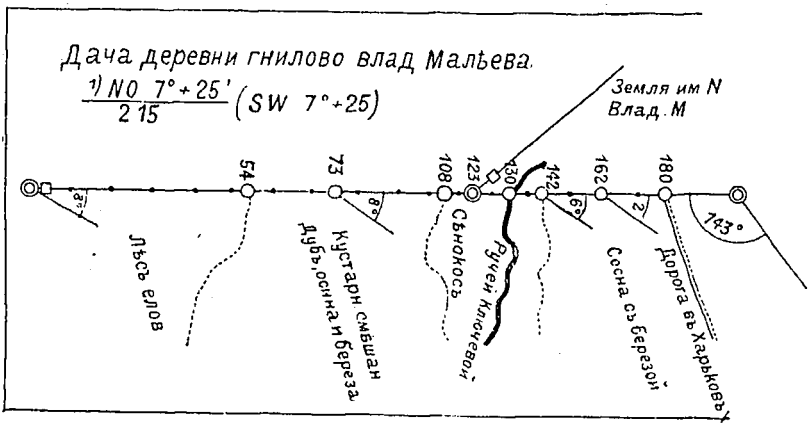


Черт. 447.

съемку ординатами — вслѣдствіе чего будутъ имѣться данныя для очертанія рѣки или оврага, и всѣ измѣренныя величины заносятъ въ графу журнала, озаглавленную „примѣчанія“.

Если снимаемый участокъ пересѣкается дорогой (черт. 447), то замѣчаютъ, на сколькихъ саженяхъ она пересѣкла ту или другую границу снимаемаго участка. А если нужно нанести всѣ изгибы дороги, то, кромѣ того, опредѣляютъ положеніе ихъ съемкой ординатами.

Всѣ измѣренныя величины заносятся въ журналъ, а въ графѣ примѣчаній дѣлается отъ руки чертежикъ, выражающій взаимное расположеніе линій. Чертежикъ этотъ носитъ названіе *кроки* или *брульона*.



Черт. 448.

Иногда журналъ съемки обходомъ ведется въ видѣ такого брульона, какъ показано на чертежѣ 448-мъ. Лучше, если листы такого журнала изъ графленой бумаги. По серединѣ листа книжки журнала прочерчивается прямая линія, и на ней намѣчаются точки на равныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ. Разстоянія между этими точками принимаются равными десяти или пяти саженямъ. Прочерченная линія принимается за одну изъ линій обхода, и вездѣ, гдѣ эта линія пересѣкаетъ какой-нибудь контуръ, записываютъ, на сколькихъ саженяхъ находится этотъ контуръ. Такъ, напримѣръ, контуръ сѣнокоса пересѣкаетъ линію обхода на 108 саженяхъ, ручей Ключевой на 130, дорога въ Харьковъ на 180 и т. д. Въ иныхъ мѣстахъ ставятся и углы, составленные этими контурами съ магистралью, если контуры идутъ почти по прямой. Напримѣръ, контуръ еловаго лѣса наклоненъ къ магистрали

на 8 градусовъ; направленіе межи между двумя смежными владѣніями также отмѣчается. Параллельно линіи обхода записывается ея румбъ или азимутъ, проводится черта, и подъ нею пишется длина всей линіи. Въ мѣстѣ—гдѣ оканчивается одна линія—прочерчивается направленіе слѣдующей линіи, и заносится уголъ поворота, такъ, на чертежѣ показанъ уголъ 143°. Слѣдующая линія обхода ведется на другой страницѣ и т. д.

При производствѣ граничной съемки, длину линій и величину астролябическихъ и румбическихъ угловъ записываютъ въ особый журналъ, подобно тому, какъ показано ниже.

Журналъ съемки обходомъ.

Номера пунктовъ.	Длина линій.	Измѣренные румбическіе углы.	Измѣренные астролябическіе углы.	Исправленные астролябическіе углы.	Вычисленные румбы.	Примѣчанія.
№ 1 A		NO 73°30′				
№ 2 B	391 с	NO 15°	121°15′	122°11′	14°11′	
№ 3 C	321—	NW 33°30′	133°40′	133°36′	32°14′	
№ 4 D	218—	NW 81°15′	132°10′	132°06′	80° 3′	
№ 5 E	412—	SW 41°	122°15′	122°11′	42° 8′	
№ 6 F	584—	SO 44°15	94°15′	94°11′	43°41′	
№ 1 A	502—		203°20′	203°16′		
			P = 720°25′	720°		
		P = 2d (6 — 2) ± K =	720°25′	K = + 4′		

367. Повѣрка журнала съемки обходомъ. Прежде чѣмъ приступить къ черченію плана, складываютъ всѣ астролябическіе углы, и если полученная сумма окажется меньше или больше двухъ прямыхъ угловъ, повторенныхъ столько разъ, сколько сторонъ безъ двухъ, на величину точности нонiуса, повторенную столько разъ, сколько сторонъ въ многоугольникѣ, то считаютъ съемку вполнѣ удовлетворительною. Положимъ, сумма угловъ по измѣренію оказалась равною P, число угловъ n, точность нонiуса α, тогда:

$$P - 2d(n-2) = \pm K.$$

Если K равно или менѣе $n\alpha$, то дѣлятъ $\pm K$ на число угловъ, т. е. на n, и полученная величина $\pm \frac{K}{n}$ будетъ величиною ошибки въ одномъ углѣ. Поэтому, къ каждому измѣренному въ полѣ углу прибавляютъ величину $\frac{K}{n}$, взятую съ противнымъ знакомъ.

Если же K больше $n\alpha$, то считаютъ, что измѣреніе угловъ сдѣлано грубо, и вновь измѣряютъ ихъ въ полѣ.

Если въ журналѣ вычисленный румбъ какой либо линіи окажется, при вѣрномъ измѣреніи угловъ, сильно рознящимся съ измѣреннымъ румбомъ, то это укажетъ, что въ данномъ мѣстѣ имѣется значительное склоненіе магнитной стрѣлки.

368. Нанесеніе на бумагу съемки обходомъ. Съемка обходомъ вычерчивается въ масштабѣ не мелче 100 саженъ въ одномъ дюймѣ. Черченіе на планѣ дачи, снятой астролябіею, пантометромъ или теодолитомъ, производится слѣдующимъ образомъ: на одномъ листѣ ватманской бумаги или на нѣсколькихъ склеенныхъ, такой величины, что на нихъ можетъ помѣститься весь планъ снимаемой дачи, сперва дѣлается рамка, а затѣмъ проводится по серединѣ листа прямая линія, параллельно двумъ краямъ рамки, принимаемая за направленіе магнитнаго меридіана. Означивъ положеніе починнаго пункта и проведя чрезъ него линію NZ, параллельно направленію меридіана, чертятъ, посредствомъ транспортира или таблицы хордъ, уголъ NAB въ 73° 30′, т. е. равный записанному въ журналѣ румбическому углу линіи AB; уголъ этотъ наносится вправо отъ линіи NZ, ибо въ журналѣ значится, что румбъ этой линіи NO, а сѣверъ принимается всегда находящимся вверху листа. Отложивъ по масштабу длину линіи AB, чертятъ при точкѣ B уголъ въ 121° 11′, какъ то значится въ журналѣ съемки обходомъ (§ 366).

Записанный румбъ линіи BC покажетъ, въ которую сторону долженъ лежать этотъ уголъ, ибо, если вмѣсто ABC начертили бы уголъ ABC', то, послѣ проведенія NZ параллельно меридіану, линія BC' имѣла бы, очевидно, румбъ ZO, а не NO, какъ значится о томъ же въ журналѣ. Далѣе откладывается длина линіи BC, чертится уголъ BCD, равный записанному на точкѣ C астролябическому углу, и притомъ такъ, чтобы линія CD лежала влѣво отъ прямой $N''S''$, потому что изъ журнала видно, что румбъ линіи CD есть NW. Такимъ же образомъ дѣйствіе продолжается далѣе до точки F, при коей чертится уголъ въ 94° 11′, т. е. равный записанному на точкѣ F. Сторона этого угла должна пройти чрезъ точку A, а длина линіи FA, по масштабу, должна быть равной 502 саженямъ. Предпочтительнѣе, вмѣсто нанесенія угловъ, наносить вычисленные румбы или азимуты.

Если участокъ значительной величины, то наносятъ вершины угловъ по координатамъ (§ 365).

При нанесеніи на бумагу угловъ часто употребляютъ, такъ называемый, *способъ хордъ*. Способъ этотъ основанъ на томъ, что хорда есть двойной синусъ половины центральнаго угла, измѣряемаго дугою, стягиваемою хордою. Такъ что, если назовемъ центральный уголъ буквою A, радіусъ круга—R и хорду буквою d, то эти величины удовлетворяютъ такому условію:

$$d = 2R \sin \frac{A}{2}.$$

Давая различныя значенія углу A и взявъ для радіуса R тысячу какихъ угодно линейныхъ единицъ, можно составить таблицы хордъ. Имѣя такія таблицы, ихъ можно употреблять или для нанесенія угловъ по хордамъ, или для измѣренія угловъ, уже нанесенныхъ.

Чтобы нанести на бумагу уголъ по хордѣ, надо изъ точки, принимаемой за вершину угла, описать дугу радіусомъ, равнымъ произвольной длинѣ, напр., 3 дюймамъ, такъ, чтобы эта дуга пересѣкла линію, на которой требуется построить уголъ. Послѣ этого надо найти въ таблицахъ хорду, соотвѣтствующую половинѣ даннаго угла, и такъ какъ въ таблицахъ она вычислена для радіуса равною тысячѣ единицъ, то найденную величину надо умножить на взятый радіусъ, т. е. на 3, и произведеніе уменьшить въ 1000 разъ, т. е. перенести запятую черезъ три знака влѣво; положимъ, что получится величина равная двумъ, тогда, взявъ въ циркуль два дюйма, надо изъ точки пересѣченія линіи съ дугою описать радіусомъ, равнымъ двумъ дюймамъ, дугу, пересѣкающую ранѣе начерченную дугу, и полученную точку пересѣченія соединить съ вершиною угла. Такимъ образомъ получится на бумагѣ уголъ, который желали нанести.

Точно также можно по хордѣ опредѣлить величину угла. Для этого надо изъ вершины угла описать радіусомъ, равнымъ нѣсколькимъ дюймамъ, напр., 5-ти, дугу, и затѣмъ измѣрить разстояніе между точками пересѣченія сторонъ угла начерченною дугою, положимъ, величина хорды окажется равной 2 дюймамъ. Умноживъ полученную величину на 1000 и раздѣливъ на величину радіуса, т. е. на 5, по найденной, такимъ образомъ, величинѣ надо найти изъ таблицъ хордъ соотвѣтствующій уголъ.

369. Увязка несмыкаемости границъ при съемкѣ обходомъ. Большею частью, по нанесеніи на бумагу всѣхъ линій контура, послѣдняя линія не проходитъ чрезъ починный пунктъ, такъ что, послѣ на-

кладки ее въ масштабѣ, конецъ ея отстоитъ отъ починнаго пункта на большую или меньшую длину. Длина отъ починнаго пункта до конца послѣдней линіи называется *невязкой*.

Для исправленія невязки фигуры, снова наносятъ линіи и углы снятаго контура, начиная отъ починнаго пункта въ сторону, противоположную прежде выбранному направленію при первоначальномъ черченіи, пока одна изъ вершинъ вновь начерченной фигуры не совпадетъ съ одною изъ вершинъ прежней. Чтобы это непремѣнно выполнилось, иногда измѣняютъ какъ длины боковъ, такъ и величины угловъ, увеличивая или уменьшая первыя на 1 саж., а вторыя на $^1/_4{}^\circ$ противъ того, какъ значится въ журналѣ. Весьма часто случается послѣ этого еще разъ измѣнять бока и углы, записанные въ журналѣ.

Описанный способъ исправленія несмыкаемости фигуры не основанъ на какомъ-нибудь началѣ геометріи. Имъ можно удовлетвориться лишь при съемкѣ очень неточной.

Главнѣйшая причина несмыкаемости, это—нанесеніе сторонъ по измѣреннымъ румбамъ. У насъ, въ Россіи, долгое время дѣлалось такъ нанесеніе межевой съемки. Измѣренные же румбы заключаютъ въ большинствѣ случаевъ ошибки за склоненіе магнитной стрѣлки.

Несмыкаемость фигуры въ большей части случаевъ происходитъ также, оттого что при производствѣ съемки не обращалось вниманія на наклоненіе покатостей, по которымъ пролегали межники, а на бумагу наносилась длина линій, какая была найдена въ полѣ, при измѣреніи ихъ цѣпью; тогда какъ, при углахъ наклоненія, большихъ 4-хъ градусовъ, слѣдовало бы брать проекціи линій (§ 5).

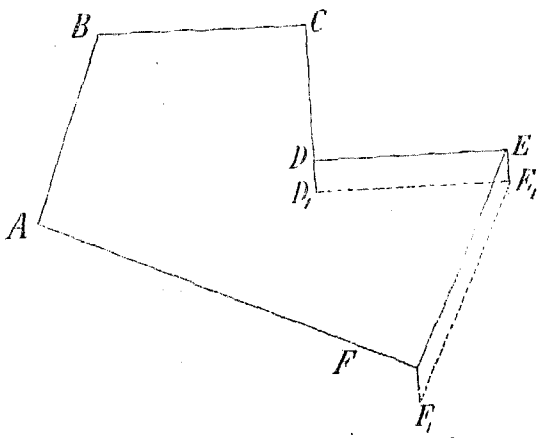
Чтобы при накладкѣ на бумагу избѣжать большого накопленія ошибокъ, наносятъ одну половину участка отъ починнаго пункта вправо, а другую влѣво.

Можетъ случиться, что, и при соблюденіи указанныхъ правилъ, фигура все-таки не будетъ смыкаться. Невязка можетъ происходить или отъ ошибки въ накладкѣ на бумагу какой-либо линіи или угла, или отъ невѣрно измѣренныхъ линій и угловъ, или, наконецъ, отъ накопленія малыхъ ошибокъ въ измѣреніи линій и угловъ, а также отъ малыхъ ошибокъ въ нанесеніи на бумагу.

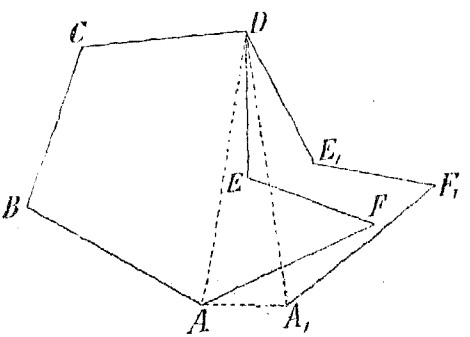
Поэтому, если получится невязка, то прежде всего слѣдуетъ сдѣлать вновь накладку фигуры, и если, по вторичной накладкѣ, получится такая же или мало разнящаяся отъ прежней невязка, то слѣдуетъ убѣдиться, не сдѣлано ли ошибки въ сторонѣ или углѣ.

Положимъ, будетъ сдѣлана ошибка въ длинѣ стороны, при нанесеніи или при измѣреніи въ полѣ, тогда, вмѣсто сомкнутой фигуры, получимъ разомкнутую. *Въ этомъ случаѣ, величина невязки равна ошибкѣ въ сторонѣ.* Дѣйствительно, если, вмѣсто стороны CD (черт. 449), была измѣрена или нанесена длина CD_1, т. е. сдѣлана была ошибка DD_1, а въ дальнѣйшей съемкѣ или нанесеніи ошибокъ не было, тогда, очевидно, EE_1 была бы равна и параллельна DD_1; FF_1 равна и параллельна EE_1, слѣдовательно, FF_1, *въ этомъ случаѣ, равна и параллельна ошибкѣ* DD_1, *сдѣланной въ сторонѣ.*

Если новая накладка линіи CD не откроетъ ошибки въ нанесеніи, то сторона CD измѣрена невѣрно, ее надо увеличить или уменьшить на величину невязки, но, конечно, лучше сдѣлать въ полѣ измѣреніе этой стороны вновь.



Черт. 449.



Черт. 450.

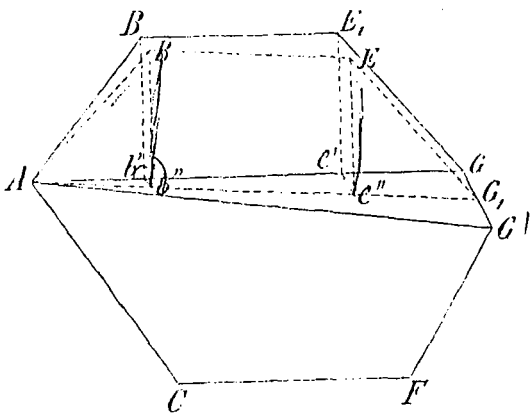
Если ошибка сдѣлана въ одномъ лишь углѣ, въ полѣ или при накладкѣ на бумагу (черт. 450), а въ остальныхъ сторонахъ и углахъ ошибки не было сдѣлано ни въ полѣ, ни при накладкѣ, то, очевидно, при накладкѣ на бумагу часть периметра $DE_1F_1A_1$ будетъ повернута около точки D, какъ поворачивается радіусъ около своего центра, а потому діагональ AD должна быть равна A_1D. Такимъ образомъ, *если концы невязки находятся въ равныхъ разстояніяхъ отъ какой-нибудь вершины многоугольника, то въ этой вершинѣ сдѣлана ошибка въ измѣреніи или нанесеніи угла.*

Такъ какъ треугольникъ ADA_1 равнобедренный, то перпендику-

ляръ, возстановленный изъ середины AA_1, пройдетъ чрезъ точку D. Поэтому можно сказать еще такъ: *если перпендикуляръ, возстановленный изъ середины невязки, проходитъ чрезъ какую-нибудь вершину нанесеннаго многоугольника или близко около нея, то въ этой вершинѣ сдѣлана ошибка въ уголъ,—или въ полѣ, или при накладкѣ.*

Если новая накладка угла D дастъ ту же невязку, то уголъ этотъ слѣдуетъ измѣрить въ полѣ вторично.

Если изслѣдованіе приведетъ къ заключенію, что невязка произошла не отъ одной ошибки въ углѣ или сторонѣ, а отъ совокупности ошибокъ и накопленія малыхъ погрѣшностей, сдѣланныхъ при измѣреніи угловъ и линій, въ полѣ и при нанесеніи ихъ, отъ несовершенства угломѣрнаго и чертежныхъ инструментовъ, то невязка разбивается на всѣ углы и стороны контура.



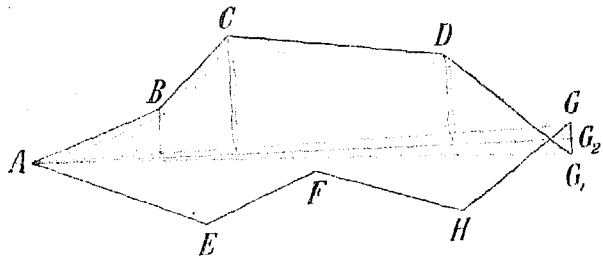
Черт. 451.

Способъ, довольно удобный для исправленія несмыкаемости въ этомъ случаѣ, состоитъ въ слѣдующемъ. Предположимъ, что, при вычерчиваніи сперва одной половины контура (черт. 451), а потомъ другой, точки G и G' *не совпали. Для опредѣленія истинной точки* соединенія этихъ ломаныхъ линій, проводятъ прямую GG' и дѣлятъ ее на такія двѣ части GG_1 и G_1G', чтобы длины ихъ находились въ томъ же отношеніи, въ какомъ число сторонъ, заключающихся между точками A и G' находится къ числу сторонъ другой половины контура. Принявъ точку G_1 за истинное положеніе точекъ G, G', проводятъ изъ точки A прямыя AG, AG_1 и AG', а изъ точекъ B и E опускаютъ перпендикуляры Bb', E_1e' на линію AG. Чрезъ ихъ подошвы b', e' проводятъ линіи $b'b''$, $e'e''$ параллельно къ GG', наконецъ, возстановляютъ изъ точекъ b'', e'' перпендикуляры $b''B$, $e''E$ къ AG, дѣлаютъ ихъ соотвѣтственно равными перпендикулярамъ Bb' и E_1e'; концы B, E соединяютъ прямыми линіями.

Такимъ же образомъ поступаютъ съ точками C и F, а именно: опустивъ изъ нихъ перпендикуляры на прямую AG', проводятъ чрезъ

ихъ подошвы линіи параллельныя GG' и изъ точекъ пересѣченія этихъ послѣднихъ съ прямою AG_1 возстановляютъ перпендикуляры такой длины, какую имѣли перпендикуляры, опущенные изъ точекъ C и F.

Такое построеніе дѣлается на основаніи слѣдующихъ разсужденій: если линія AG_1 принимается за линію AG, то разстоянія точекъ кон-

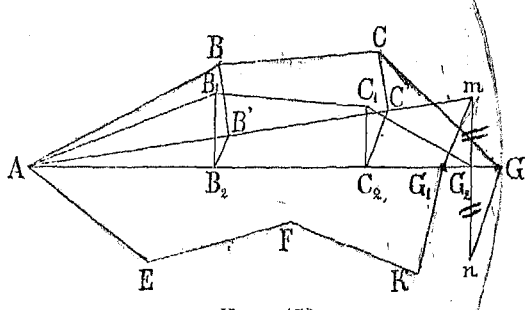


Черт. 452.

тура отъ линіи AG_1 должны быть такими же, какъ и отъ линіи AG.

Совершенно также дѣлается уничтоженіе невязки, когда (черт. 452), при нанесеніи линіи въ разныя стороны отъ точки A, послѣднія линіи пересѣкутся между собою и дадутъ невязку GG_1.

Если невязка G_1G, будучи продолженной, совпадаетъ съ линіей, проведенной отъ начальной точки A къ G (черт. 453), то, для уничтоженія невязки, выбираютъ между точками G и G_1 точку G_2, такъ же, какъ и раньше, возставляютъ перпендикуляръ изъ нея къ линіи AG, радіусомъ AG описываютъ, изъ A, дугу круга до пересѣченія ея съ перпендикуляромъ, такимъ образомъ получаютъ точки m и n. Точку m соединяютъ съ G_1, точку n съ G. Затѣмъ дѣлаютъ построеніе перпендикуляровъ изъ вершинъ многоугольника на линіи Am и An, какъ и раньше, изъ основанія ихъ проводятъ линіи, параллельныя не невязкѣ, а линіямъ G_1m и Gn, до пересѣченія съ AG, изъ полученныхъ точекъ возстанавливаютъ перпендикуляры къ AG, соотвѣтственно равные уже опущеннымъ на Am и An.



Черт. 453.

Какъ уже знаемъ,—никакое измѣреніе, какъ бы тщательно оно ни производилось, никогда не можетъ быть совершенно точно. Всегда

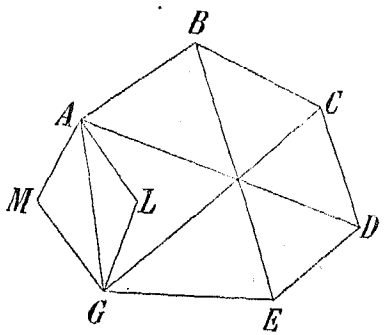
вкрадываются и накопляются ошибки, но, все-таки, при болѣе совершенномъ инструментѣ, можно достигнуть большей точности,—поэтому, работая какимъ бы то ни было инструментомъ, всегда надо знать, какой точности можно достигнуть при исполненіи имъ работы.

Если, напр., будетъ сдѣлана съемка какого-нибудь контура много разъ астролябіей и цѣпью, и каждый разъ получится невязка, то средняя изъ этихъ невязокъ должна быть принята за невязку, *возможную* для съемки астролябіей и цѣпью. Положимъ, величина этой невязки равна p, периметръ снятаго контура P, отношеніе $\frac{p}{P} = \frac{1}{n}$ будетъ возможнымъ отношеніемъ невязки къ периметру. Подобнымъ образомъ изъ многократныхъ съемокъ другихъ контуровъ можно вывести возможныя отношенія невязки къ ихъ периметрамъ; положимъ, онѣ будутъ $\frac{1}{n_1}$, $\frac{1}{n_2}$ и т. д. Средняя изъ всѣхъ этихъ дробей $\frac{1}{N}$ считается среднимъ возможнымъ отношеніемъ невязки къ периметру. Такимъ образомъ, для съемки астролябіей и цѣпью, среднее возможное отношеніе невязки къ периметру считается равнымъ $\frac{1}{400}$ Для съемки эккеромъ и цѣпью допустимая невязка считается равною $\frac{1}{250}$ Поэтому, на практикѣ съемка считается сдѣланною удовлетворительно, если отношеніе невязки къ периметру получается или равнымъ, или меньше, или только немного больше *средняго возможнаго отношенія невязки къ периметру*. Убѣдившись каждый разъ въ существованіи этого условія, начинаютъ увязку фигуры. Если сказанное условіе не удовлетворено, то надо повторить измѣреніе въ полѣ угловъ и линій вновь.

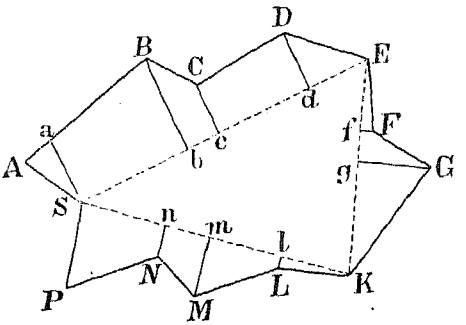
370. О пріемахъ, употребляемыхъ при производствѣ съемки обходомъ, необходимыхъ для того, чтобы избѣжать несмыкаемости. Одно изъ наиболѣе надежныхъ средствъ избѣгнуть въ съемкѣ обходомъ большихъ погрѣшностей состоитъ въ измѣреніи діагоналей, соединяющихъ починный пунктъ съ нѣкоторыми изъ вершинъ угловъ снимаемой фигуры; а при невозможности измѣренія діагоналей—въ измѣреніи ломаныхъ линій, соединяющихъ починный пунктъ съ другими точками контура. Такъ, напр., при производствѣ съемки фигуры $ABCDEGM$ (черт. 454), дойдя до точки D, измѣряютъ линію AD, потомъ, возвратясь на точку D, продолжаютъ дѣйствіе далѣе и, придя къ точкѣ G, измѣряютъ линію GA или ломаную GLA, если окажется невозможнымъ, вслѣдствіе мѣстныхъ препятствій, измѣрить

линію AG. Кромѣ того, измѣряютъ углы AGL, GLA, LAM. Наконецъ, если окажется невозможнымъ или неудобнымъ измѣрить ломаную, можно удовольствоваться измѣреніемъ діагонали EB или GC.

Въ случаѣ вѣрности съемки, длины діагоналей и другихъ линій на планѣ должны выразить по масштабу то же самое число саженъ, сколько было найдено въ полѣ. Если же окажется между ними значительная разность, то не встрѣтится надобности начинать съемку снова, а достаточно будетъ повѣрить на мѣстности длины линій и величины угловъ только тѣхъ частей фигуры, которыя не сомкнулись. Такимъ образомъ, начертивъ на планѣ часть $ABCD$, проводятъ линію AD, измѣряютъ длину ея по масштабу и сравниваютъ



Черт. 454.



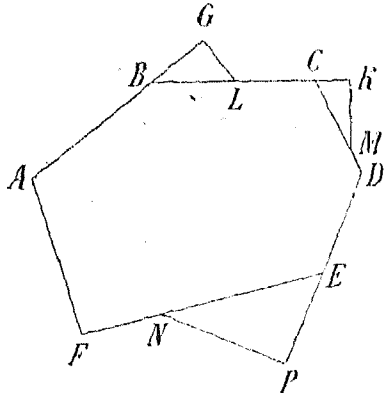
Черт. 455.

съ величиною этой линіи, записанною въ полѣ. Если онѣ окажутся равными, приступаютъ къ дальнѣйшей накладкѣ фигуры; послѣ того точку G соединяютъ съ однимъ изъ пунктовъ A, B и C или чертятъ ломаную линію ALG, смотря по тому, была ли измѣрена одна изъ діагоналей GA, GB, GC, или вышеупомянутая ломаная, и если окажется, что длина линіи, начерченной на планѣ, значительно разнствуетъ съ длиною на мѣстѣ, то измѣряютъ снова линіи и углы этой части контура.

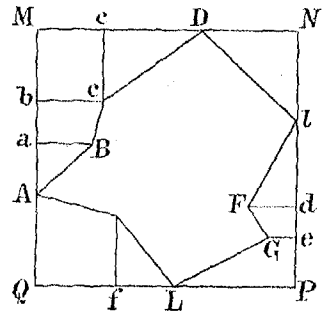
Если участокъ ограниченъ большимъ числомъ линій, то является большая вѣроятность получить большую невязку, поэтому, если только мѣстныя условія позволяютъ, соединяютъ три какихъ-нибудь вершины діагоналями (черт. 455), напримѣръ, SE, EK, KS, снимаютъ этотъ треугольникъ, т. е. измѣряютъ линіи его и углы, составленные этими линіями. Идя по линіямъ треугольника, находятъ

подошвы перпендикуляровъ, опущенныхъ изъ остальныхъ вершинъ даннаго для съемки контура (§ 143), и всѣ эти перпендикуляры измѣряютъ, другими словами—производятъ, кромѣ съемки обходомъ, еще и съемку ординатами, для полученія же такой точки, какъ точка A, измѣряютъ, кромѣ того, уголъ ASE и длину SA. Тогда будутъ имѣться всѣ данныя для нанесенія контура на бумагу.

371. Съемка обходомъ при помощи эккера. Съемка обходомъ при помощи эккера производится такимъ образомъ (черт. 456): провѣшиваютъ и измѣряютъ линію AB; дойдя до точки B и провѣшивъ линію BC, продолжаютъ измѣрять линію AB внѣ снимаемаго контура на нѣкоторое разстояніе, напр., до точки G, изъ которой воз-



Черт. 456.



Черт. 457.

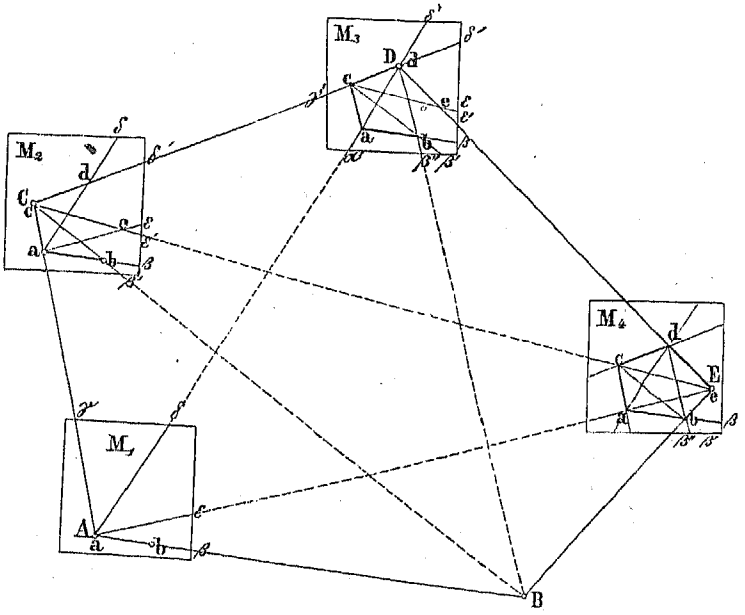
ставляютъ эккеромъ перпендикуляръ GL, измѣряютъ его до пересѣченія съ линіей BC и отмѣчаютъ точку L на линіи BC колышкомъ; затѣмъ, измѣряя линію BC, замѣчаютъ, на какомъ разстояніи точка L находится отъ B. Точно такъ же дѣйствуютъ у всѣхъ вершинъ даннаго для съемки контура и, такимъ образомъ, будутъ имѣть всѣ данныя, необходимыя для нанесенія его на бумагу. Или дѣлаютъ съемку эккеромъ слѣдующимъ образомъ.

Стараются заключить снимаемый участокъ въ прямоугольникъ такъ, чтобы нѣкоторыя вершины даннаго для съемки многоугольника лежали на четырехъ сторонахъ прямоугольника. Такъ, напримѣръ, если требуется снять участокъ, ограниченный контуромъ, $ABcDlFGLKA$ (черт. 457), то становятся въ точкѣ A, провѣшиваютъ линію AM, по ней находятъ, при помощи эккера, подошвы

перпендикуляровъ на провѣшенной линіи (§ 143), опущенныхъ изъ вершинъ B, C и D даннаго контура, измѣряютъ всѣ эти перпендикуляры и разстояніе до ихъ подошвъ отъ точки A, т. е. Aa, AB и AM. Подобнымъ образомъ находятъ на линіи MD и ея продолженіи подошвы перпендикуляровъ, опущенныхъ изъ точекъ c и l; найдя точку N, провѣшиваютъ линію NlP и на линіи NP, точно такъ же находятъ подошвы перпендикуляровъ, опущенныхъ изъ F, G и L. Такъ же поступаютъ и относительно линіи PLQ.

Сдѣлавъ всѣ измѣренія, наносятъ на бумагу сначала прямоугольникъ $MNPQ$ и затѣмъ вершины снимаемаго участка.

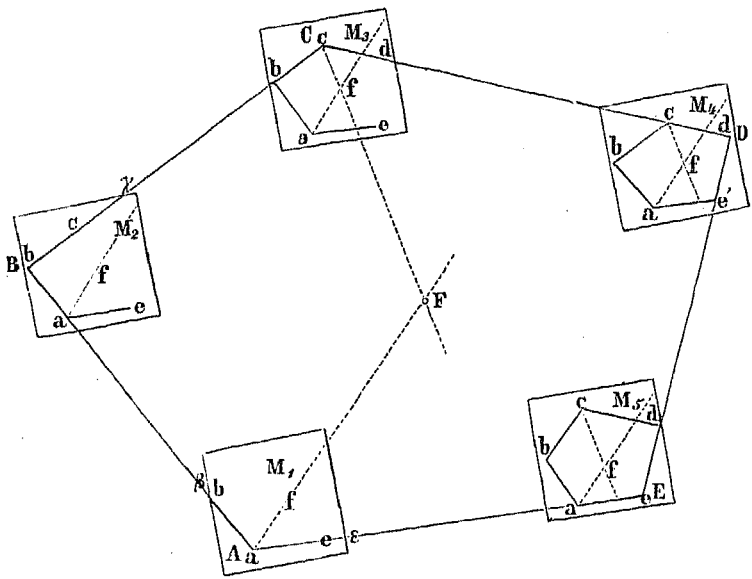
372. Съемка обходомъ помощью мензулы. Съемка обходомъ помощью астролябіи, пантометра, теодолита, какъ бы тщательно она ни дѣлалась, всегда влечетъ за собою большую или меньшую не-



Черт. 458.

вязку. Невязки этой легче избѣжать, производя съемку обходомъ мензулой. Положимъ, надо снять пятиугольникъ $ACDEB$ (черт. 458).— Для этого прежде всего надо означить отличительными вѣшками всѣ углы снимаемаго участка, измѣрить цѣпью или лентой нѣсколько разъ одну изъ сторонъ этого многоугольника, лучше всего,—ту сторону,

которая пролегаетъ въ наиболѣе ровной мѣстности. Положимъ, измѣрена или опредѣлена дальномѣромъ кипрегеля линія AB. Ставятъ мензулу надъ точкой A, оріентируютъ по странамъ свѣта, визируютъ на всѣ сигналы, стоящіе въ углахъ снимаемаго участка, и прочерчиваютъ по краю кипрегеля соотвѣтственно линіи $a\beta$, $a\varepsilon$, $a\delta$, $a\gamma$ до края планшета, на линіи $a\beta$ откладываютъ длину ab, выражающую въ масштабѣ съемки среднюю ариѳметическую нѣсколькихъ измѣреній длины линіи AB. Затѣмъ переходятъ въ точку C (черт. 458), устанавливаютъ мензулу надъ этой точкой, оріентируютъ ее по линіи γa и засѣкаются



Черт. 459.

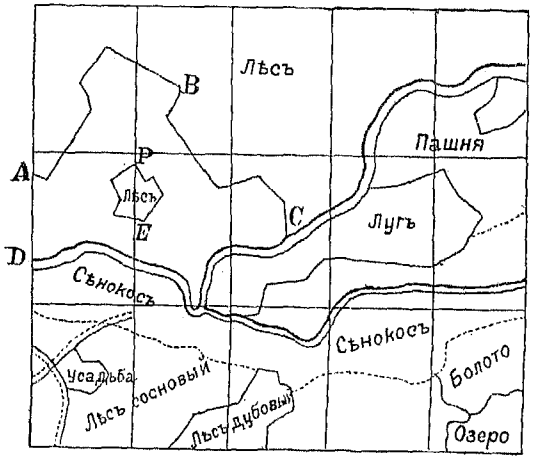
на точку B, такимъ образомъ получаютъ на мензулѣ M_2 точку c обратною засѣчкою; визируютъ на остальныя точки, напр., на D и E, и получаютъ ихъ на мензулѣ M_2 прямою засѣчкою въ точкахъ d и e. Переходятъ въ точку D; установивъ мензулу надъ этой точкой, оріентируютъ ее по линіи dc и засѣкаются на всѣ остальныя точки, т. е. на A, B и E, при этомъ всѣ пересѣчки должны пройти чрезъ точку d, если всѣ предыдущія дѣйствія были сдѣланы тщательно. Въ точку E можно было бы уже и не становиться, но для большей повѣрки, если въ ней будетъ поставлена мензула, то при четвертомъ положеніи ея, т. е. M_4, мензулу можно оріентировать или по линіи ed,

или по линіи *be*, а затѣмъ визировать на всѣ остальныя вершины угловъ. Если съ каждаго угла видны не всѣ сигналы, то надо визировать и засѣкаться на тѣ изъ нихъ, которые видны. Точно такъ же, если угловъ много, то можно визировать и засѣкаться не на всѣ изъ нихъ, а черезъ одинъ; остальные можно опредѣлить прямою засѣчкою.

Если изъ каждаго угла видны сигналы только смежныхъ угловъ, то надо измѣрять всѣ стороны и откладывать по линіямъ визированія ихъ величину въ масштабѣ (черт. 459). Если для съемокъ подробностей имѣютъ въ виду стать съ мензулой въ середину снимаемаго участка, то въ эту точку, напр., F, ставятъ вѣшку и визируютъ на нее съ тѣхъ угловъ, съ которыхъ она хорошо видна, напр., при двухъ положеніяхъ мензулы M_1 и M_3, или же точку эту можно опредѣлить оборотами мензулы, предварительно установивъ мензулу въ этой точкѣ.

373. Съемка квадратами или кварталами. Съемка обходомъ можетъ быть производима также *квадратами или кварталами*. Съемка эта производится, главнымъ образомъ, въ лѣсистыхъ мѣстахъ, и ведется слѣдующимъ образомъ: по какому-либо направленію въ лѣсу дѣлаютъ просѣку, шириною не менѣе аршина и не болѣе 2-хъ саженъ. Лучше всего выбирать для просѣки направленіе по длинѣ снимаемаго участка, и притомъ, по возможности, по серединѣ его. Опредѣляютъ азимутъ направленія этой просѣки, измѣряютъ длину ея и, одновременно съ этимъ измѣреніемъ, замѣчаютъ разстоянія до мѣстъ, гдѣ порода лѣса измѣнилась, или гдѣ измѣнился возрастъ лѣса, также замѣчаютъ разстоянія до дорогъ, тропинокъ, овраговъ, ручьевъ, полянъ и т. п., пересѣкающихъ просѣку; всѣ эти замѣчанія заносятъ въ журналъ или отмѣчаютъ на мензулѣ, смотря по тому, какимъ инструментомъ производится съемка. Чрезъ опредѣленныя разстоянія, напр., чрезъ 250, 100 или 50 саженъ, къ этой просѣкѣ возстанавливаютъ перпендикуляры, дѣлаютъ по всѣмъ имъ такія же просѣки, измѣряютъ ихъ и точно такъ же, какъ на 1-й просѣкѣ, замѣчаютъ пересѣченіе ея съ указанными выше контурами (460). На всѣхъ этихъ поперечныхъ просѣкахъ, начиная отъ продольной, забиваютъ въ землю небольшія свайки съ надписями на разстояніяхъ другъ отъ друга, равныхъ разстоянію между ними по продольной просѣкѣ. Когда по всѣмъ этимъ просѣкамъ сдѣланы измѣренія, то къ какой-

либо изъ нихъ возстановляютъ перпендикуляры въ точкахъ, отмѣченныхъ свайками, и по этимъ новымъ направленіямъ, параллельнымъ первой продольной просѣкѣ, дѣлаютъ точно также новыя просѣки, которыя, если работа сдѣлана вѣрно, должны пройти чрезъ точки просѣкъ, отмѣченныя забитыми ранѣе свайками. Такимъ образомъ, весь участокъ разобьется на квадраты или прямоугольники, по всѣмъ сторонамъ которыхъ будетъ сдѣлана съемка многихъ точекъ, принадлежащихъ различнымъ контурамъ. Лучше всего дѣлать этого рода съемку мензулой, съ тѣмъ чтобы всѣ контуры можно было нарисовать тутъ же на мѣстѣ; съ этою цѣлью по направленію нѣкоторыхъ изъ нихъ, какъ, напр., по направленію дорогъ, тропинокъ, ручьевъ, можно пройти съ мензулой и зачертить всѣ очертанія контуровъ на глазъ. Границы насажденій означаются затесками на деревьяхъ или узкими просѣками, называемыми *визирами*. Чѣмъ меньше длина сторонъ кварталовъ, тѣмъ точнѣе можно сдѣлать съемку. Чертежъ 460-й объясняетъ, какъ ведется этого рода съемка.



Черт. 460.

Подобнаго рода съемки очень часто употребляются у насъ въ Россіи чинами министерства государственныхъ имуществъ; такъ, въ Иркутскомъ генералъ-губернаторствѣ съемка производилась квадратами, имѣвшими 20 верстъ въ сторонѣ. Вообще же, принято за правило въ министерствѣ государственныхъ имуществъ дѣлать кварталы соотвѣтственно тому, возможна ли продажа казеннаго лѣса, или нѣтъ, что зависитъ отъ числа лѣтъ лѣсныхъ породъ. Такъ, въ лѣсахъ, гдѣ возможенъ полный его сбытъ, — кварталы должны дѣлаться отъ $\frac{1}{2}$ до 2 квадратныхъ верстъ. Гдѣ возможенъ сбытъ только строевого лѣса, дровяной же сбывается въ ограниченномъ количествѣ, тамъ квар-

талы дѣлаются въ 2 квадр. версты. Въ мѣстахъ, гдѣ возможенъ сбытъ только крупнаго строевого и падѣлочнаго лѣса, тамъ площадь кварталовъ достигаетъ до 16 квадр. верстъ.

374. Глазомѣрная съемка. Во многихъ случаяхъ, въ томъ числѣ и при съемкахъ для инженерныхъ цѣлей, подробности наносятся на глазъ, поэтому такого рода съемки называются *глазомѣрными*, хотя пріемы, употребляемые при этой съемки, тѣ же, что и при съемкѣ обходомъ.

Степень точности и подробности глазомѣрной съемки зависитъ отъ цѣли, для которой дѣлается съемка, а также и отъ времени, какое на нее назначается. При производствѣ такого рода съемокъ, очень часто съемщикъ отправляется въ поле одинъ безъ всякихъ помощниковъ, а потому инструменты, употребляемые при глазомѣрныхъ съемкахъ, должны быть легки и удобопереносимы и не только не сложны, а напротивъ того, по возможности, просты, и должны служить съемщику лишь для уничтоженія грубыхъ ошибокъ. Поэтому, при глазомѣрныхъ съемкахъ употребляютъ или эккеръ, или компасъ, или бусоль Шмалькальдера, но преимущественнѣе всего компасъ, а также вооружаются высотомѣромъ или квадрантомъ, или анероидомъ.

При производствѣ глазомѣрной съемки должно обращать вниманіе не столько на подробности контуровъ, на соблюденіе вида и величины мѣстныхъ предметовъ, сколько на сохраненіе главнаго характера изображеній мѣстности, а также и на то, чтобы не одинъ предметъ важный въ отношеніи той цѣли, съ которою производится съемка, не былъ упущенъ изъ виду.

Въ инструментальной съемкѣ принято за правило не наносить на глазъ предметовъ далекихъ отъ измѣряемой линіи, при глазомѣрной же съемкѣ, напротивъ, стараются снять предметы не только близкіе, но, по возможности, и предметы удаленные, на сколько позволяетъ глазъ, причемъ предметы эти наносятся такъ, какъ они представляются съемщику издали.

При глазомѣрной съемкѣ разстоянія измѣряются или шагами, или по времени проѣзда, или глазомѣрно (§§ 80, 81 и 364).

Бумага, на которую наносится глазомѣрная съемка, берется графленая. Линіи одного какого-либо направленія принимаются за направленія магнитнаго меридіана. Клѣтки, образованныя этими линіями, берутся въ одинъ дюймъ или въ $^1/_2$ дюйма, такимъ обра-

зомъ, въ какомъ бы мѣстѣ бумаги ни дѣлалось нанесеніе, вездѣ предъ глазами имѣется единица масштаба. Края такой бумаги наклеиваютъ или на картонъ, или на портфель, въ которомъ находятся нѣсколько листовъ графленой бумаги, транспортиръ, циркуль и другія чертежныя принадлежности необходимыя для съемщика. Или же бумага наклеивается на папку, на краю которой придѣлывается компасъ. Къ папкѣ прикрѣпляется ремень, перекидываемый чрезъ шею, какъ показано на чертежѣ 461-мъ.

Глазомѣрная съемка ведется въ масштабѣ не мельче 250 саженъ въ дюймѣ и производится слѣдующимъ образомъ. Выбравъ починный пунктъ, лежащій гдѣ-либо на дорогѣ, межѣ или тропинкѣ, измѣряютъ азимутъ дороги, напр. буссолью Шмалькальдера, и съ помощью транспортира наносятъ направленіе дороги на листѣ графленой бумаги, укрѣпленной на папкѣ, такъ, чтобы снимаемый участокъ могъ помѣститься на ней удобно. Нанеся починный пунктъ и направленіе дороги, замѣчаютъ на этой послѣдней какой-либо пунктъ и направляются на него, измѣряя пройденное разстояніе шагами. При измѣреніи линіи останавливаются отъ времени до времени и обрисовываютъ карандашомъ (A. W. Faber, № 2 или № 3) рельефъ мѣстности, т. е. означаютъ пунктиромъ хребты, тальвеги и ихъ соединенія между собою, положеніе вершинъ, уступовъ, сѣдловинъ (глава III) и направленіе покатостей. Наносятъ предметы, находящіеся на дорогѣ и по обѣимъ ея сторонамъ.

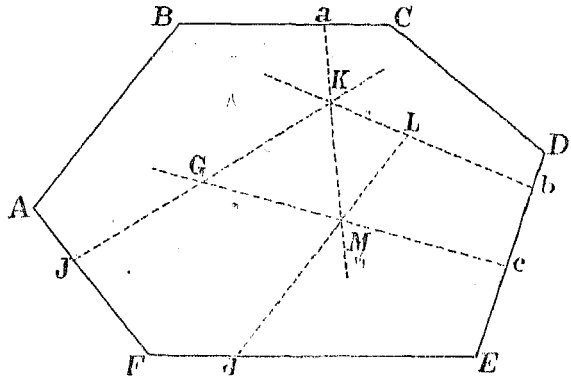


Черт. 461.

Если встрѣтятся створы на какіе-либо предметы, то они наносятся обязательно по азимутамъ. Такъ, напримѣръ, если снимается участокъ, изображенный на чертежѣ 462-мъ, то, идя по линіи BC и увидѣвъ предметы K и M по одной линіи Ma, у точки a берутъ азимутъ линіи aM и замѣчаютъ разстояніе Ba. Точно также, идя по линіи DE и увидавъ въ створѣ предметы K и L, измѣряютъ азимутъ направленія bK и замѣчаютъ длину Db. То же самое дѣлаютъ, когда увидятъ изъ точки c въ створѣ предметы M и G и изъ точки d предметы M и L. Створами участокъ разбивается на отдѣльныя меньшія части, что даетъ возможность дѣлать въ каждомъ изъ нихъ глазомѣрную съемку

съ возможною точностью, потому что точки, находящіяся внутри одного контура не будутъ нанесены внутри сосѣднихъ контуровъ.

Подробности вырисовываются на глазъ, промѣры шагами по направленіямъ, взятымъ бусолью въ сторону отъ дороги, дѣлаютъ лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда снимаемый предметъ надо осмотрѣть поближе, или когда по сторонамъ имѣются возвышенные пункты, съ которыхъ открывается обширный горизонтъ и съ которыхъ, слѣдовательно, возможенъ полный и быстрый обзоръ мѣстности. Боковыя точки, видимыя съ дальняго разстоянія, слѣдуетъ опредѣлить бусольными засѣчками. Когда дорога начнетъ отклоняться въ сторону, то длину ея до мѣста перегиба откладываютъ по масштабу шаговъ, опредѣляютъ азимутъ слѣдующаго направленія, наносятъ его по транспортиру и далѣе поступаютъ такъ же, какъ сказано выше.



Черт. 462.

Для уничтоженія накопленія погрѣшностей, глазомѣрную съемку слѣдуетъ производить небольшими обходами; для этого, идя по дорогѣ, имѣющей прямое направленіе, ее слѣдуетъ бросить на первомъ же сверткѣ и взять направленіе по отходящей дорогѣ и такъ дѣлать повороты и далѣе въ одну правую или въ одну лѣвую сторону.

Глава XXXVII.

О ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКѢ.

375. Производство тахеометрической съемки. При изысканіяхъ для желѣзныхъ дорогъ въ трудныхъ пересѣченныхъ мѣстахъ Кавказа неоднократно употребляли тахеометрическую съемку, тахеометромъ Муано. Это—теодолитъ съ дальномѣромъ Порро; круги горизонтальный и вертикальный раздѣлены на 400°.

Съемка эта ведется подобно тому, какъ съемка ординатами, т. е. выбирается рядъ базисовъ, или магистральныхъ линій, между ними измѣряются углы. Вершины этихъ угловъ принимаются за *реперы*, т. е. за постоянныя точки, и съ нихъ съемка дѣлается полярными координатами (§ 363), т. е. берется направленіе на всѣ точки, окружающія реперы, и разстоянія отъ репера до нихъ измѣряются дальномѣромъ тахеометра. Высоты всѣхъ точекъ опредѣляются при помощи высотомѣра тахеометра.

Убѣжденіемъ въ вѣрности или невѣрности съемки тахеометромъ должна служить тріангуляція, въ особенности, если участокъ довольно длинный, напр., въ 50 или болѣе верстъ. Съ этою цѣлью надлежитъ сдѣлать, на всемъ протяженіи снимаемаго участка, геометрическую тріангуляцію, а затѣмъ при съемкѣ тахеометромъ засѣкаться на всѣ тріангуляціонные знаки, тахеометръ ставить въ тѣхъ же самыхъ мѣстахъ, гдѣ находятся эти знаки, и наносить магистральную линію на планшеты, на которыхъ совершена прокладка тріангуляціонныхъ знаковъ.

Если же при этомъ получится небольшая невязка, то, сдѣлавъ увязку магистральной линіи между двумя реперами, можно быть увѣреннымъ, что ошибки отъ нанесенія и отъ невѣрности измѣреній угловъ магистральной линіи не будутъ накопляться. Если же ошибка случится значительная, то нужно повѣрить всѣ астролябическіе углы между реперами на неувязавшемся участкѣ.

Если въ нѣкоторыхъ мѣстахъ ширина участка, долженствующаго быть снятымъ, столь значительна, что изъ точекъ базисовъ нельзя визировать на точки, находящіяся по краямъ снимаемаго участка, то надо выбирать вспомогательные реперы. Необходимость побочныхъ реперовъ является также очень часто въ мѣстностяхъ закрытыхъ, которыя не могутъ быть очерчены съ главнаго репера, причемъ положеніе этого вспомогательнаго репера таково, что съ него не можетъ быть виденъ слѣдующій, уже выбранный реперъ. Такъ что, если расположить главный реперъ въ одномъ изъ такихъ мѣстъ, то придется взять еще нѣсколько реперовъ прежде, нежели дойти до слѣдующаго, уже ранѣе выбраннаго. Эти вспомогательные реперы должны быть сняты въ то же время, какъ и сосѣдніе главные.

Вершины угловъ базиса должны быть выбраны такимъ образомъ, чтобы рейка и инструментъ, стоящій въ одномъ изъ нихъ, были

видны изъ другого, чтобы съ каждаго изъ нихъ были видны точки, невидимыя съ сосѣднихъ угловъ. Кромѣ того, ихъ надо выбирать въ такихъ мѣстахъ, гдѣ онѣ могутъ остаться нетронутыми.

Въ случаѣ нужды, положеніе вершинъ угловъ слѣдуетъ опредѣлить относительно постоянныхъ точекъ (каковы: уголъ какого-нибудь строенія, крестъ церкви и т. п.), чтобы возможно было ихъ найти впослѣдствіи при разбивкѣ на мѣстности выбранной линіи.

Выбирать реперы слѣдуетъ такъ, чтобы разность высотъ ихъ была менѣе 2-хъ саженъ, тогда, установивъ инструментъ между ними, по возможности, на серединѣ и въ такомъ мѣстѣ, чтобъ видѣть рейки, стоящія на обоихъ углахъ, въ трубу инструмента, визирная ось котораго приведена въ горизонтальное положеніе, можно дѣйствовать тахеометромъ, какъ нивеллиромъ, а слѣдовательно, опредѣлить разность горизонтовъ реперовъ болѣе точно, потому что эта разность не будетъ въ зависимости отъ D и отъ i, изъ которыхъ послѣдняя, какъ мы знаемъ, можетъ быть вычислена съ довольно значительной ошибкой (§ 207). Слѣдовательно, дѣйствуя такимъ образомъ, мы избѣжимъ накопленія ошибокъ въ отмѣткахъ реперовъ.

Съ другой же стороны, такъ какъ вполнѣ точно привести визирную ось трубы тахеометра въ горизонтальное положеніе нельзя, и при трудности установить на глазъ инструментъ на равныхъ разстояніяхъ между реперами, употребляя тахеометръ, какъ нивеллиръ, мы получимъ все-таки довольно значительную ошибку въ разности горизонтовъ реперовъ; поэтому можно совѣтовать употреблять нивеллиръ для опредѣленія отмѣтокъ реперовъ.

Мы сказали, что хорошо выбирать реперы такъ, чтобы разность уровней ихъ была не болѣе 2-хъ саженъ, но, конечно, можетъ случиться, что выбрать ихъ такимъ образомъ нельзя, въ такомъ случаѣ при нивеллировкѣ между реперами придется взять одну или нѣсколько промежуточныхъ точекъ.

Разстояніе между реперами не можетъ быть постоянно одно и то же, однакожъ, оно не должно выходить за предѣлы, въ которыхъ можетъ дѣйствовать дальномѣръ тахеометра. Кромѣ того, надо постановить за правило выбирать мѣста для стоянокъ инструмента такъ, чтобъ, во-первыхъ, точки наиболѣе возвышенныя и наиболѣе пониженныя, входящія въ районъ съемки, были, по возможности, ближе къ мѣсту стоянія инструмента, во-вторыхъ, чтобы разность

показаній между волосками на рейкѣ была не болѣе одной сажени, когда приходится направлять трубу подъ угломъ, близкимъ къ 50°, и, въ-третьихъ, чтобы визирная ось трубы была ближе къ горизонтальному положенію при визированіи на точки, на которыхъ показаніе между волосками доходитъ до 2-хъ саженъ. Поступая такимъ образомъ, мы будемъ увѣрены, что максимумъ ошибки въ опредѣленіи отмѣтокъ никогда не дойдетъ до 0,25 сажени. И только въ исключительномъ случаѣ, когда нельзя выполнить высказаннаго правила, ошибка въ высотѣ можетъ дойти до 0,25 сажени.

Съемку тахеометромъ можетъ производить одно лицо, но такъ какъ это очень затруднительно, то удобнѣе, когда производитель съемки имѣетъ нѣсколькихъ помощниковъ или, по крайней мѣрѣ, одного. Если помощниковъ три, то одинъ изъ нихъ долженъ находиться при инструментѣ и производить наблюденія, т. е. читать на волоскахъ показанія реекъ, читать на горизонтальномъ и вертикальномъ кругѣ отсчеты угловъ; второй помощникъ долженъ дѣлать вычисленія по логариѳмической линейкѣ; третій помощникъ долженъ записывать результаты наблюденій по инструменту и вычисленій по линейкѣ, дѣлать вычисленія повышеній, пониженій и отмѣтокъ точекъ. Если помощниковъ два, то одинъ имѣетъ въ своемъ распоряженіи тахеометръ и записную книжку, второй логариѳмическую линеечку. И, наконецъ, если имѣется одинъ помощникъ, то онъ записываетъ и вычисляетъ, производитель же съемки, кромѣ другихъ обязанностей, дѣлаетъ наблюденія по тахеометру.

Реечниковъ надо имѣть, по крайней мѣрѣ, трехъ. Когда мѣстность представляетъ большія трудности для перехода съ одного мѣста на другое, и когда съемка обнимаетъ довольно большой районъ, то выгодно имѣть ихъ и большее число. Кромѣ того, два человѣка назначаются для переноски инструмента со штативомъ, флаговъ и другихъ необходимыхъ вещей; они обязаны также укрывать тахеометръ въ случаѣ нужды отъ дождя и солнца, подавать сигналы реечникамъ по приказанію завѣдывающаго работами.

Число помощниковъ и рабочихъ опредѣляется вполнѣ мѣстностью; такъ, въ мѣстности, покрытой лѣсомъ, достаточно имѣть одного помощника и большое число рабочихъ, ибо въ такой мѣстности, прежде чѣмъ производить измѣренія, надо сдѣлать просѣки и, чтобъ взять показанія на одну только точку, иногда приходится ждать по

цѣлымъ часамъ. Въ мѣстности же хотя и разнообразной, но не покрытой лѣсомъ, гдѣ реечниковъ то и дѣло надо останавливать, чтобъ они ставили рейки, можно имѣть рабочихъ меньшее число, а помощниковъ полезно имѣть и трехъ.

Если направленіе снимаемаго участка задано, то завѣдывающій работами, или, какъ принято называть его, начальникъ партіи, можетъ на извѣстномъ протяженіи назначать реперы, т. е. тѣ точки, въ которыхъ долженъ быть установленъ инструментъ.

Въ наблюденіяхъ надо слѣдовать такому порядку, чтобъ можно было быть увѣреннымъ, что всѣ необходимыя точки сняты; для этого начальникъ партіи разбиваетъ мысленно мѣстность на треугольники, могущіе быть разсматриваемы, какъ плоскіе (§ 364), и наноситъ ихъ пунктиромъ въ книжкѣ, спеціально для того назначенной. Книжку для этихъ черновыхъ чертежей (брульоновъ, или кроки) дѣлаютъ такихъ же размѣровъ, какъ и журналъ. Линіи, назначенныя такимъ образомъ пунктиромъ, будутъ линіями одного уклона. Кроки, изготовленный на глазъ, долженъ все-таки, по возможности, соотвѣтствовать очертанію снимаемаго участка. При этомъ, не заботясь о сохраненіи масштаба, его измѣняютъ, смотря по тому, находятся-ли точки на большемъ или меньшемъ разстояніи отъ репера. Всего болѣе преслѣдуется ясность чертежа. Можно помѣстить нѣсколько реперовъ на одну и ту же страницу, но неудобно размѣстить часть, снятую съ одного репера, на двѣ разныя страницы.

Въ началѣ каждой слѣдующей страницы кроки наносятъ послѣдній реперъ предыдущей страницы и боковыя его точки, которыя надо будетъ соединить съ послѣдующими точками линіями одного уклона.

При такомъ расположеніи отдѣльныя части оказываются несоединенными между собою, но относительное положеніе точекъ достаточно будетъ выяснено, чтобы можно было эти части соединить на бѣловомъ планѣ. Впрочемъ, если хотятъ получить связный кроки, то употребляютъ длинную бумагу, свернутую въ видѣ гармоники и однимъ концомъ прикрѣпленную къ твердому переплету, но это менѣе удобно.

Боковыя точки означаются въ кроки и въ записной книжкѣ тахеометра въ томъ порядкѣ, въ какомъ производятся наблюденія. Для того, чтобъ избѣжать путаницы въ нумерахъ и узнать, къ какому реперу относятся боковыя точки, въ кроки, при нумерѣ точки, ставятъ внизу нумеръ репера, наприм., первая боковая точка репера 32 обозна-

чается 1(2), пятая 28-ого репера 5(8). Для того, чтобы каждая точка была означена тѣмъ же нумеромъ въ кроки, какъ и въ записной книжкѣ тахеометра, записывающій читаетъ вслухъ нумера точекъ.

Къ обязанностямъ начальника партіи, какъ уже было сказано, относится выборъ угловъ магистральной линіи и боковыхъ точекъ. Выборъ реперовъ дѣлается или сразу на нѣкоторомъ протяженіи, или-же совершается постепенно по мѣрѣ того, какъ работа подвигается впередъ. Въ послѣднемъ случаѣ начальникъ партіи, выбравъ починный реперъ и распорядившись обозначеніемъ его, осматриваетъ мѣстность и замѣчаетъ, какія точки могутъ быть сняты съ этого починнаго пункта, назначаетъ эти точки въ кроки и указываетъ реечникамъ, по какому направленію каждый изъ нихъ долженъ двигаться и гдѣ устанавливать рейку. При этомъ необходимо объяснить реечникамъ, чтобы они не пропускали ни одной сѣдловины, ни одного тальвега, ни одной водораздѣльной линіи и, вообще, ни одной натуральной линіи, иначе, имъ придется возвращаться къ мѣстамъ, въ которыхъ они уже находились. Если снимаютъ долину рѣки, то одного или двухъ реечниковъ посылаютъ ставить рейки на всѣхъ изгибахъ береговъ ея. Одинъ реечникъ ставитъ рейку въ точки, близлежащія къ углу, и затѣмъ, когда снимутъ съ репера тахеометръ, этотъ реечникъ остается на немъ.

Съ третьимъ или четвертымъ реечникомъ, снабженнымъ необходимыми принадлежностями для означенія реперовъ, начальникъ партіи отправляется для выбора слѣдующей точки стоянія. Сдѣлавъ этотъ выборъ и распорядившись означеніемъ репера, начальникъ партіи оставляетъ реечника на реперѣ и указываетъ ему тѣ мѣста, гдѣ тотъ долженъ установить рейку послѣ того, какъ визированіе на реперъ будетъ окончено, и самъ возвращается къ предыдущему углу, гдѣ, тѣмъ временемъ, наблюдатель установитъ тахеометръ, надлежащимъ образомъ вывѣритъ его, измѣритъ высоту центра окуляра, при горизонтальномъ положеніи визирной оси.

Когда реечникъ означитъ второй реперъ и поставитъ на немъ рейку, наблюдатель отпускаетъ магнитную стрѣлку и поворачиваетъ инструментъ до тѣхъ поръ, пока она не будетъ близка къ совпаденію съ линіей нулей, и закрѣпляетъ становой винтъ. Затѣмъ наводитъ зрительную трубу на рейку, давая трубѣ положеніе, насколько возможно, близкое къ горизонтальному, такъ какъ въ этомъ случаѣ ошибки въ опредѣленіи разстоянія и высоты будутъ наименьшія;

закрѣпляетъ зрительную трубу помощью зажимательнаго винта, возвращается къ магнитной стрѣлкѣ и, когда та придетъ въ покой, приводитъ ее на нуль помощью микрометрическаго винта лимба; поворачиваетъ алидадный кругъ и, приведя, въ точности, вертикальную нить сѣтки на средину рейки, читаетъ по лимбу азимутъ первой линіи. Начальникъ партіи, придя къ мѣсту стоянія инструмента на первомъ реперѣ, указываетъ сигналисту тѣ точки, гдѣ останавливать реечниковъ. У сигналиста должно имѣться нѣсколько флаговъ, причемъ каждый реечникъ знаетъ свой флагъ, и когда сигналистъ поднимаетъ соотвѣтственный флагъ, то реечникъ поднимаетъ рейку и переставляетъ ее вправо или влѣво, выше или ниже по знакамъ сигналиста.

Затѣмъ начальникъ партіи заноситъ точки стоянія реекъ въ кроки и соединяетъ пунктиромъ тѣ изъ нихъ, которыя лежатъ на линіяхъ одного уклона, при этомъ пренебрегаетъ мелкими и случайными изгибами этихъ линій. Какъ только реечникъ поставитъ рейку, наблюдатель читаетъ показанія рейки на волоскахъ трубы.

Когда мѣстность очерчена, и остается снять только три или четыре точки, и реечники поставили уже на эти точки рейки, начальникъ партіи, занеся эти точки въ кроки и условившись съ наблюдателемъ въ порядкѣ ихъ наблюденій, указываетъ реечнику, остающемуся на починномъ реперѣ, гдѣ тотъ долженъ будетъ останавливаться, идучи ко второму реперу, и самъ отправляется для выбора третьяго репера и возвращается на второй. Во время этого перехода начальника партіи, помощники его успѣваютъ пронивеллировать между 1-мъ и 2-мъ репером, причемъ дѣлаютъ запись въ особую нивеллировочную книжку. Если случатся промежуточныя точки, то на нихъ ставятъ вѣшки послѣ того, какъ рейки будутъ сняты, съ тѣмъ чтобы опредѣлить положеніе этихъ точекъ относительно магистральной линіи, визируя на нихъ со 2-го репера. Конечно, отмѣтки этихъ точекъ будутъ вѣрнѣе тѣхъ, которыя получились бы тахеометрически.

376. Веденіе журнала при тахеометрической съемкѣ. Каждая страница журнала, при производствѣ тахеометрической съемки, дѣлится на шестнадцать графъ, заголовки которыхъ показываютъ ихъ назначенія (страница 631).

Въ графѣ первой помѣщаютъ, кромѣ нумера точки, съ которой производится измѣреніе тахеометромъ, и замѣчанія: ручей, ущелье,

скала и т. п. Въ графѣ второй пишутъ высоты инструмента (J), въ третьей нумера задняго и передняго угла магистральной линіи, нумера вспомогательныхъ реперовъ и, наконецъ, нумера боковыхъ точекъ по порядку наблюденія. Графа четвертая предназначена для записыванія горизонтальнаго угла; пятая—для показаній крайнихъ волосковъ сѣтки; шестая—для разности между этими показаніями (g); седьмая—для вертикальнаго угла (φ); восьмая—для горизонтальныхъ разстояній (D) между смежными реперами или вершинами угловъ магистральной линіи, или точкой стоянія инструмента, на которой установленъ инструментъ, и боковыми точками; девятая — для разстоянія отъ черты рейки, на которую указываетъ средній волосокъ, до продолженной горизонтальной визирной оси (i); десятая — для показанія средней нити (V); одиннадцатая и двѣнадцатая—для повышенія и для пониженія надъ визирной осью при горизонтальномъ положеніи; тринадцатая — для отмѣтки горизонтальной визирной оси; четырнадцатая—для отмѣтокъ всѣхъ точекъ, на которыя визировали; пятнадцатая—для отмѣтокъ точекъ надъ уровнемъ моря; шестнадцатая—для вычисленія средней отмѣтки реперовъ изъ двухъ наблюденій. Надъ графами 5-й, 10-й, 7-й, 4-й поставлены римскія цифры I, II, III, IV для того, чтобы показать, въ какомъ порядкѣ слѣдуетъ записывать величины, полученныя измѣреніемъ. Послѣ того, какъ величины D и i вычислены по логарифмической линейкѣ (§ 217 и 218) и записаны въ графѣ 8-й и 9-й, вычисляютъ, при помощи величинъ i и V, повышеніе или пониженіе и, записавъ полученную величину въ одну изъ графъ, 11-ю или 12-ю, въ другую ставятъ кавычки. Для того, чтобы получить величину, записываемую въ графу 13-ю, прибавляютъ J (графа 2) къ отмѣткѣ репера, которая или дана, если это починный реперъ, или же вычислена, если это реперъ промежуточный; получивъ такимъ образомъ отмѣтку оптической оси при горизонтальномъ положеніи, прикладываютъ число, стоящее въ графѣ 11-й, или вычитаютъ изъ нея число, стоящее въ графѣ 12-й, и полученную величину заносятъ въ графу 14-ю.

Порядокъ наблюденій и записей въ журналъ ведется слѣдующимъ образомъ: наблюдатель, установивъ тахеометръ на реперѣ, ставитъ нули лимба и алидады въ совпаденіе, приводитъ движеніемъ лимба отвѣсную нить сѣтки въ совпаденіе съ серединой рейки, стоящей вертикально на заднемъ репѣрѣ, закрѣпляетъ лимбъ, въ точности при-

IV				I		III		II							
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
№ точекъ стояній инструмента.	Высота горизонтальной визирной оси.	№ точекъ визированія.	Горизонтальный уголъ.	Показаніе крайнихъ волосковъ.	Разность между показаніями волосковъ.	Вертикальный уголъ.	Горизонтальное разстояніе.	Высота.	Показаніе средняго волоска.	Повышеніе $i+I^{-}+$	Пониженіе $I^{-}-i$ $I^{-}+i$ —	Отмѣтки. Горизонтальной визирной оси.	Отмѣтки. Точекъ.	Отмѣтки надъ уровнемъ моря.	Вычисленіе средней отмѣтки и замѣчанія.
	J		Θ		g.	φ.	D.	i.							
168	0,614	167	—	870 100	770 766	103,91 104,24	76,40	5,101	485	—	5,590	384,610	383,996		**5 сентября 1876 г. Съемка Добидачайскаго ущелья.**
Въ саду на лѣвой сторонѣ рѣки.		169	223,60	952 700	252	107,24 107,57	24,70	2,950	826	—	3,776	—	—		$a=c_1-J=3,776-$ $-0,614=3,162.$
Въ ущельѣ съ правой стороны.		1	15,36	1662 1500	162	99,89 100,22	16,20	0,056	1,581	—	1,525	—	382,471		
		2	309,80	1645 200	1445	91,46 91,79	142	18,410	0,922	16,810	—	—	400,806		
169	0,650	168	—	1052 800	252	90,85 91,18	24,70	3,350	0,926	2,524	—	381,478	380,828		$a=c+J=2,524+$ $+0,650=3,174.$ $\frac{3,174-3,162}{2}=$ $=0,006$ $a=3,168$ слѣд. отмѣтка 169 равна $383,996-3,168=$ $=380,828.$
		170		724 500	224	108,70 109,03	21,98	3,138	0,612	—	3,750	—	—		
		Побочн. реперъ 170-го	199,26 700	1530	830	102,66 102,99	82,9	3,899	1,115		5,014	—	376,464		

водитъ микрометрическимъ винтомъ лимба вертикальный волосокъ въ совпаденіе съ серединою рейки, затѣмъ, ослабивъ алидаду, поворачиваетъ ее, чтобы смотрѣть на рейку, стоящую на переднемъ реперѣ, закрѣпляетъ алидаду, приводитъ, въ точности, микрометрическимъ винтомъ при алидадѣ, отвѣсную нить трубы на середину рейки и читаетъ показаніе на волоскахъ, показаніе на вертикальномъ кругѣ и, наконецъ, показаніе на горизонтальномъ лимбѣ. Такимъ же образомъ поступаетъ на всѣхъ остальныхъ реперахъ.

Ведущій журналъ въ графѣ 1-й ставитъ нумеръ репера, въ графѣ 3-й нумера — задняго и передняго реперовъ, послѣ этого онъ означаетъ въ той же графѣ побочные реперы, если таковые имѣются, и, наконецъ, боковыя точки; во 2-й графѣ записываетъ высоту инструмента. Затѣмъ приступаетъ къ записыванію цифръ, диктуемыхъ наблюдателемъ. Если у него остается между двумя наблюденіями время, то онъ дѣлаетъ вычисленія.

Наблюденія начинаютъ съ реперовъ, причемъ требуется наибольшая точность, поэтому наблюденія на нихъ повторяются нѣсколько разъ. Прежде чѣмъ перейти къ другимъ точкамъ, вычисляютъ разстояніе между реперами, причемъ изъ двухъ разностей между волосками (g) берутъ среднее; если послѣ этого вычисленныя разстоянія сильно разнятся между собою, то повѣряютъ вертикальный уголъ, если и послѣ этой повѣрки разность между горизонтальными разстояніями двухъ точекъ получается такая, что не можетъ быть допущена, то, покончивъ наблюденія съ репера, на которомъ уже установленъ инструментъ, возвращаются на предыдущій реперъ и тамъ производятъ наблюденія вновь.

Сдѣлавъ наблюденія и вычисленія относительно главныхъ реперовъ, дѣлаютъ наблюденія на вспомогательные реперы, если таковые имѣются, затѣмъ послѣдовательно наблюдаютъ боковыя точки.

Понятно, что наблюденіе на боковыя точки совершается съ большей быстротой, такъ какъ, при съемкѣ тахеометромъ, эти точки независимы другъ отъ друга, и, слѣдовательно, ошибки, сдѣланныя въ одномъ наблюденіи, не оказываютъ вліянія на остальныя точки, тѣмъ болѣе, что небольшое уклоненіе рейки отъ вертикальнаго положенія бываетъ достаточно для того, чтобы произвести ошибку, превышающую ошибку отъ быстро сдѣланнаго наблюденія. Впрочемъ, если между боковыми точками находятся точки, которыя надо

опредѣлить точнѣе, то начальникъ партіи заявляетъ о томъ наблюдателю, который, въ этомъ случаѣ, дѣлаетъ наблюденіе съ полнымъ тщаніемъ.

При чтеніи на рейкѣ и на лимбахъ надлежитъ постоянно слѣдовать опредѣленному порядку, чтобы избѣжать путаницы. Обыкновенно, наблюдатель наводитъ верхнюю нить на какое-нибудь круглое число, напримѣръ, 200, 300 и т. п., и начинаетъ съ чтенія на рейкѣ, причемъ произноситъ показанія верхней, нижней и средней нити, затѣмъ переходитъ къ чтенію вертикальнаго угла и, наконецъ, къ чтенію угла горизонтальнаго.

Напримѣръ, если наблюдатель читаетъ: 986,200; 593; 109,18; 203,28, то записывающій знаетъ изъ порядка чтенія, что 986 и 200 суть показанія крайнихъ волосковъ, 593 показаніе средняго волоска. что 109,28 вертикальный уголъ и 203,28 горизонтальный уголъ. По мѣрѣ того, какъ наблюдатель произноситъ показанія, ведущій журналъ повторяетъ продиктованное и къ вертикальному углу прибавляетъ алгебраически ошибку, если она имѣется, отъ негоризонтальнаго положенія визирной оси, при совпаденіи 100° и 300° вертикальнаго круга съ нулями нониуса, вычитаетъ изъ показанія нижней нити показаніе верхней и полученный результатъ заноситъ въ графу шестую (g) журнала, вычисляетъ изъ показаній крайнихъ нитей показаніе средней, т. е. беретъ полусумму показаній крайнихъ нитей, и если величина, найденная вычисленіемъ, разнится отъ прочтенной наблюдателемъ болѣе, чѣмъ на $0^c,001$, заявляетъ о томъ наблюдателю, который въ такомъ случаѣ повторяетъ чтеніе на рейкѣ.

Если по логарномической линейкѣ вычисляетъ отдѣльное лицо, то порядокъ работы долженъ быть слѣдующій: послѣ того, какъ наблюдатель прочтетъ показаніе нитей, ведущій журналъ произноситъ разность между показаніями крайнихъ нитей, т. е. число g. Затѣмъ читаютъ въ такомъ порядкѣ: наблюдатель вертикальный уголъ, вычислитель по линеечкѣ горизонтальное разстояніе; наблюдатель по горизонтальному кругу, записывающій повторяетъ вертикальный уголъ; вычислитель—высоту, записываемую въ графу i.

Графа 16-я имѣетъ два назначенія: она служитъ графою замѣчаній,—такъ, въ ней отмѣчаютъ главнѣйшія боковыя точки, и, кромѣ того, въ этой графѣ дѣлаютъ вычисленія разности уровней между смежными реперами изъ двухъ наблюденій. Помощью величинъ, за-

писанныхъ въ эту графу, можно въ каждый моментъ повѣрить работу и увидѣть, на сколько разнятся между собою двѣ вычисленныя величины разности высотъ двухъ смежныхъ реперовъ, и если, дѣйствительно, онѣ разнятся между собою, то не превышаетъ ли разность между разностями высотъ назначеннаго двойного предѣла точности въ опредѣленіи отмѣтокъ реперовъ. Если бы оказалось иначе, то надо убѣдиться въ вѣрности положенія нуля вертикальнаго круга и повторить наблюденія. Взявъ полусумму вычисленныхъ величинъ, найдемъ разность уровней болѣе вѣроятную, нежели въ отдѣльности каждая изъ нихъ. Полученную среднюю величину надо прибавить или вычесть изъ отмѣтки перваго репера, чтобы получить отмѣтку второго.

Этотъ способъ находить среднюю даетъ возможность судить о томъ, чѣмъ вызвана ошибка, равная полуразности высотъ,—инструментомъ или наблюденіемъ. Ошибка должна быть приписана невѣрности инструмента, если, для нѣсколькихъ послѣдовательныхъ точекъ, она повторяется постоянно въ одномъ направленіи; если же она колеблется то въ томъ, то въ другомъ направленіи,—она должна быть приписана наблюденію.

Въ томъ случаѣ, когда вычисленіе покажетъ, что второй реперъ выше перваго, а первый ниже второго, т. е. когда мы имѣемъ пониженіе и повышеніе, то не представляется никакой трудности рѣшить, нужно ли эту среднюю величину разностей уровней прибавить или отнять; когда же получаются два раза пониженія или повышенія, то, чтобы рѣшить, какая изъ точекъ ниже, наблюдатель приводитъ оптическую ось въ горизонтальное положеніе и визируетъ на рейку; если при этомъ средняя нить сѣтки ниже подошвы рейки, то передняя выше задней, если же средняя нить выше вершины рейки, то передняя точка ниже задней, наконецъ, если средняя нить покрываетъ какое-нибудь дѣленіе рейки, то показаніе средней нити укажетъ, выше или ниже передняя точка, смотря по тому, меньше или больше это показаніе высоты инструмента. Выше мы сказали, что лучше находить разность высотъ реперовъ непосредственною нивеллировкою независимо отъ величинъ пониженія и повышенія, вычисленныхъ такъ, какъ сказано здѣсь.

377. Нанесеніе на бумагу результатовъ съемки тахеометромъ. Наносить магистральную линію на бумагу слѣдуетъ по азимутамъ,

для какой цѣли на всѣхъ листахъ долженъ быть назначенъ меридіанъ. Линію не слѣдуетъ назначать на длинныхъ листахъ или свертках бумаги, а лучше на малыхъ листахъ формата 20×24 дюйма, и никакъ не длиннѣе 36 дюймовъ. Это потому, что при употребленіи небольшихъ листовъ не требуется много мѣста, нѣтъ надобности соображать, какъ лучше расположить на бумагѣ линію, ошибка, сдѣланная на одномъ листѣ, мало вліяетъ на вѣрность работы на послѣдующихъ листахъ и легко исправима посредствомъ лишь новой пригонки двухъ смежныхъ листовъ. Кромѣ того, при короткихъ листахъ бумага никогда не свертывается, а отъ того не рвется, лежитъ на столѣ плоско. Для сохраненія листовъ, во время полевой работы, полезно имѣть легкій металлическій шкафъ съ тремя или четырьмя не высокими ящиками, размѣра, соотвѣтствующаго величинѣ листовъ бумаги.

Листы прикладываются одинъ къ другому по мѣрѣ нанесенія послѣдующихъ вершинъ угловъ, причемъ дальнѣйшіе листы прикладываются къ предыдущимъ, подъ тѣмъ или другимъ угломъ. Два смежные листа скрѣпляются кнопками, и на послѣдующемъ листѣ вычерчивается линія, по которой этотъ листъ прикладывается къ предыдущему; на каждомъ листѣ вычерчивается меридіанъ такъ, чтобы онъ проходилъ, по возможности, ближе къ серединѣ листа. Каждый листъ снабжается соотвѣтственнымъ нумеромъ и названіемъ мѣста, гдѣ производится съемка; свѣдѣнія эти записываются всегда въ одномъ углѣ листа, напримѣръ, въ правомъ.

Каждая вершина угла назначается по координатамъ (§ 366), для чего можно пользоваться особымъ листомъ бумаги, на которомъ назначены перпендикулярныя другъ къ другу линіи, а также различные углы, на манеръ того, какъ сдѣланъ масштабъ высотъ (черт. 268), но только углы здѣсь должны быть назначены въ настоящую свою величину. При этомъ, для вычерчиванія координатъ, надо имѣть металлическую тяжелую линейку въ 24 дюйма и треугольникъ. Всѣ пикеты назначаются, и каждый пятый пикетъ нумеруется, точно также нумеруются всѣ углы, и на всѣхъ углахъ ставятся отмѣтки. Нанесеніе это дѣлается каждый вечеръ и карандашомъ. Въ дождливые же дни обводятъ тушью горизонтали и контура, а магистральную линію вытягиваютъ карминомъ.

Масштабъ для съемки лучше всего брать $\frac{1}{5.000}$, или 50 саженъ

въ одной сотой сажени, для болѣе ровной мѣстности; для мѣстности же, пересѣченной оврагами, берутъ $\frac{1}{2.500}$, а для очень скалистой мѣстности слѣдуетъ брать $\frac{1}{1.000}$. Разстояніе между горизонталями можно брать отъ $^1/_2$ сажени до 1 сажени (§ 23).

Боковыя точки всегда наносятъ по транспортиру. Когда на планъ нанесены всѣ точки и надписаны ихъ отмѣтки, то проводятъ горизонтали дома и затѣмъ свѣряютъ ихъ съ мѣстностью (§ 17).

Топографъ или лицо, производящее свѣрку и рисовку горизонталей въ полѣ, долженъ быть снабженъ компасомъ, чертежными принадлежностями, тонкою чертежною доскою и кожаною сумкою съ нѣсколькими листами бумаги съ начерченною на нихъ линіей, опредѣленной наканунѣ, съ назначенными на ней отмѣтками угловъ и боковыхъ точекъ.

Если полоса, снимаемая горизонталями, не широка, напр., саженъ по 100 въ обѣ стороны, то одинъ топографъ успѣетъ впродолженіи дня провѣрить горизонтали на протяженіи, какое было снято въ предыдущій день. Если же снимаемая полоса довольно широка, и мѣстность трудна, то необходимо на томъ же протяженіи имѣть нѣсколькихъ топографовъ для рисовки горизонталей. При каждомъ топографѣ должно быть не менѣе 4-хъ рабочихъ, снабжаемыхъ одною ленточною цѣпью.

Назначая горизонтали на планѣ, слѣдуетъ также обозначать грунтъ земной поверхности.

Если направленіе снимаемаго участка зависитъ отъ предѣльныхъ уклоновъ, допускаемыхъ, напр., при назначеніи линіи подъ желѣзную дорогу, и если направленіе магистральной линіи вмѣстѣ съ тѣмъ служитъ и направленіемъ оси проектируемой желѣзной дороги, тогда реперы базиса выбираются по мѣрѣ того, какъ работа подвигается впередъ, дабы знать, не имѣетъ ли базисъ слишкомъ значительнаго уклона, что узнается изъ вычисленныхъ разстояній и высотъ точекъ.

Если мѣстность такъ разнообразна, что магистральная линія не можетъ быть осью проекта, то надо снять довольно широкую полосу и затѣмъ уже, по составленному, на основаніи съемки, плану въ горизонталяхъ, назначить эту ось.

Ширина снимаемой полосы бываетъ весьма различна и зависитъ отъ тѣхъ цѣлей, для которыхъ производится съемка, и всякій разъ

дѣло завѣдывающаго назначать ее сообразно съ цѣлями съемки, чтобы не произвести лишней работы, но въ то же время, чтобы полоса эта была достаточно широка для того, чтобъ возможно было выбрать направленіе дороги наилучшимъ образомъ.

Вообще же, снимаемая полоса можетъ имѣть не болѣе 200 саженъ въ каждую сторону отъ базиса, такъ какъ на разстояніи 200 саженъ ошибки могутъ быть уже довольно значительныя.

Если же надо произвести съемку очень большого участка, то дѣлаютъ ее обходомъ, причемъ или разбиваютъ мѣстность на небольшіе участки, или же обходятъ ее концентрически, и всѣ эти обходы связываютъ другъ съ другомъ.

Если съемка тахеометромъ дѣлается съ цѣлью опредѣлить наилучшее направленіе дороги, то, чтобы базисъ не слишкомъ уклонялся отъ предположеннаго направленія, необходимо каждый вечеръ наносить его на планъ, чтобъ опредѣлить положеніе его относительно предварительно уже назначеннаго на картѣ. Помощью этой работы, которая требуетъ немного времени, рѣшаютъ, какъ направить работы на слѣдующее утро, и узнаютъ, не вкралась ли какая-нибудь ошибка, и не слѣдуетъ ли повторить наблюденія на нѣкоторыхъ реперахъ. Полезно наносить ежедневно не только магистральную линію, но и всю съемку, и далѣе не идти въ поле, пока не проведены на планѣ горизонтали и не выбрано наивыгоднѣйшее направленіе оси проекта.

Но такъ какъ въ практическомъ отношеніи это неудобно, во первыхъ, потому что партія, состоящая изъ трехъ или четырехъ человѣкъ техниковъ, при такомъ способѣ работъ, сдѣлаетъ съемку впродолженіи лѣта на слишкомъ маломъ участкѣ, и, во вторыхъ, потому что бо́льшая половина затраты на рабочихъ будетъ пропадать непроизводительно, то можно совѣтовать имѣть при партіи еще, по крайней мѣрѣ, двухъ чертежниковъ, которые бы успѣвали нанести на бумагу, впродолженіи вечера и части ночи, планъ снятой техниками мѣстности днемъ и назначить главныя горизонтали, или же имѣть двойной составъ техниковъ, работающихъ въ полѣ черезъ день.

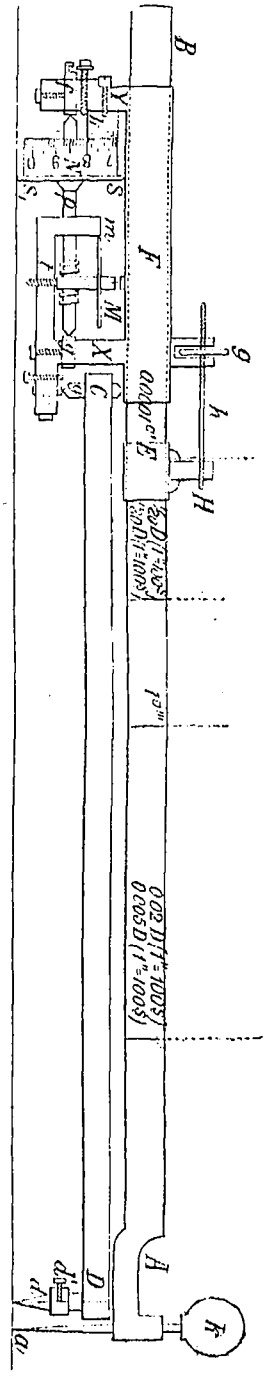
Глава XXXVIII.

ОБЪ ИЗМѢРЕНІИ ПЛОЩАДЕЙ УЧАСТКОВЪ, СНЯТЫХЪ НА ПЛАНЪ, И ОБЪ УМЕНЬШЕНІИ ПЛАНОВЪ.

Послѣ того, какъ сдѣлана съемка и планъ составленъ, часто является необходимость въ опредѣленіи величины площади снятаго участка и составленіи плана въ меньшемъ масштабѣ. Вычисленіе площадей дѣлается на основаніи теоремъ геометріи—разбивкою неправильныхъ многоугольниковъ на треугольники и трапеціи и вычисленіемъ площади каждой части отдѣльно. Или измѣряютъ всю площадь при помощи *планиметровъ*. Уменьшеніе плана дѣлается или фотографически, или по клѣткамъ, или при помощи *пантографа*.

378. Планиметръ Амслера. Самый употребительный, въ настоящее время, инструментъ для измѣренія площадей,—это *планиметръ Амслера*. Имѣются планиметры и другихъ изобрѣтателей, напримѣръ, Ермакова, Коради, Абданкъ-Абакоповича, штанговый планиметръ Пулена, но здѣсь достаточно будетъ описать одинъ планиметръ Амслера. Онъ состоитъ изъ стержня AB (черт. 463), на одномъ концѣ котораго укрѣплена копировальная игла a съ ручкою K; ею можно водить иглу по бумагѣ; на другой же конецъ стержня AB надѣты призматическія втулки E и F, соединенныя между собою винтомъ h; втулки эти можно свободно двигать по стержню AB рукою; когда же втулкѣ F нужно дать медленное движеніе по стержню AB, то прижимаютъ втулку E къ стержню винтомъ H и, вращая гайку G въ ту или другую сторону, втулку F приближаютъ или удаляютъ отъ E. Втулка F имѣетъ два выступа X и Y, въ нихъ вставлены стальные цилиндры f и g, служащіе подшипниками оси p. Съ осью p составляетъ одно цѣлое валикъ N, называемый *вертикальнымъ кругомъ*, одинъ край котораго имѣетъ ободокъ ss, а другой раздѣленъ на 100 равныхъ частей, и чрезъ каждыя 10 дѣленій на валикѣ поставлены цифры. Посредствомъ ноніуса h можно отсчитывать тысячныя части оборота колеса. Къ выступу X придѣлана ге-образная пластинка (уголокъ) mt, на ней устанавливается ось вращенія кружка M, называемаго *горизонтальнымъ кругомъ*. Ось вращенія кружка M имѣетъ шестерню

сцѣпленную съ безконечнымъ винтомъ, нарѣзаннымъ на оси p. Кружокъ M раздѣленъ на 10 равныхъ частей. При полномъ оборотѣ валика N, кружокъ M отходитъ на одно дѣленіе отъ индекса m, сдѣланнаго на t. Стержень CD вращается на оси C, на концѣ его D придѣлана игла d. При употребленіи планиметра, иглу d стержня CD вдавливаютъ въ бумагу, сверху рычага накладываютъ особый маленькій грузъ въ видѣ цилиндра съ осью, которая входитъ въ отверстіе, сдѣланное въ концѣ рычага D. Черт. 464 представляетъ перспективное изображеніе планиметра, отличающагося отъ предыдущаго (черт. 463) тѣмъ, что около копировальной иглы укрѣпленъ у d'' тупой шипнекъ g, благодаря которому при обводкѣ игла x не соскальзываетъ съ контура, кромѣ того, зажимательный винтъ d и микрометренный m поставлены ближе къ лѣвому концу подвижного рычага A.



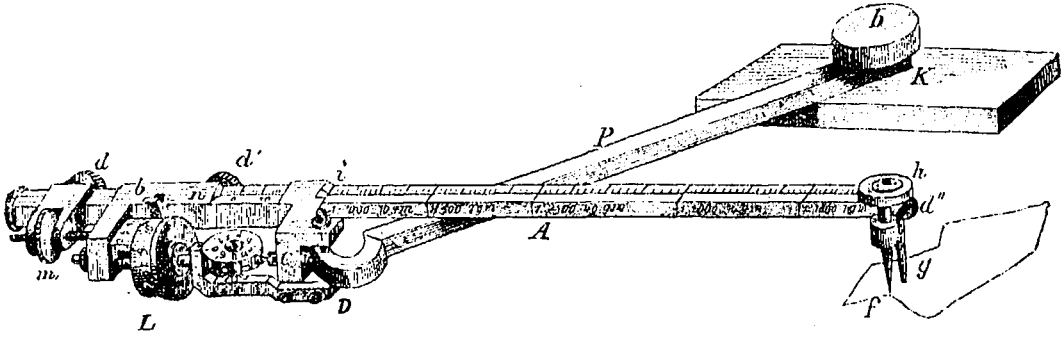
Черт. 463.

379. Теорія планиметра Амслера. Употребляется этотъ инструментъ такъ: дѣлаютъ отсчетъ по горизонтальному и вертикальному кружкамъ, когда копировка установлена въ какой-нибудь точкѣ периметра данной площади. Копировальною иглой обводятъ периметръ, и когда копировка придетъ въ начальную точку, дѣлается вновь отсчетъ по обоимъ кружкамъ. Разность отсчетовъ въ началѣ и концѣ обвода, какъ увидимъ далѣе, служитъ мѣрою площади.

Когда копировальная игла водится по контуру измѣряемой площади, то рычаги AB и CD (черт. 463) принимаютъ различныя положенія, а вертикальный кружокъ, опираясь на бумагу въ точкѣ касанія, или скользитъ по бумагѣ, если движеніе рычага AB совпа-

даетъ съ направленіемъ оси p, или вращается, если движеніе происходитъ по направленію, перпендикулярному къ p, или, наконецъ, одновременно скользитъ и вращается при всякомъ другомъ направленіи движенія рычага.

Когда валикъ скользитъ, слѣдовательно, не вращается на оси, то показаніе колеса остается однимъ и тѣмъ же. При всякомъ перемѣщеніи валика въ сторону отъ направленія оси, показанія мѣняются. Такъ что перемѣщенія точки касанія валика на бумагѣ представятся



Черт. 464.

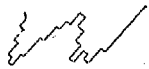
въ видѣ ступенчатой линіи (черт. 465). При всѣхъ перемѣщеніяхъ по направленію оси, колесо, какъ было сказано, не вращается, поэтому, при переходѣ точки касанія изъ A въ B (черт. 466), колесо развернется на дугу, длина которой равняется суммѣ малыхъ перемѣщеній, перпендикулярныхъ къ линіи CB, представляющей собою направленіе оси p, или, другими словами, равняется линіи CA.

Такъ что, при переходѣ валика изъ одной точки въ другую, перемѣщеніе это можно разсматривать какъ составленное изъ двухъ перемѣщеній CB—по оси и изъ перемѣщенія, перпендикулярнаго къ первому. Это послѣднее перемѣщеніе равняется дугѣ, на которую развернется валикъ, или дугѣ между точками касанія валика въ точкѣ A и въ точкѣ B. Длина дуги этой выразится разностью чтеній на валикѣ, сдѣланныхъ въ моменты его касанія въ точкахъ A и B.

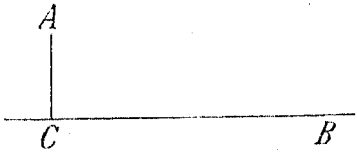
Положимъ, что игла d укрѣплена въ точкѣ A (черт. 467) площади $DD_1D_2D_3D_4$, что кольцо валика N касается бумаги въ точкѣ C, и копировальная игла движется по контуру $D\ D_1\ D_2$.

Назовемъ постоянныя величины: $BD = a$, $AB = b$, $CB = d$ и посмотримъ, какъ выразится въ нихъ площадь фигуры $DD_1D_2B_1BA$.

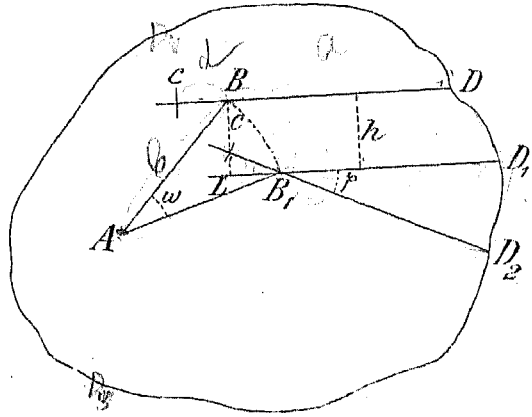
Положимъ, что копировальную иглу, двигая по контуру $DD_1D_2\ldots$, перемѣстили на безконечно малую величину DD_2, тогда площадь



Черт. 465.



Черт. 466.



Черт. 467.

$DD_1D_2B_1AB$ можно разсматривать какъ состоящую изъ: 1) сектора ABB_1, 2) параллелограмма BDD_1B_1 и 3) треугольника или сектора $D_1D_2B_1$, такъ какъ величина D_1D_2 — безконечно малая.

Площадь сектора $ABB_1 = \smile BB_1 \times \frac{b}{2}$.

„ параллелограмма $BDD_1B_1 = a\,h$.

„ сектора $D_1D_2B_1 = \smile D_1D_2 \times \frac{a}{2}$.

Такимъ образомъ:

$$DD_1D_2B_1AB = \smile BB_1 \times \frac{b}{2} + a\,h + \smile D_1D_2 \times \frac{a}{2}. \quad (1)$$

Преобразуемъ выраженія для этихъ трехъ площадей. Назовемъ буквой ω длину безконечно малой дуги, описанной изъ A радіусомъ равнымъ единицѣ, получимъ:

$$BB_1 : \omega = b : 1, \text{ откуда } BB_1 = b\omega.$$

Подобнымъ же образомъ, называя буквою φ безконечно малую дугу при B_1, описанную радіусомъ равнымъ единицѣ, получимъ:

$$D_1D_2 : \varphi = a : 1, \text{ откуда } D_1D_2 = a\varphi.$$

Наконецъ, величина $h = Bc + cL$, гдѣ Bc представляетъ собою длину развернутой дуги валика при движеніи копировки отъ D къ D_2. Если чрезъ m назовемъ показаніе индекса въ то время, когда копировальная игла находилась въ D, то, при безконечно маломъ перемѣщеніи иглы, показаніе это измѣнится въ m_1, и, слѣдовательно, $(m_1 — m)$ выразитъ собою число единицъ длины, на которую развернется вертикальное колесцо при переходѣ копировки изъ D въ D_2. А потому $h = cL + (m_1 - m)$.

Вслѣдствіе того, что величина cL безконечно мала, ее можно разсматривать какъ дугу, описанную изъ точки B, и, подобно предыдущему, она опредѣлится изъ пропорціи:

$$cL : \varphi = d : 1 \text{ или } cL = d\varphi,$$

слѣдовательно:

$$h = (m_1 — m) + d\varphi.$$

Имѣя выраженіе для BB_1, D_1D_2 и h, поставимъ ихъ въ выраженіе (1) для безконечно малой площади $DD_1D_2B_1AB$, которую назовемъ буквою p, тогда получимъ:

$$p = \frac{b^2}{2}\omega + a(m_1 — m) + ad\varphi + \frac{a^2}{2}\varphi,$$

или

$$p = \frac{b^2}{2}\omega + a(m_1 — m) + \left(ad + \frac{a^2}{2}\right)\varphi \quad \ldots (1)$$

Перемѣстивъ копировку еще на безконечно малую величину, получимъ новую площадку p_1, причемъ показаніе колеса будетъ m_2, центральныя дуги будутъ какія-нибудь другія, напримѣръ, ω_1 и φ_1, длина же рычаговъ та же, что и прежде, поэтому площадка p_1 выразится слѣдующей формулой:

$$p_1 = \frac{b^2}{2}\omega_1 + a(m_2 — m_1) + \left(ad + \frac{a^2}{2}\right)\varphi_1 \quad \ldots (2)$$

Подобнымъ образомъ найдемъ:

$$p_2 = \frac{b^2}{2}\omega_2 + a(m_3 — m_2) + \left(ad + \frac{a^2}{2}\right)\varphi_2 \quad \ldots (3)$$

$$p_3 = \frac{b^2}{2}\omega_3 + a(m_4 — m_3) + \left(ad + \frac{a^2}{2}\right)\varphi_3 \quad \ldots (4)$$

и т. д.

Наконецъ, когда копировка придетъ въ начальную точку, то послѣдняя безконечно малая площадка выразится такъ:

$$p_n = \frac{b^2}{2}\,\omega_n + a\,(m_{n+1} - m_n) + \left(ad + \frac{a^2}{2}\right)\varphi_n \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Складывая равенства (1), (2), (3), (4) и (5) между собою, для лѣвой части получимъ площадь всего контура, которую назовемъ буквою P, и, дѣлая надлежащія приведенія въ правой части, найдемъ:

$$P = \frac{b^2}{2}\,(\omega + \omega_1 + \omega_2 + \ldots + \omega_n) + a\,(m_{n+1} - m_1) +$$

$$+ \left(ad + \frac{a^2}{2}\right)(\varphi + \varphi_1 + \varphi_2 + \ldots + \varphi_n). \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Очевидно, сумма $\varphi + \varphi_1 + \varphi_2 \ldots + \varphi_n$ равна 2π. То же самое можно доказать и относительно суммы $\omega_1 + \omega_2 + \ldots + \omega_n$. Дѣйствительно, изъ чертежа 468-го видно, что дуги ω, ω_1, ω_2, $\omega_3 \ldots$, имѣющія центры въ разныхъ точкахъ B, B_1 B_2 ... окружности, равны дугамъ, описаннымъ изъ 0, поэтому онѣ могутъ быть замѣнены дугою непрерывною, имѣющею центръ въ точкѣ O; слѣдовательно, когда рычагъ a придетъ въ свое первоначальное положеніе, сумма $\omega + \omega_1 + \omega_2 + \ldots$. обратится въ 2π. Такимъ образомъ, послѣдняя формула (6) преобразуется въ слѣдующую:

$$P = \frac{b^2}{2}\,2\pi + a\,(m_{n+1} - m_1) + \left(ad + \frac{a^2}{2}\right)2\pi,$$

или

$$P = a\,(m_{n+1} - m_1) + (b^2 + 2ad + a^2)\,\pi. \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Второй членъ правой части этого равенства, состоя изъ членовъ 2-го измѣренія, представляетъ собою нѣкоторую площадь, и величина этой площади измѣняется съ измѣненіемъ длины рычага.

Формулу (7) будемъ, для краткости, писать слѣдующимъ образомъ:

$$P = aM + A,$$

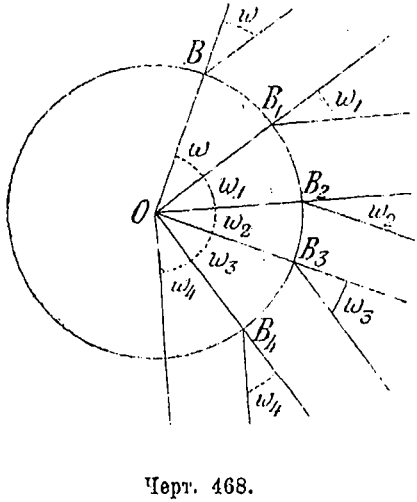
или

$$P = a\left|M + \frac{A}{a}\right|. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

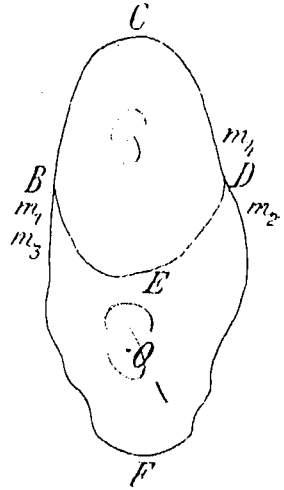
Здѣсь $\frac{A}{a}$ число отвлеченное, оно надписывается на рычагѣ b для различныхъ его длинъ, напр. для трехъ различныхъ длинъ.

Такъ какъ линію a можно разсматривать, какъ элементарную площадь, то формулу (8) можемъ выразить слѣдующими словами: *если постоянная точка планиметра установлена внутри измѣряемой площади, то эта послѣдняя равна элементарной площади a, умноженной на сумму двухъ чиселъ: одного—написаннаго на рычагѣ b, при опредѣленной его длинѣ, данной ему въ началѣ измѣренія, и другого — равнаго разности показаній валика при концѣ обвода копировкой и въ началѣ обвода.*

Разсмотримъ теперь, какъ выразится измѣряемая площадь, если постоянная точка планиметра будетъ поставлена внѣ измѣряемой площади.



Черт. 468.



Черт. 469.

Положимъ, что надо измѣрить площадь $BCDEB$ (черт. 469), означаемую, для краткости, чрезъ P, и что игла d поставлена въ точкѣ O внѣ площади P. Положимъ, что, когда копировка находилась въ точкѣ B, показаніе валика было m_1. Когда копировка прошла путь BCD и пришла въ точку D, показаніе валика было m_2. Когда копировка вернулась въ точку B, пройдя чрезъ точку E, показаніе валика пусть будетъ m_3. Для того, чтобы найти выраженіе для данной площади P, обведемъ еще копировкою произвольную площадь $BFDEB$, такъ, чтобы эта площадь заключала внутри себя точку O, гдѣ поставлена неподвижно игла планиметра, для краткости, эту площадь назовемъ буквою P_1. Когда копировка придетъ

изъ B чрезъ F въ точку D, то показаніе валика пусть будетъ m_4. Величину P можно выразить на основаніи выведенной выше формулы площадей $P + P_1$ и P_1. Такъ какъ постоянная точка планиметра O находится внутри каждой изъ этихъ площадей, то можно написать, на основаніи формулы (7), двѣ такихъ формулы:

$$P + P_1 = a\,[(m_2 - m_1) + (m_4 - m_3)] + A \quad . \quad . \quad (9)$$

$$P_1 = a\,[(m_4 - m_3) + (m_3 - m_2)] + A \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Вычитая второе равенство изъ перваго, найдемъ:

$$P = a\,[(m_2 - m_1) - (m_3 - m_2)] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

Формула (9) написана въ предположеніи, что копировка шла отъ B чрезъ C, D и F къ B, (10)—въ предположеніи, что копировка шла отъ D чрезъ F, B и E къ D. Слѣдовательно, формула (11) получается въ предположеніи, что для нахожденія величины площади P копировка шла сначала отъ B чрезъ C къ D, а затѣмъ отъ B чрезъ E къ D, на самомъ же дѣлѣ, какъ сказано раньше, движеніе копировки совершалось отъ B чрезъ C, D и E къ B, поэтому, чтобы получить площадь P, въ послѣдней формулѣ знакъ предъ $(m_3 - m_2)$ надо измѣнить, т. е. поставить плюсъ вмѣсто минуса, и тогда найдемъ:

$$P = a\,[(m_2 - m_1) + (m_3 - m_2)],$$

или

$$P = a\,(m_3 - m_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Такимъ образомъ, *когда остріе рычага находится внѣ контура измѣряемой площади, то величина площади равняется разности чтеній въ началѣ и концѣ обвода копировкой, умноженной на величину второго рычага, длина котораго можетъ измѣняться.*

Въ формулахъ (8) и (12) величина a выражаетъ собою элементарную площадь, зависящую отъ длины рычага a. Поэтому на рычагѣ AB (черт. 463) поставлены четыре черты и около нихъ надписи, выражающія собою ту или другую величину элементарной площади въ зависимости отъ длины рычага. Такъ, имѣются надписи: 0,0001 $\square'$ (одна десятитысячная квадратнаго фута) 1 $\square'''$, 1 мм.

380. Употребленіе планиметра Амслера. Начиная измѣрять планиметромъ Амслера площадь, прежде всего надо опредѣлить—въ какихъ единицахъ мѣры, поставленныхъ на рычагѣ AB (черт. 463), желаютъ выразить измѣряемую площадь. Сообразно съ этимъ, передвигаютъ рычагъ AB, снабженный копировкой, во втулкѣ до тѣхъ поръ, пока индексъ втулки не совпадетъ съ назначеннымъ дѣленіемъ рычага. Тогда втулку закрѣпляютъ зажимательнымъ винтомъ, въ точности, приводятъ микрометреннымъ винтомъ въ совпаденіе черту рычага съ индексомъ. Затѣмъ устанавливаютъ остріе конца второго рычага въ такой точкѣ, чтобы, при обводѣ копировкой по контуру площади, возможно было сдѣлать этотъ весь обводъ, при этомъ, конечно, приходится перемѣнять нѣсколько разъ мѣсто для острія второго рычага. Когда это мѣсто, наконецъ, найдено, копировку k (черт. 463) устанавливаютъ на опредѣленной точкѣ перпметра и начинаютъ дѣлать отсчетъ; индексъ горизонтальнаго кружка расположится между двумя цифрами, поэтому записываютъ меньшую изъ нихъ; пусть она будетъ 2. Затѣмъ смотрятъ на вертикальный валикъ и записываютъ меньшую цифру изъ двухъ, между которыми расположится нуль нонiуса; пусть эта цифра будетъ 4; слѣдующая цифра, которую надо записать, выражаетъ число цѣлыхъ дѣленій валика отъ цифры 4 до нуля нонiуса; положимъ, что цифра эта 7. Наконецъ, послѣдняя цифра въ записи, это—чтеніе по нонiусу, т. е. дѣленіе нонiуса, совпадающее съ какимъ-нибудь дѣленіемъ валика; пусть это дѣленіе будетъ третье дѣленіе нонiуса. Слѣдовательно, полное чтеніе по горизонтальному кружку, вертикальному валику и нонiусу окажется равнымъ 2.473.

Сдѣлавъ эту запись, обводятъ копировкой по периметру данной площади, и когда копировка придетъ въ начальный пунктъ, дѣлаютъ отсчетъ по горизонтальному кружку, вертикальному кружку и его нонiусу. Отсчетъ можетъ быть или больше прежняго, или меньше, смотря по тому, въ какую сторону вращался валикъ; положимъ, 2-е чтеніе равно 5.473. Слѣдовательно, разность между обоими чтеніями 3.000 укажетъ, что валикъ сдѣлалъ три полныхъ оборота.

Можетъ случиться, что при вращеніи валика нуль горизонтальнаго кружка пройдетъ мимо его индекса одинъ или нѣсколько разъ, въ этомъ случаѣ надо обращать вниманіе на то, какъ проходятъ цифры горизонтальнаго кружка мимо его индекса,—сначала-ли большія, потомъ меньшія, или обратно. Положимъ, цифры горизонтальнаго кружка

проходятъ мимо индекса отъ меньшей къ большей, и нуль кружка прошелъ мимо индекса одинъ разъ, въ этомъ случаѣ ко второму чтенію надо прибавить 10.000, или въ началѣ его поставить единицу, т. е. чтеніе будетъ не 5.473, а 15.473. Подобнымъ образомъ, если бы нуль прошелъ мимо индекса два раза, то надо предъ вторымъ чтеніемъ поставить 2 и т. д. Если при вращеніи валика цифры проходятъ отъ большей къ меньшей, и нуль пройдетъ мимо индекса одинъ разъ, то изъ второго чтенія надо было бы вычесть 10.000, но такъ какъ изъ него вычитается первое чтеніе, то можно вмѣсто этого къ 1-му чтенію прибавить 10.000 или предъ первымъ чтеніемъ поставить единицу. Подобнымъ образомъ, если цифры горизонтальнаго кружка проходятъ мимо его индекса отъ большей къ меньшей, и притомъ нуль пройдетъ 2 раза, то предъ первымъ чтеніемъ надо поставить 2 и т. д.

Дѣлая отсчетъ по планиметру, надо обращать вниманіе на слѣдующее: можетъ случиться, что индексъ горизонтальнаго кружка будетъ такъ близко стоять къ какой-нибудь цифрѣ кружка, что трудно опредѣлить, слѣдуетъ ли взять эту цифру, или меньшую. Чтобъ рѣшить, какую взять цифру съ горизонтальнаго кружка, нужно смотрѣть, находится ли нуль ноніуса между нулемъ и единицей валика, или же между нулемъ и цифрой 9; въ первомъ случаѣ надо взять съ горизонтальнаго кружка цифру, стоящую у индекса, во второмъ случаѣ съ горизонтальнаго кружка надо взять ближайшую къ индексу меньшую цифру.

Когда найдена разность отсчетовъ, прочтенныхъ на кружкахъ въ началѣ и концѣ обвода копировкой, и если остріе второго рычага поставлено внѣ контура измѣряемой площади, то разность отсчетовъ надо умножить на единицу площади, надписанную на рычагѣ AB у индекса втулки.

Напримѣръ, если эта надпись 0,0001 □′, то при такой длинѣ рычага каждая единица разности чтеній соотвѣтствуетъ одной десятитысячной квадратнаго фута. Слѣдовательно, если бы постоянная точка планиметра находилась внѣ измѣряемаго контура, а разность чтеній равнялась бы 3.456, то, при указанной длинѣ рычага, нужно было бы въ числѣ 3.456 перенести запятую за четыре знака влѣво, и нашли бы, что площадь, въ этомъ случаѣ, равна 0,3456 кв. фут.

Если подвижному рычагу (AB) сообщить длину съ надписью

одна квадратная линія (1 □′′′), то, при той же разности чтеній 3.456, нашли бы, что измѣренная площадь равна 3.456 квадратнымъ линіямъ.

Если подвижному рычагу (AB) была бы сообщена длина съ надписью $\begin{cases} {}^1/_{20}\ D\ (1'' = 100\ S) \\ {}^1/_{80}\ D\ (1'' = 50\ S) \end{cases}$, то разность чтеній надо помножить на ${}^1/_{20}$, и площадь получится въ десятинахъ, если планъ составленъ въ масштабѣ сто саженъ въ одномъ дюймѣ, или на ${}^1/_{80}$, и тогда площадь получится тоже въ десятинахъ, если планъ составленъ въ масштабѣ пятьдесятъ саженъ въ одномъ дюймѣ.

Наконецъ, при самой меньшей длинѣ рычага поставлена надпись $\begin{cases} 0{,}02\ D\ (1'' = 100\ S) \\ 0{,}005\ D\ (1'' = 50\ S) \end{cases}$; эта послѣдняя длина рычага мало употребительна, развѣ для очень небольшихъ площадей. Пользоваться ею надо такъ же, какъ и предыдущею надписью, и площадь получится тоже въ десятинахъ.

На иныхъ планиметрахъ вмѣсто надписи одна квадратная линія (1 □′′′) ставится одинъ миллиметръ (1 мм.).

Если остріе второго рычага поставлено внутри контура измѣряемой площади, то къ разности отсчетовъ на кружкѣ и валикѣ надо прибавить еще число A, написанное на рычагѣ AB у той длины рычага, какая ему придана въ началѣ измѣренія площади. Остріе рычага, устанавливаютъ внутри измѣряемой площади въ случаѣ значительной величины площади.

Когда же площадь такъ велика, что даже по установкѣ острія внутри площади, все-таки копировкой нельзя обойти всего контура, тогда дѣлятъ площадь на нѣсколько частей прямыми линіями, измѣряютъ каждую часть отдѣльно и берутъ затѣмъ сумму площадей.

Положимъ, нужно измѣрить площадь въ квадратныхъ футахъ, устанавливая остріе второго рычага планиметра внутри площади; тогда, давъ рычагу a длину, при которой сдѣлана надпись 0,0001 □′, ставятъ копировку въ какой-либо точкѣ периметра данной площади и дѣлаютъ отсчетъ по кружку и валику; положимъ, этотъ отсчетъ будетъ 2.345; обводятъ по периметру площади копировкой и, когда придутъ въ начальную точку, отъ которой начали обводъ, дѣлаютъ вновь отсчетъ; пусть онъ будетъ 865. Къ разности двухъ отсчетовъ $2345 - 865 = 1480$ надо прибавить число, надписанное на верхней

грани рычага AB у дѣленія 0,0001 □′; если эта надпись,—20808, встрѣчающаяся на планиметрахъ Амслера, то найдемъ, что измѣряемая площадь равна 2,2288 кв. фут.

Въ продажѣ имѣются также планиметры съ неподвижными рычагами AB. Очевидно, удобнѣе первые. Хотя и вторыми можно измѣрять площади, вычерченныя въ какомъ угодно масштабѣ и какихъ угодно квадратныхъ единицахъ.

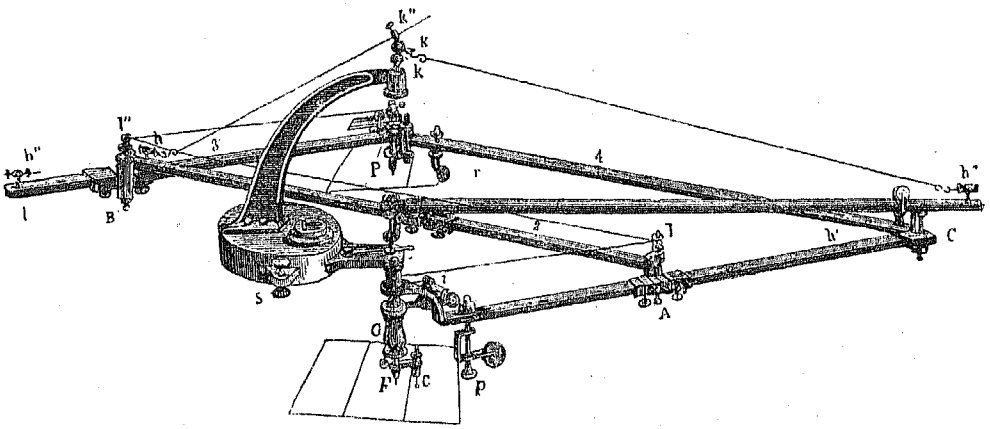
Предъ употребленіемъ планиметра надо убѣдиться, что валикъ вращается на своей оси свободно, не задѣвая нонiуса, что ось не имѣетъ большого продольнаго движенія, что рычагъ AB, по закрѣпленіи его винтомъ, не передвигается, если его потянуть за копировку, что, при движеніи копировки, валикъ прикасается все время къ бумагѣ, т. е. доска, на которой лежитъ бумага, представляетъ собою плоскость. Бумага должна быть или наклеена на доскѣ, или приколота кнопками, иначе отъ передвиженія бумаги на доскѣ, во время измѣренія, можетъ вкрасться значительная ошибка.

Обводъ копировкой всегда дѣлается по направленію движенія часовыхъ стрѣлокъ. Прямыя линіи слѣдуетъ обводить по линейкѣ. Никогда не слѣдуетъ ограничиваться однимъ обводомъ, а слѣдуетъ ихъ дѣлать нѣсколько. Изъ нѣсколькихъ полученныхъ такимъ образомъ разностей берется средняя ариѳметическая. Для большей увѣренности въ правильности работы хорошо дѣлать нѣсколько обводовъ въ сторону противоположную.

Повѣрку планиметра можно сдѣлать, измѣряя имъ вычерченную, самымъ точнымъ образомъ, какую-нибудь опредѣленную площадь. Сравнивъ затѣмъ величину площади, выведенную на основаніи геометрической формулы, съ площадью, полученной помощью планиметра, заключаютъ о степени вѣрности инструмента. Большею частью, повѣрка приводитъ къ разности, выражающейся въ доляхъ одного процента всей площади. При этомъ, конечно, надо отнести часть ошибки къ неточности вычерчиванія.

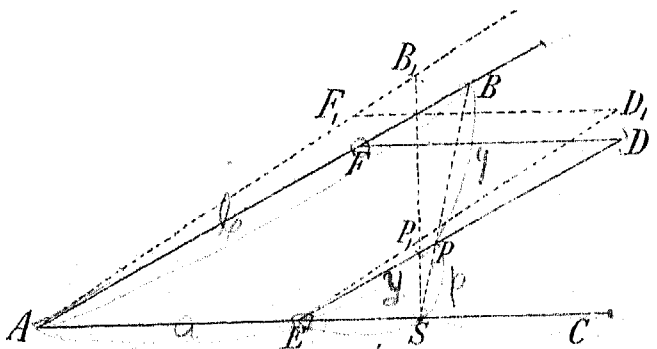
381. Пантографъ. Для уменьшенія или увеличенія плана въ опредѣленное число разъ служитъ, между прочимъ, *пантографъ*. Чертежъ 470 представляетъ перспективное изображеніе пантографа, въ томъ видѣ, какъ онъ исполняется, въ послѣднее время, лучшими механиками. Чертежъ 471-ый представляетъ схематическое изображеніе главныхъ частей пантографа. Пантографъ состоитъ изъ четырехъ ме-

таллическихъ или деревянныхъ стержней или линеекъ. Двѣ изъ нихъ (черт. 471) AB и AC болѣе длинныя, а двѣ другія ED и FD меньшія. Линейки эти соединены между собою четырьмя шарнирами. Шарниры E и F поставлены такъ, что длины AE и FD оста-



Черт. 470.

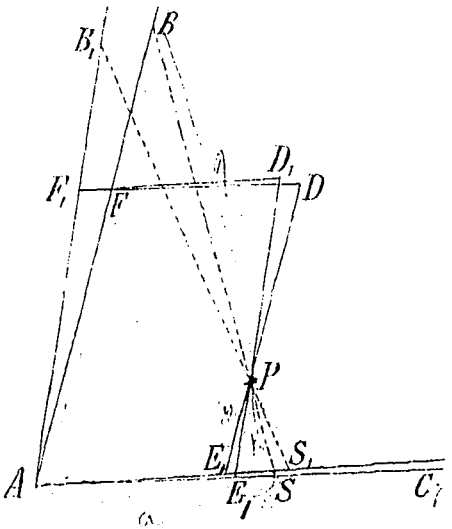
ются всегда параллельными и равными между собою. Такимъ образомъ, четырехъ-угольникъ $AFDE$ представляетъ собою параллелограммъ, могущій измѣнять свою форму безъ измѣненія длины сторонъ; такъ, онъ можетъ принять форму параллелограмма AF_1D_1E.



Черт. 471.

Въ трехъ точкахъ помѣщены оправы съ горизонтальными осями для каточковъ. Каточками пантографъ ставится на бумагу съ планомъ, подлежащимъ уменьшенію или увеличенію. Линейки EC и ED раздѣлены на части различной величины, у каждаго дѣленія поставлены надписи. По линейкамъ EC и ED могутъ двигаться оправы съ тру-

бочками. Въ одну изъ нихъ вкладывается копировка, въ другую — стержень тяжелаго цилиндра. Цилиндръ этотъ съ нижней стороны имѣетъ три острія, которыми онъ прочно удерживается на доскѣ съ планомъ, и, такимъ образомъ, ось стержня цилиндра представляетъ постоянную ось, около которой происходитъ вращеніе всего инструмента во время движенія копировкой. На концѣ рычага AB придѣлывается на-глухо такая же трубочка, какъ на рычагѣ ED. Трубочка на рычагѣ ED находится въ точкѣ P, при переходѣ же



Черт. 472.

рычага въ другое положеніе ED_1 трубочка переходитъ въ точку P_1. Въ трубочки вкладывается либо копировка, либо карандашъ. Отъ копировки къ карандашу протянутъ тонкій шнурокъ, которымъ карандашъ приподымаютъ при переходѣ копировки отъ одного контура къ другому.

Положимъ, стержень тяжелаго цилиндра находится въ точкѣ P (черт. 472), остріе копировки въ точкѣ S, а карандашъ въ точкѣ B. Чтобы получить копію даннаго плана, остріе карандаша копировки и ось вращенія тяжелаго цилиндра должны быть установлены на одной прямой линіи.

Когда копировкой обводятся контуры и линіи даннаго плана, то карандашъ чертитъ на другомъ листѣ копію, во всемъ подобную

данному плану, потому что, какъ бы уголъ A ни былъ измѣненъ, треугольники EPS и ABS всегда (черт. 472) подобны.

Чтобъ карандашъ вычерчивалъ площади и линіи въ опредѣленномъ уменьшеніи или увеличеніи, надо поставить оправы для копировки и стержня тяжелаго цилиндра на ихъ линейкахъ соотвѣтствующимъ образомъ. Поэтому, прежде чѣмъ употреблять въ дѣло пантографъ, необходимо отвѣтить на вопросъ, *гдѣ слѣдуетъ поставить оправы копировки и стержня цилиндра*, т. е. какія дѣленія должны указывать индексы этихъ оправъ на линейкахъ ED и EC, чтобы можно было получить копію въ опредѣленномъ увеличеніи или уменьшеніи.

Назовемъ данныя длины AE и AB буквами a и b, PS и PB буквами p и q, а искомыя ES и EP буквами x и y.

Изъ подобныхъ треугольниковъ SEP и SAB имѣемъ:

$$\frac{x}{a} = \frac{p}{q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$\frac{y}{b} = \frac{p}{BS} = \frac{p}{BP + PS};$$

или

$$\frac{y}{b} = \frac{p}{q + p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Изъ формулъ (1) и (2) найдемъ:

$$x = a\,\frac{p}{q} \text{ и } y = b\,\frac{p}{p + q}.$$

Если копировку помѣстимъ въ трубочку B, а карандашъ въ A (черт. 472), и захотимъ получить копію въ два раза меньшую, нежели данный планъ, то должны положить $\frac{p}{q} = \frac{1}{2}$, тогда:

$$x = \frac{1}{2}\,a \text{ и } y = \frac{1}{3}\,b.$$

Если бы желали получить копію, меньшую даннаго плана въ три раза, то должны были бы положить:

$$\frac{p}{q} = \frac{1}{3},$$

а тогда

$$x = \frac{1}{3}\,a \text{ и } y = \frac{1}{4}\,b. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

На линейкахъ *ES* и *ED* поставлены у дѣленій надписи 1 : 2, 1 : 3, 1 : 4 и т. д. Сообразно съ заданнымъ уменьшеніемъ, оправу копировки и стержень цилиндра надо поставить на соотвѣтственныя надписи.

Если копировку помѣстить въ трубочку *S*, а карандашъ въ трубочку *B*, то, дѣлая x и y равными вышеуказаннымъ величинамъ (3), установили бы, слѣдовательно, пантографъ для увеличенія копіи, а не для уменьшенія.

Глава XXXIX.

О РАЗБИВКѢ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРЯМЫХЪ И КРИВЫХЪ ЛИНІЙ.

Дороги, желѣзныя и обыкновенныя, а также и каналы состоятъ изъ прямыхъ и кривыхъ частей. Кривыя части путей называются *закругленіями*. Обозначеніе точекъ прямыхъ и кривыхъ линій на земной поверхности называется *разбивкою прямыхъ линій и закругленій*.

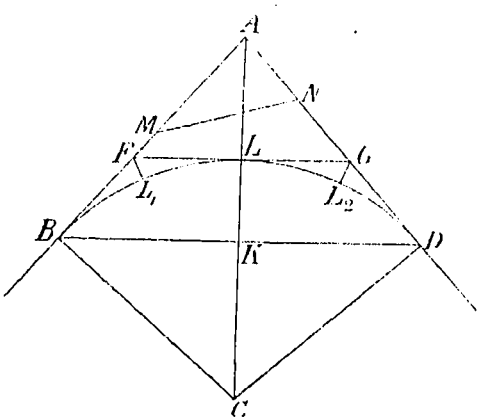
Закругленія разбиваютъ большею частію по дугѣ круга, иногда, при малыхъ радіусахъ, по параболѣ и синусоидѣ, а въ послѣднее время стали также разбивать ихъ, при малыхъ радіусахъ, по дугамъ круга со вставками кубической параболы.

382. О разбивкѣ прямыхъ линій. Въ главѣ VI уже указаны различные случаи провѣшиванія, или разбивки прямыхъ. Здѣсь скажемъ нѣсколько словъ о разбивкѣ длинныхъ прямыхъ линій, простирающихся на нѣсколько верстъ. Для такого рода разбивокъ употребляютъ теодолиты съ сильными трубами; такой теодолитъ устанавливается въ одной изъ конечныхъ точекъ длинной прямой, а въ другомъ концѣ устанавливаютъ вѣху такой толщины и высоты, чтобы она была видна въ трубу теодолита и казалась въ трубѣ немного толще вертикальнаго волоска трубы. Затѣмъ, направивъ теодолитъ на вѣху такъ, чтобы вертикальный волосокъ покрылъ изображеніе вѣхи, лимбъ и алидаду закрѣпляютъ и, въ точности, наводятъ волосокъ на вѣху микрометреннымъ винтомъ. Послѣ этого между поставленною вѣхою и теодолитомъ устанавливаютъ вѣхи, какъ объ этомъ сказано въ § 71-мъ.

Если точки, между которыми надо провѣшить или разбить линію, отстоятъ другъ отъ друга на такое разстояніе, что вѣха, поставленная въ одной изъ нихъ, не будетъ видна въ теодолитъ, то поступаютъ такъ: передъ вечеромъ посылаютъ въ одну изъ этихъ точекъ рабочаго разложить тамъ костеръ съ тѣмъ, чтобы, когда стемнѣетъ, онъ зажегъ этотъ костеръ. Наблюдатель у теодолита, увидѣвъ пламя, направляетъ трубу теодолита на него и закрѣпляетъ теодолитъ, и въ такомъ положеніи теодолитъ оставляется въ полѣ до утра другого дня. Утромъ посылаютъ поставить вѣху, по возможности, дальше отъ теодолита и насколько возможно ближе къ точкѣ, гдѣ былъ костеръ, настолько ближе, чтобы рабочій, снабженный биноклемъ, могъ видѣть сигналы, даваемые ему наблюдателемъ. Когда вѣха установлена такъ, что она покрывается волоскомъ трубы, то дальнѣйшее вѣшеніе совершается по правиламъ уже извѣстнымъ.

Закругленія разбиваются такъ, чтобы кривая въ мѣстахъ сопряженія съ прямою касалась къ этой послѣдней.

383. О разбивкѣ кривыхъ по касательнымъ и бисектрисамъ. Чтобы разбить кривую на землѣ, надо назначить начало, конецъ и середину кривой и еще рядъ точекъ, находящихся между сказанными тремя точками.



Черт. 473.

Пусть двѣ линіи BA и DA (черт. 473) пересѣкаются между собою подъ нѣкоторымъ угломъ A, требуется ихъ соединить дугою круга опредѣленнаго радіуса R, и притомъ такъ, чтобы эта кривая опредѣлялась тремя точками: началомъ, концомъ и серединою кривой. Предположимъ, что задача рѣшена и точки кривой B, L и D назначены. Посмотримъ, что надо знать, чтобы опредѣлить положеніе начала и конца кривой, т. е. точку B или D, и середину ея, т. е. L. Первыя двѣ точки опредѣляются по разстоянію ихъ отъ точки A по касательнымъ BA и DA, а середина кривой опредѣляется по разстоянію AL, считаемому по бисектрисѣ AC. Изъ чертежа видно, что вели-

чины эти опредѣлятся формулами, какія можно написать изъ отношеній сторонъ прямоугольнаго треугольника ABC, въ которомъ уголъ при B прямой, сторона BC равна заданному радіусу, а острый уголъ при C равенъ половинѣ угла, составленнаго двумя линіями BC и DC между собою. Уголъ же C равенъ $180 - A$. А такъ какъ уголъ A измѣренъ непосредственно, то C будетъ также уголъ извѣстный. Итакъ, изъ этого треугольника можемъ написать:

$$AB = AD = R\,tg\,\frac{C}{2}$$

$$AL = AC - R = \frac{R}{\cos\frac{C}{2}} - R.$$

Называя, для краткости, AB и AD буквою t, а AL буквою b, найдемъ вмѣсто предыдущихъ такія двѣ формулы:

$$t = R\,tg\,\frac{C}{2} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$b = R\left(\frac{1}{\cos\frac{C}{2}} - 1\right). \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Изъ этихъ формулъ видно, что если даны: вершина угла поворота двухъ линій, уголъ, составленный этими линіями, и радіусъ закругленія, то найдется уголъ C изъ формулы $C = 180° - A$, а затѣмъ величины t и b, и тѣмъ точнѣе будетъ измѣренъ уголъ A. Поэтому, измѣреніе угла A надо дѣлать хорошо вывѣреннымъ теодолитомъ, точность ноніуса котораго не менѣе 30 секундъ.

Вычисленными же величинами вполнѣ опредѣляется положеніе трехъ точекъ кривой, — начало, конецъ и середина ея.

Если въ точкѣ L, серединѣ кривой BLD, проведемъ касательную FG, то

$$BF = FL = LG = GD,$$

а если раздѣлимъ углы BFL и LGD пополамъ, то бисектрисы этихъ угловъ будутъ также равны между собою, и точки L_1 и L_2 будутъ серединами дугъ BL и LD.

Изъ чертежа 473 видно, что касательная FG, проведенная къ серединѣ кривой, образуетъ въ точкахъ F и G съ первоначальными касательными BA и DA углы равные $90° + \frac{A}{2}$, такъ какъ эти углы внѣшніе относительно треугольниковъ AFL и AGL. Углы централь-

ные, соотвѣтствующіе угламъ F и G, $\frac{C}{2}$, поэтому, на основаніи формулы (1), найдемъ величину касательныхъ FB, FL, GL и GD, которыя будутъ такими:

$$t_1 = R\,tg\,\frac{C}{4}; \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

по формулѣ 2-й найдемъ величины бисектрисъ F_1 и L_2, которыя будутъ такими:

$$b_1 = R\left(\frac{1}{cos\,\frac{C}{4}} - 1\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Зная величины t и b, для разбивки кривой въ полѣ, во 1-хъ, назначаютъ точки B и D, отмѣривая отъ точки A по провѣшеннымъ линіямъ AB и AD, длину t, а потомъ теодолитомъ, установленнымъ въ точкѣ A, дѣлятъ уголъ A пополамъ, провѣшиваютъ линію AK и по ней отмѣряютъ отъ точки A длину равную b, тогда получаютъ точку L, середину кривой.

Получивъ такимъ образомъ три точки кривой B, L и D, отмѣряютъ длину t_1 по провѣшеннымъ линіямъ BA и DA отъ точекъ B и D, слѣд. находятъ точки F и G; установивъ въ точкѣ F теодолитъ, оріентировавъ линію нулей горизонтальнаго лимба по линіи FB, алидаду поворачиваютъ на уголъ $90° + \frac{A}{2}$ и провѣшиваютъ FLG, линія эта должна пройти чрезъ точку L, середину кривой. Если этого не случится, то это укажетъ, что сдѣлана ошибка въ предшествовавшихъ измѣреніяхъ. Также разстоянія отъ L до F и G должны оказаться равными t_1. Наконецъ, уголъ F надо раздѣлить, при помощи теодолита, пополамъ и провѣшить линію FL_1 и на ней отъ точки F отложить длину b_1. То же самое надо сдѣлать и въ точкѣ G. Подобнымъ образомъ, можно разбить кривую 9 точками. Во всѣхъ точкахъ полученной кривой забиваютъ колышки.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда, вслѣдствіе какихъ-либо препятствій, уголъ при точкѣ A не можетъ быть отмѣренъ непосредственно, а измѣрены углы $BMN = M$ и $MND = N$, то уголъ A можетъ быть вычисленъ. Дѣйствительно, изъ треугольника AMN найдемъ:

$$A + 180 - M + 180 - N = 180,°$$

откуда

$$A = M + N - 180°.$$

Найдя A, получимъ:

$$C = 180^\circ - A, \text{ или } C = 360^\circ - (M + N).$$

По величинѣ C и радіусу R найдемъ по формуламъ (1) AB и AD, а зная величину AM и AN, измѣренныхъ непосредственно, найдемъ MB и ND, т. е. начало и конецъ кривой.

Подобнымъ образомъ можно вычислить величину угла F (черт. 474), если шли по ломаной $ABCDE$, и измѣрить углы B, C и D, тогда уголъ F опредѣлится изъ слѣдующей формулы:

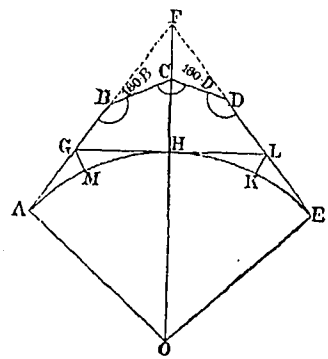
$$F + 180^\circ - B + 360^\circ - C + 180^\circ - D = 360^\circ,$$

откуда

$$F = B + C + D - 360^\circ.$$

Длина кривой можетъ быть вычислена, если извѣстны C и R или A и R. Дѣйствительно, такъ какъ дуги одного круга относятся между собою, какъ соотвѣтствующіе имъ центральные углы, то (черт. 475) можемъ написать:

$$\frac{BLD}{2\pi R} = \frac{\angle BCD}{360^\circ},$$



Черт. 474.

откуда

$$BLD = \frac{\pi R}{180^\circ} C = \frac{\pi R}{180^\circ} (180^\circ - A),$$

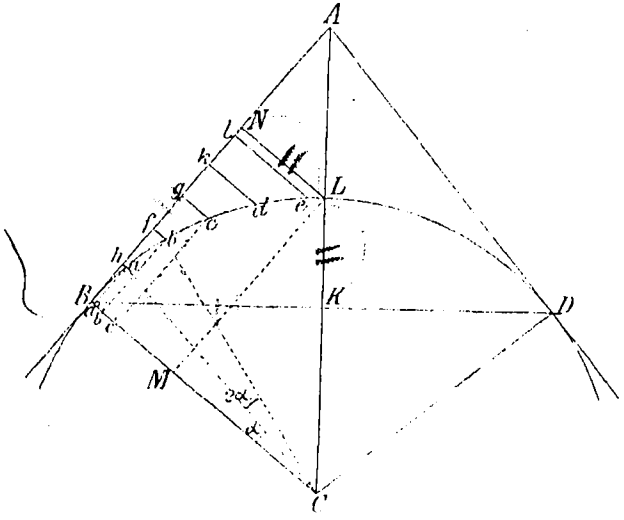
или приближенно:

$$BLD = 0{,}0174\, RC = 0{,}0174\, R\,(180^\circ - A) \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Дуга, вычисленная по этой формулѣ, выразится въ тѣхъ же единицахъ мѣры, въ какихъ выражено R, такъ какъ $(180^\circ - A)$ есть число отвлеченное. Если бы A выражалось не только градусами, но также минутами и секундами, то минуты и секунды надо выразить въ частяхъ градуса.

384. Разбивка закругленій по координатамъ. Когда найдены три точки кривой, — начало, конецъ и середина, то для болѣе подробной разбивки ея можно назначить еще точки a, b, c, d, e

(черт. 475), принадлежащія кривой, отстоящія другъ отъ друга на равныхъ разстояніяхъ, напр., на 5 или на 10 саженъ. Для этого опредѣляютъ координаты этихъ точекъ относительно двухъ осей. За ось абсциссъ берутъ касательную къ кривой, проходящую чрезъ ея начало и вершину угла, составленнаго двумя направленіями линій, между которыми надо разбить кривую. За ось ординатъ берутъ ра-



Черт. 475.

діусъ кривой перпендикулярный къ касательной. Изъ чертежа 475-го видно, что абсциссы точекъ a, b, c, d, e, равно-отстоящихъ другъ отъ друга, опредѣлятся такими формулами:

$$\left.\begin{aligned} Bh &= aa' = R\,sn\,\alpha \\ Bf &= bb' = R\,sn\,2\alpha \\ Bg &= cc' = R\,sn\,3\alpha \end{aligned}\right\} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

и т. д.,

а ординаты опредѣлятся такими формулами:

$$\left.\begin{aligned} ha &= Ba' = R - a'C = R - R\cos\alpha = R\,sn^2\frac{\alpha}{2} \\ bf &= Bb' = R - b'C = R - R\cos 2\alpha = R\,sn^2\frac{2\alpha}{2} \\ cg &= Bc' = R - c'C = R - R\cos 3\alpha = R\,sn^2\frac{3\alpha}{2} \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

Изъ этихъ формулъ видно, что координаты точекъ найдутся, если извѣстенъ радіусъ и уголъ, соотвѣтствующій дугѣ, заключенной между двумя смежными точками. При этомъ координаты выразятся въ тѣхъ же единицахъ, въ какихъ выраженъ радіусъ, такъ какъ синусы дугъ и ихъ квадраты величины отвлеченныя.

Уголъ же α опредѣлится, если извѣстна длина дуги и радіусъ. Назовемъ длину дуги, соотвѣтствующую углу α, буквой d, тогда можно написать:

$$\frac{d}{2\pi R} = \frac{\alpha}{360^\circ},$$

откуда

$$\alpha = \frac{180^\circ}{\pi} \cdot \frac{d}{R}$$

это выраженіе для α въ градусахъ, въ минутахъ же оно выразится такъ:

$$\alpha = \frac{180^\circ . 60}{\pi} \cdot \frac{d}{R}$$

или почти

$$\alpha = 3438 \frac{d}{R} \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

Такимъ образомъ, задавшись различными величинами для R и взявъ разстоянія между точками равными 5, 10, 15 и т. д. саженямъ, возможно вычислить координаты точекъ всякой кривой, независимо отъ угла, составляемаго линіями, между которыми желаютъ провести кривую. Чтобы не дѣлать вычисленій этихъ координатъ, для нихъ составлены таблицы, о чемъ сказано будетъ ниже.

Если AB и AD (черт. 475) касательныя линіи къ закругленію BLD, то координаты середины кривой, т. е. точки L, будутъ линіи NL и BN. Такъ какъ треугольники MLC и BKC равны между собою, какъ прямоугольные, имѣющіе равные гипотенузы и острые углы, то BK равна LM. Но LM, очевидно, равна BN. Слѣд., *абсцисса середины кривой равна полухордѣ*. Изъ тѣхъ же треугольниковъ видно, что $BM = KL$, но $BM = NL$, слѣд., $KL = NL$, т. е. *ордината середины кривой равна разстоянію отъ середины кривой до середины хорды*. Такимъ образомъ, если извѣстны координаты середины кривой, то извѣстны также полухорда и бисектриса кривой.

Разбивку закругленія въ полѣ начинаютъ съ того, что по данному радіусу и углу поворота находятъ начало, конецъ и середину кривой (§ 383) по касательнымъ и бисектрисамъ, на основаніи формулъ (1) и (2), затѣмъ по касательнымъ отмѣриваютъ абсциссы, вычисленныя по формуламъ (8) и (6), въ полученныхъ точкахъ возстанавливаютъ угломѣрнымъ инструментомъ перпендикуляры и на нихъ отмѣриваютъ ординаты, вычисленныя по формуламъ (7), въ концѣ этихъ ординатъ забиваютъ маленькіе колышки.

385. Удобства и неудобства разбивки кривыхъ по касательнымъ и координатамъ. При разбивкѣ кривыхъ по касательнымъ, ошибка въ опредѣленіи положенія одной точки вліяетъ на опредѣленіе послѣдующихъ точекъ; это представляетъ неудобство, но зато способъ этотъ удобенъ въ мѣстахъ тѣсныхъ, гдѣ нельзя возстановлять, напримѣръ, длинныхъ перпендикуляровъ. При разбивкѣ кривыхъ по координатамъ, положенія точекъ опредѣляются независимо другъ отъ друга, такъ что ошибка въ опредѣленіи одной точки не влечетъ за собою ошибокъ въ опредѣленіи послѣдующихъ точекъ, слѣд., и ошибки въ опредѣленіи каждой точки также независимы другъ отъ друга. Неудобство же этого способа заключается въ томъ, что, при большихъ радіусахъ, приходится возстанавливать слишкомъ длинные перпендикуляры, причемъ возможны значительныя ошибки, въ особенности, если для этой цѣли употреблять инструментъ грубый, какъ, напр., эккеръ съ діоптрами.

386. О таблицахъ, служащихъ для разбивки кривыхъ. Изъ вышеизложеннаго знаемъ, что для разбивки кривой опредѣленнаго радіуса между двумя линіями, составляющими между собою извѣстный уголъ, необходимо знать длину касательныхъ, или разстояній отъ вершины угла до начала и конца кривой, длину бисектрисы угла отъ вершины его до середины кривой, а также координаты точекъ кривой, отстоящихъ другъ отъ друга на опредѣленную длину, считаемую по дугѣ. Всѣ величины, необходимыя для такого рода разбивки кривыхъ, вычисляются по формуламъ (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) и (8). Для того, чтобы всякій разъ не дѣлать вычисленій, составлены многими авторами таблицы на основаніи вышеупомянутыхъ формулъ.

У насъ, въ Россіи, самыя употребительныя, какъ наиболѣе удоб-

ныя, таблицы Кренке хотя и онѣ имѣютъ нѣкоторыя недостатки, какъ увидимъ ниже.

387. Таблицы Кренке. Таблицы Кренке для разбивки кривыхъ дѣлятся на нѣсколько рубрикъ, именно: Таблица I содержитъ длины касательныхъ дугъ, полухордъ, координаты средней точки кривой и ея разстоянія отъ вершины угла.

Эти величины помѣщены подъ указанными заголовками для угловъ отъ 10 минутъ до 120° между двумя радіусами, идущими къ точкамъ касанія линій, соединяемыхъ закругленіемъ; при этомъ всѣ величины вычислены для угловъ, разнящихся другъ отъ друга на 10 минутъ. Если же данный уголъ съ минутами, непомѣщенными въ таблицѣ, или съ минутами и секундами, то величины длинъ находятся по интерполяціи между величинами, помѣщенными въ таблицахъ, что, конечно, представляетъ неудобство; лучше было бы имѣть таблицы съ аргументами отъ 30 до 30 секундъ, или по крайней мѣрѣ отъ минуты до минуты.

Всѣ величины, показанныя въ I-й таблицѣ, отвѣчаютъ радіусу равному 1000 единицамъ какой угодно мѣры. Чтобы получить эти величины для радіуса закругленія, даннаго въ опредѣленныхъ единицахъ мѣры, надо величины, взятыя изъ таблицы, умножить на величину даннаго радіуса и раздѣлить на 1000.

Въ приведенной ниже таблицѣ помѣщена часть страницы I-й таблицы Кренке стараго изданія, гдѣ аргументы взяты отъ двухъ до двухъ минутъ.

110°—115°.

Число минутъ въ углѣ. $C.$	Длина касательной $AB = AD.$	Длина кривой $ALD.$	Длина половины хорды, стягивающ. дугу крив., или дл. абсциссы средн. точки L кривой.	Длина ординаты средней точки $KL = LW.$	Длина бисектрисы $AL.$
0	1428.147	1919.862	819.152	426.423	734.447
2	1429.032	1920.444	819.319	426.661	744.172
4	1429.917	1921.026	819.486	426.899	744.897
6	1430.803	1921.608	819.652	427.138	745.623
8	1431.690	1922.189	819.819	427.376	746.350
10	1432.577	1922.771	819.986	427.615	747.078

Таблицы Кренке подъ № 2 заключаютъ абсциссы и ординаты точекъ для различныхъ радіусовъ, именно для 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 75, 80, 90, 100, 120, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700, 750, 800, 900, 1000, 1200, 1250, 1500, 2000, 2500, 3000 и т. д. чрезъ 1000 до 10000.

Приводимъ здѣсь таблицу для радіуса равнаго 200:

Длина кривой.	Абсцисса.	Ордината.	Длина кривой.	Абсцисса.	Ордината.
5	49.995	0.062	85	82.464	17.792
10	9.996	0.250	90	86.993	19.911
15	14.886	0.562	95	91.486	22.141
20	19.967	0.999	100	95.885	24.483
25	24.935	1.560	105	100.243	26.935
30	29.888	2.246	110	104.537	29.495
35	34.822	3.055	115	108.768	32.182
40	39.734	3.987	120	112.928	34.933
45	44.621	5.041	125	117.019	37.807
50	49.481	6.218	130	121.037	40.783
55	54.309	7.515	135	124.980	43.859
60	59.104	8.933	140	128.844	47.032
65	63.862	10.470	145	132.627	50.300
70	68.580	12.126	150	136.328	53.662
75	73.255	13.899	155	139.943	57.116
80	77.884	15.788	160	143.471	60.659

Для радіуса, равнаго 200, аргументы дугъ продолжаются до 205, для радіуса, равнаго 300, аргументы дугъ продолжаются до 310, для радіуса, равнаго 1500, аргументы дугъ продолжаются до 1550 и т. д.

Изъ этой таблицы видно, что для радіуса равнаго 200-мъ какимъ бы то ни было единицамъ, найдены въ тѣхъ же единицахъ координаты точекъ кривой, отстоящихъ другъ отъ друга на величину дуги, равную 5 такимъ же единицамъ. Такъ что, если радіусъ выраженъ въ саженяхъ, то и всѣ величины обѣихъ координатъ и кривыхъ, находящихся въ таблицѣ, также выражаются въ саженяхъ.

388. Примѣръ разбивки закругленій по первымъ двумъ таблицамъ Кренке. Въ 1-й таблицѣ Кренке всѣ величины даны для угла при центрѣ C, т. е. дополняющаго данный уголъ между линіями до 180° для радіуса, равнаго 1000 единицамъ. Слѣдовательно, для различныхъ величинъ угла C изъ таблицъ можно взять длины касательныхъ, всей кривой, полухорды, а слѣдовательно, и хорды этой кривой, координаты середины кривой относительно касательной и радіуса, перпендикулярнаго къ касательной, и, наконецъ, разстояніе середины кривой до вершины угла и до середины хорды.

Положимъ, что радіусъ закругленія 200 саженъ, а уголъ, составленный двумя линіями, равенъ 69° 54′ 40″, слѣдовательно, уголъ при центрѣ 110° 5′ 20″. Найдемъ сначала, каковы должны быть величины линій, названія которыхъ означены въ таблицѣ I-й предыдущаго параграфа, для угла равнаго 110° 5′ 20″. Обращаясь къ таблицѣ, беремъ два ряда цифръ, соотвѣтствующихъ 110° 4′ и 110° 6′, они таковы:

1429,917	1921,026	819,486	426,899	744,897
1430,803	1921,608	819,652	427,376	746,350

затѣмъ составляемъ послѣдовательно разности между этими рядами, онѣ будутъ таковы:

0,986 | 0,582 | 0,166 | 0,239 | 0,726.

Эти разности соотвѣтствуютъ 2 минутамъ, или 120 секундамъ, поэтому, чтобы найти ихъ для 80″, умножимъ ихъ на 80, раздѣлимъ на 120, или умножимъ на 2 и раздѣлимъ на 3, такимъ образомъ найдемъ величины разностей, отвѣчающія 5′ 20″, эти величины будутъ таковы:

0,657 | 0,388 | 0,111 | 0,159 | 0,484.

Всѣ эти разности надо прибавить соотвѣтственно къ числамъ, стоящимъ въ таблицахъ противъ 4 минутъ, и тогда найдемъ искомыя величины, соотвѣтствующія углу 110° 5′ 20″:

1430,574 | 1921,414 | 819,597 | 427,058 | 745,481.

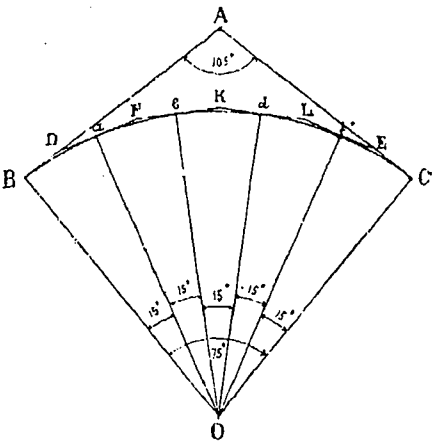
Радіусъ закругленія равенъ 200 саж., поэтому эти величины надо умножить на 200 и раздѣлить на 1000, или раздѣлить на 5. Такимъ образомъ, найдемъ:

286,1148 | 384,2828 | 163,9194 | 85,4116 | 149,0962.

Послѣ того, какъ сдѣланы эти вычисленія, приступаютъ собственно къ разбивкѣ кривой на мѣстѣ, для этого отъ вершины угла по направленію обѣихъ линій надо отмѣрить по 286,11 саженн, такимъ образомъ найдемъ начало и конецъ закругленія, точки эти надо отмѣтить колышками. Провѣшивъ между этими точками линію, надо ее измѣрить; отмѣривъ на ней 163,91 саженъ, найдемъ середину хорды; точку эту надо отмѣтить колышкомъ; если вся длина между точками касанія окажется равною 327,82, то точки касанія назначены вѣрно. Затѣмъ между серединою хорды и вершиною угла надо провѣшить линію и на ней отъ середины хорды отмѣрить 85,41 сажени, въ концѣ отмѣренной линіи забить колышекъ, найденная точка будетъ середина кривой; если отъ этой точки до вершины угла окажется 149,09 сажени, то середина кривой назначена вѣрно. Но чтобы еще болѣе убѣдиться въ вѣрности ея назначенія, надо отмѣрить отъ начала или конца кривой, по касательной по направленію къ вершинѣ угла, длину равную полухордѣ, т. е. 163,91 саж., изъ конца этой длины возстановить перпендикуляръ и измѣрить его, если середина кривой назначена вѣрно, то перпендикуляръ пройдетъ чрезъ нее, и длина его до середины кривой должна быть равной (85,41 сажени) ординатѣ средины кривой (§ 384).

Послѣ этого надо назначить промежуточныя точки этой кривой, отстоящія другъ отъ друга по кривой не болѣе 35 саженъ; обыкновенно же назначаютъ точки, отстоящія на 20 или на 10 и даже на 5 саженъ, смотря по радіусу закругленія,—чѣмъ больше радіусъ закругленія, тѣмъ на большемъ разстояніи другъ отъ друга можно брать точки кривой. Для назначенія этихъ точекъ на землѣ изъ таблицы № 2 въ томъ ея мѣстѣ, гдѣ означено $R = 200$, надо выписать соотвѣтствующія абсциссы и ординаты. Абсциссы надо начать отмѣрять отъ начала кривой по направленію касательной и изъ концовъ каждой изъ нихъ возставлять перпендикуляры, соотвѣтственно равные выписаннымъ ординатамъ. Разбивку надо вести отъ обоихъ концовъ кривой къ серединѣ. Такъ какъ длина кривой, въ нашемъ случаѣ, равна 384,28 саж., то половина дуги будетъ 192,28. Если точки кривой разбивались чрезъ 10 саженъ, то на каждой половинѣ кривой будетъ разбито 19 точекъ, и отъ 19-й точки до середины кривой должно оказаться 2,28 саж. Если по измѣреніи, дѣйствительно, это подтвердится, то всѣ точки назначены вѣрно.

Въ тѣсныхъ мѣстахъ можно разбивать кривую по касательнымъ иначе, назначая многоугольникъ, описанный около кривой. Пусть (черт. 475 *a*) уголъ поворота A равенъ 105°, тогда уголъ при центрѣ равенъ 75°, этотъ послѣдній раздѣлимъ, напримѣръ, на пять равныхъ частей. Для центральнаго угла въ 75° и даннаго радіуса по таблицамъ, найдемъ касательныя AB и AC, отмѣримъ въ полѣ отъ точки A по сторонамъ угла эти касательныя, найдемъ точки B и C; затѣмъ для угла центральнаго въ 15° и даннаго радіуса, изъ таблицъ, найдемъ касательную, пусть она будетъ равна BD, тогда отъ точки B по направленію къ A отмѣримъ эту длину, найдемъ точку D. Въ точкѣ D поставимъ теодолитъ, ориентируемъ линію нулей его лимба по DB, а линію нулей алидады повернемъ на уголъ BDa равный $180° - 15° = 165°$, провѣшимъ линію DF и по ней отмѣримъ длину равную двойной касательной BD, тогда точка a, находящаяся отъ D на разстояніи касательной BD, будетъ принадлежать дугѣ круга.



Черт. 475 *a*.

Поставивъ теодолитъ въ точкѣ F, отложивъ у ней уголъ DFK равный 165°, отмѣримъ вновь двойную касательную, найдемъ точки b и K. Такъ будемъ продолжать и далѣе, ставя теодолитъ въ точки K, L и E. Центральный уголъ можно раздѣлять при этомъ способѣ и не на равныя части. Способъ этотъ очень неточный, потому что приходится откладывать углы съ короткими линіями, а также и потому что послѣдующія опредѣленія точекъ зависимы отъ предыдущихъ, слѣдовательно, возможно накопленіе ошибокъ.

389. Опредѣленіе однѣхъ величинъ, находящихся въ таблицахъ Кренке, по другимъ. Въ первой таблицѣ Кренке имѣются величины радіуса (R), угла при центрѣ (C), касательной (t), биссектрисы (b). Поэтому, при помощи этихъ таблицъ, могутъ быть найдены нѣкоторыя изъ этихъ величинъ, если двѣ изъ нихъ извѣстны,

причемъ одною изъ извѣстныхъ долженъ быть радіусъ даннаго закругленія. Такъ, t найдется, если будутъ даны: R и A; R и b; точно такъ же b найдется, если будутъ даны: R и A; R и t. Уголъ A найдется, если будутъ даны: R и t; R и b.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ отношеніе $\frac{1000}{R}$ есть величина извѣстная. Помноживъ это отношеніе на одну изъ данныхъ величинъ, т. е. на t или b, полученное произведеніе надо искать въ соотвѣтственной графѣ таблицы, а если оно не заключается непосредственно въ таблицахъ, то, взявъ двѣ смежныя величины, большую и меньшую, надо найти искомую величину по интерполяціи.

Точно такъ же при помощи первой таблицы Кренке можетъ быть найденъ центральный уголъ, если извѣстна хорда кривой и радіусъ. Дѣйствительно, изъ чертежа 475-го видно, что полухорда BK равна синусу половины центральнаго угла, поэтому, умноживъ половину хорды на $\frac{1000}{R}$, найдемъ величину полухорды при радіусѣ 1000 и при центральномъ углѣ, равномъ центральному углу даннаго закругленія. Найдя въ таблицѣ I-й въ 4-й графѣ величину равную найденному произведенію, соотвѣтственно этой величинѣ, найдемъ центральный уголъ, а слѣдовательно, и уголъ поворота.

390. Формулы, выражающія зависимость между различными величинами, служащими для разбивки кривыхъ. При повѣркѣ закругленій очень часто приходится отыскивать тѣ или другія неизвѣстныя по тѣмъ или другимъ извѣстнымъ величинамъ; здѣсь собраны всѣ эти случаи.

1) Даны R и A требуется найти t. Изъ треугольника ABC (черт. 475) имѣемъ:

$$t = R\ cotg\ \frac{A}{2} = \frac{R}{tg\ \frac{A}{2}}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

2) Даны R и b, требуется найти t. Изъ треугольника ABC (черт. 475) имѣемъ:

$$t = \sqrt{(R+b)^2 - R^2} = \sqrt{b^2 + 2Rb} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

3) Даны A и b, требуется найти t. Изъ треугольника ABC (черт. 475) имѣемъ:

$$t = (R+b)\cos\frac{A}{2};$$

исключивъ отсюда R при помощи (1), найдемъ:

$$t = \left(t \cdot tg \frac{A}{2} + b\right) cos \frac{A}{2},$$

а рѣшая это уравненіе относительно t, получимъ:

$$t = b \frac{cos \frac{A}{2}}{1 - sin \frac{A}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

4) Даны R и A, найти b. Формула 2-ая § 384 даетъ, что нужно:

$$b = \frac{R}{sin \frac{A}{2}} - R. \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

5) Даны R и t, найти b, изъ треугольника ABC (черт. 475) найдемъ:

$$(b + R)^2 = t^2 + R^2,$$

откуда

$$b + R = \sqrt{t^2 + R^2},$$

или

$$b = \sqrt{t^2 + R^2} - R \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

плюсъ взятъ предъ корнемъ, потому что b не можетъ быть величиною отрицательною.

6) Даны t и A, найти b. Изъ формулы 11-й, непосредственно находимъ:

$$b = t \cdot \frac{1 - sin \frac{A}{2}}{cos \frac{A}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots (14)$$

7) Даны t и A, найти R. Изъ формулы 1-ой найдемъ:

$$R = t \cdot tg \frac{A}{2} \quad \ldots\ldots\ldots (15)$$

8) Даны b и A, найти R. Изъ формулы 12-ой найдемъ:

$$R = \frac{b}{\left(\frac{1}{sin \frac{A}{2}} - 1\right)} = \frac{b \, sin \frac{A}{2}}{1 - sin \frac{A}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots (16)$$

9) Даны t и b, найти R. Изъ треугольника ABC (черт. 475) имѣемъ:

$$(b + R)^2 = t^2 + R^2,$$

или

$$b^2 + 2bR + R^2 = t^2 + R^2,$$

или

$$b^2 + 2bR = t^2,$$

откуда

$$R = \frac{t^2 - b^2}{2b} \quad \ldots\ldots\ldots (17)$$

10) Даны R и t, найти A. Изъ формулы (1) найдемъ:

$$tg\,\frac{A}{2} = \frac{R}{t} \quad \ldots\ldots\ldots (18)$$

11) Даны t и b, найти A. Изъ формулы (11) имѣемъ:

$$\frac{cos\,\frac{A}{2}}{1 - sin\,\frac{A}{2}} = \frac{t}{b},$$

откуда

$$\frac{cos^2\,\frac{A}{2}}{\left(1 - sin\,\frac{A}{2}\right)^2} = \frac{t^2}{b^2},$$

или

$$\frac{1 - sin^2\,\frac{A}{2}}{\left(1 - sin\,\frac{A}{2}\right)^2} = \frac{1 + sin\,\frac{A}{2}}{1 - sin\,\frac{A}{2}} = \frac{t^2}{b^2}$$

рѣшая это уравненіе относительно $sin\,\frac{A}{2}$, найдемъ:

$$sin\,\frac{A}{2} = \frac{t^2 - b^2}{t^2 + b^2} \quad \ldots\ldots\ldots (19)$$

12) Даны R и b, найти A. Изъ формулы (16) найдемъ:

$$sin\,\frac{A}{2} = \frac{R}{R + b} \quad \ldots\ldots\ldots (20)$$

Когда вершина угла, составленнаго двумя линіями, между ко-

торыми требуется провести закругленіе, недоступна, то производятъ разбивку кривой при помощи двухъ вводныхъ угловъ.

Проведемъ линію (черт. 473) MN, длину которой будемъ называть, для краткости, буквою d, углы BMN и MNG будемъ называть M и N. Зная величины d, M, N и R, можно найти уголъ A и длины AM, AN, BM и DN.

13) Даны M и N, требуется найти A. Изъ чертежа видно, что

$$180° - M + 180° - N + A = 180°,$$

откуда

$$A = N + M - 180° \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (21)$$

Даны M, N и d, требуется найти AM. Изъ треугольника MAN имѣемъ:

$$\frac{AM}{d} = \frac{\sin(180 - N)}{\sin A},$$

откуда

$$AM = d \cdot \frac{\sin N}{\sin(N + M)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

15) Даны M, N и d, требуется найти AN. Точно такъ же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, найдемъ:

$$AN = d \cdot \frac{\sin M}{\sin(N + M)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (23)$$

16) Даны M, N, d и R, требуется найти BM. Изъ черт. 473 видно, что

$$BM = t - AM,$$

на основаніи же формулъ (22) и (1), написанное равенство можетъ быть преобразовано такъ:

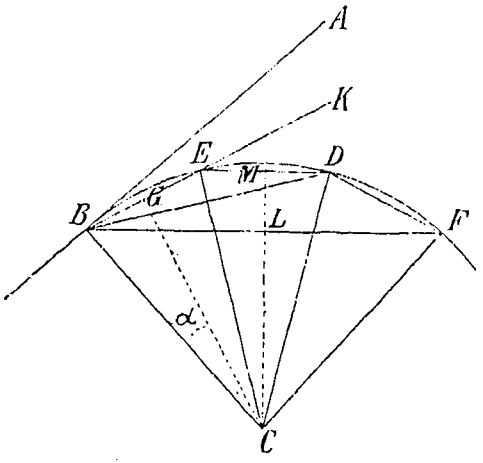
$$BM = R \operatorname{cotg} \frac{A}{2} - d \frac{\sin N}{\sin(N + M)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (24)$$

17) Даны M, N, d и R, требуется найти DN. Точно такъ же, какъ въ предыдущемъ случаѣ, найдемъ:

$$DN = R \operatorname{cotg} \frac{A}{2} - d \frac{\sin M}{\sin(N + M)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (25)$$

391. О разбивкѣ закругленій по хордамъ или по полярнымъ координатамъ. Кривая можетъ быть разбита не только по касатель-

нымъ и ординатамъ, но также и другими способами, напримѣръ, при помощи хордъ, стягивающихъ равныя дуги кривой. Величина хорды берется, большею частью, равною 10 саж. Если извѣстна величина хорды между точками кривой, отстоящими на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, и радіусъ этой кривой, то легко найти углы, составленные линіями, идущими отъ этихъ точекъ кривой къ точкѣ B, — касанія (черт. 476).



Черт. 476.

Назовемъ длину равныхъ хордъ BE, ED, DF буквою d, и соединимъ середину хорды O съ центромъ, тогда будемъ имѣть:

$$\frac{d}{2} = R \sin \alpha,$$

или

$$\sin \alpha = \frac{d}{2R} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (26)$$

Отсюда величина α найдется по таблицамъ логарифмовъ. Кромѣ того, изъ чертежа 476-го видно, что

$$\angle ABE = \alpha, \quad \angle ABD = 2\alpha, \quad ABF = 3\alpha \text{ и т. д.}$$

Такимъ образомъ, чтобы разбить кривую по хордамъ, надо, по данной хордѣ и радіусу, вычислить величину угла α (26), затѣмъ въ началѣ кривой поставить теодолитъ, оріентировать его по линіи BA и повернуть алидаду на уголъ α и закрѣпить ее. Одинъ рабочій долженъ держать одинъ конецъ цѣпи въ точкѣ B, а другой долженъ перемѣщаться съ другимъ концомъ цѣпи до тѣхъ поръ, пока съемщикъ не увидитъ, что вертикальный волосокъ трубы покрываетъ цѣпной колъ; найденная такимъ образомъ точка (E) будетъ принадлежать кривой. Въ этомъ мѣстѣ забиваютъ колышекъ. Передній рабочій вытягиваетъ цѣпь впередъ, а задній, дойдя до точки E, укрѣпляетъ цѣпной колъ у колышка или просто удерживаетъ конецъ цѣпи у этого колышка, съемщикъ поворачиваетъ алидаду такъ, чтобы нуль ноніуса показы-

валъ уголъ 2α, закрѣпивъ ее зажимательнымъ винтомъ, даетъ сигналы переднему рабочему перемѣщаться до тѣхъ поръ, пока вертикальный волосокъ не покроетъ цѣпного кола; найденная такимъ образомъ точка (D) у цѣпного кола будетъ принадлежать кривой. Точка эта отмѣчается колышкомъ съ номеромъ точки. Точно также, чтобы найти третью точку, задній рабочій переходитъ во 2-ю точку E, съемщикъ направляетъ алидаду подъ угломъ равнымъ 3α и даетъ сигналы переднему рабочему перемѣщаться до тѣхъ поръ, пока вертикальный волосокъ не покроетъ нижнюю часть цѣпного кола, и тогда получится 3-я точка (D).

Если бы мѣстность, гдѣ надо разбить кривую, оказалась настолько тѣсною, что провѣшить линію EK, даже на короткомъ разстояніи, было бы трудно, то надо перейти съ теодолитомъ изъ точки B въ точку E, оріентировавъ здѣсь линію нулей лимба по EK и закрѣпивъ лимбъ, алидаду надо было бы повернуть на уголъ 2α, чтобы вертикальный волосокъ трубы могъ покрыть точку D, такъ какъ уголъ KED равенъ углу MCC, составленному перпендикулярами къ сторонамъ угла KED.

Способъ разбивки кривыхъ по хордамъ хорошъ тѣмъ, что даетъ возможность разбивать кривую въ тѣсныхъ мѣстахъ. Неудобство же его заключается въ томъ, что ошибка въ опредѣленіи положенія каждой точки вліяетъ на опредѣленіе послѣдующихъ точекъ.

392. Таблицы для разбивки кривыхъ по хордамъ. Выше мы видѣли, что уголъ, на который надо поворачивать алидаду теодолита, опредѣляется формулою:

$$\sin \alpha = \frac{d}{2R},$$

гдѣ d есть хорда, а R радіусъ закругленія. Поэтому, въ какихъ бы единицахъ ни были выражены d и R, результатъ, получаемый для α, зависитъ лишь отъ числовой величины d и R и нисколько не зависитъ ни отъ названія единицы мѣры, ни отъ угла между данными линіями.

Поэтому можно составить таблицы для радіусовъ, численная величина которыхъ, напримѣръ, простирается отъ 50 до 1000.

Помѣщаемъ здѣсь одну страницу изъ такихъ таблицъ, въ ней для опредѣленнаго радіуса въ первой графѣ помѣщены длины хордъ,

во 2-й графѣ градусы, минуты и секунды угла α, при этомъ секунды выражаются съ точностью до 0,1.

$$R = 220.$$

d	$\angle\alpha$			d	$\angle\alpha$			d	$\angle\alpha$		
	°	′	″		°	′	″		°	′	″
0,1	0	0	46,9	5	0	39	4,1	45	5	51	36,9
0,2	0	1	33,4	6	0	46	52,9	50	6	30	40,9
0,3	0	2	20,7	7	0	54	41,7	55	7	9	45,0
0,4	0	3	7,5	8	1	2	30,6	60	7	48	49,1
0,5	0	3	54,4	9	1	10	19,4	65	8	27	53,2
0,6	0	4	41,3	10	1	18	8,2	70	9	6	57,3
0,7	0	5	28,2	15	1	57	12,3	75	9	46	1,4
0,8	0	6	15,1	20	2	36	16,4	80	10	25	5,5
0,9	0	7	2,0	25	3	15	20,5	85	11	4	9,6
1	0	7	48,8	30	3	54	24,6	90	11	43	13,7
2	0	15	37,6	35	4	33	28,7	95	12	22	14,8
3	0	23	26,4	40	5	12	32,8	100	13	1	21,8
4	0	31	15,3								

Изъ этой таблицы можно получать для радіуса, равнаго 220 единицамъ мѣры, величину угла α, какова бы ни была хорда. Напримѣръ, если бы длина хорды была 17,6, то изъ таблицы беремъ величины для 15, для 2 и для 0,6 и выписываемыя величины складываемъ:

для 15 — 1° 57′ 12″ 3
„ 2 — 0° 15′ 37″ 6
„ 0,6 — 0° 4′ 41″ 3

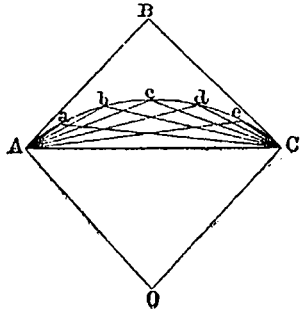
для 17,6 — 2° 17′ 31″ 2

393. О разбивкѣ закругленій по равнымъ угламъ. Всѣ точки, принадлежащія дугѣ *AabcdeC* (черт. 477) закругленія, обладаютъ тѣмъ свойствомъ, что углы, имѣющіе свои вершины на этой кривой,

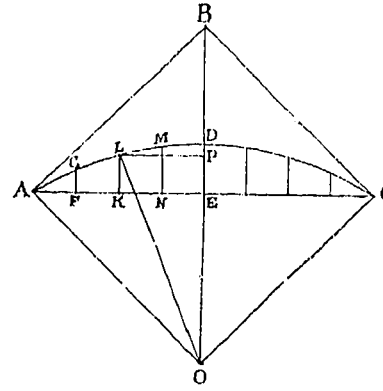
равны между собою, какъ измѣряющіеся половиною дуги, стягиваемой хордою, или такимъ угломъ:

$$\frac{360° - AOC}{2} = 180° - \frac{AOC}{2}.$$

Отсюда вытекаетъ и способъ разбивки кривой по угламъ: измѣривъ уголъ поворота B (черт. 477), вычисляютъ уголъ AOC, изъ таблицъ находятъ длины касательныхъ BA и BC, отмѣриваютъ ихъ отъ точки B, въ точкахъ A и C ставятъ вѣхи. Затѣмъ лицо, производящее разбивку кривой, беретъ вывѣренный секстантъ или кругъ Пистора, переводитъ алидаду такъ, чтобы нуль ноніуса давалъ показаніе угла, равнаго $180° - \frac{AOC}{2}$, становится между точками A и C и ищетъ такія мѣста, съ которыхъ вѣхи A и C казались бы



Черт. 477.



Черт. 478.

въ трубу секстанта покрывающими другъ друга. Найдя одно такое мѣсто, отмѣчаетъ его колышкомъ; такимъ образомъ можно найти точки a, b, c, d и e (черт. 447).

Вмѣсто секстанта лучше употреблять курвиграфъ или дезенсекстантъ (§ 270). Ставъ съ этимъ инструментомъ въ точкѣ A, надо измѣрить уголъ, дополняющій до 180° уголъ BAC, закрѣпить зеркала и затѣмъ искать точки a, b, c и т. д. (черт. 477).

394. О разбивкѣ закругленій по координатамъ отъ хорды. Когда найдена длина касательной и отложена на земной поверхности отъ точки B (черт. 478), т. е. когда найдены точки A и C, — начало и конецъ закругленія, тогда положеніе точекъ G, L, M можетъ

быть найдено по координатамъ отъ хорды AC; въ этомъ случаѣ начало координатъ берутъ въ серединѣ хорды въ точкѣ E, абсциссы откладываютъ по направленію хорды, отъ середины ея въ обѣ стороны, а ординаты по перпендикулярамъ, возстановленнымъ къ хордѣ. Вообразимъ, что изъ точки L (черт. 478) опущенъ перпендикуляръ на радіусъ OD, тогда

$$LP = KE \quad \text{и} \quad LK = PE \ .$$

Теперь найдемъ формулу для ординаты точки L, или для длины LK, равной PE.

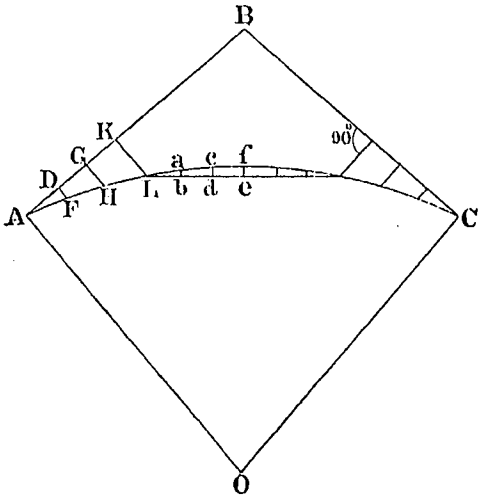
Величина PE опредѣлится изъ чертежа такъ:

$$PE = PO - EO,$$

или

$$LK = \sqrt{R^2 - EK^2} - \sqrt{R^2 - EA^2} \ . \quad . \quad . \quad . \quad (27)$$

Слѣдовательно, по формулѣ 27-й можетъ быть найдена ордината точки L по данной ея абсциссѣ KE. Формула 27-я даетъ возможность составить таблицы для разбивки закругленій по координатамъ отъ хорды.



Черт. 479.

395. О разбивкѣ закругленій по координатамъ отъ касательной и отъ хорды. Чтобы не возстановлять длинныхъ ординатъ отъ касательныхъ, можно сдѣлать разбивку кривой по координатамъ отъ касательныхъ, начиная разбивку съ начала и конца кривой (черт. 479), а затѣмъ среднюю часть кривой разбить отъ хорды.

396. Употребленіе различныхъ способовъ разбивки закругленій. Самый простой и точный способъ разбивки кривыхъ, это—при помощи курвиграфа, или аркографа, но въ гористой мѣстности его не всегда можно употре-

блять. Въ такихъ мѣстахъ, а также въ засѣянныхъ поляхъ и лугахъ, чтобы не мять посѣвовъ въ значительной мѣрѣ, лучше употреблять способъ хордъ или способъ касательныхъ и бесектрисъ, или, наконецъ, способъ координатъ отъ касательныхъ и отъ хорды.

397. Существенный недостатокъ закругленій по дугѣ круга для желѣзныхъ дорогъ. При движеніи всякаго тѣла по кривой развивается центробѣжная сила, пропорціональная квадрату скорости и обратно пропорціональная радіусу кривой. То же самое, конечно, происходитъ и при движеніи поѣзда по желѣзной дорогѣ.

Такъ какъ центробѣжная сила обратно пропорціональна радіусу, то, когда радіусъ сдѣлается равнымъ безконечности, т. е. когда кривая перейдетъ въ прямую, центробѣжная сила сразу обращается въ нуль. Такъ какъ сила, прежде чѣмъ обратиться въ нуль, должна израсходоваться постепенно, то это израсходованіе и обнаруживается вреднымъ ударомъ колесъ о путь, а при движеніи по желѣзной дорогѣ,—колесъ поѣзда о рельсы. Эти вредные удары разстраиваютъ путь и, слѣдовательно, могутъ сдѣлать движеніе по желѣзной дорогѣ небезопаснымъ. Поэтому стремятся дѣлать закругленія, по возможности, большихъ радіусовъ, для того чтобы центробѣжная сила была почти равна нулю. Если же топографическія условія мѣстности не допускаютъ большихъ радіусовъ, то стремятся дѣлать закругленія по такимъ кривымъ, при которыхъ радіусъ прямой, равный безконечности, переходилъ бы въ величину радіуса дуги круга постепенно, начиная отъ большихъ величинъ. Чтобы достигнуть этого, въ началѣ и концѣ кривой дѣлаютъ вставки кривыхъ, обладающихъ указаннымъ свойствомъ. Къ числу такихъ *переходныхъ* кривыхъ принадлежитъ *кубическая парабола*.

398. Закругленія со вставками кубической параболы. Чтобы поѣздъ не могъ сойти съ рельсовъ, вслѣдствіе развивающейся центробѣжной силы, наружный рельсъ возвышаютъ надъ внутреннимъ, настолько, чтобы равнодѣйствующая изъ центробѣжной силы и вѣса поѣзда была перпендикулярна къ плоскости полотна.

Но въ точкѣ перехода прямой въ кривую, возвышеніе сразу сдѣлать нельзя, поэтому возвышеніе дѣлаютъ постепенно, придавая рельсу, отъ начала кривой до полнаго возвышенія, уклонъ, напримѣръ, въ $\frac{1}{500}$ и не менѣе $\frac{1}{1000}$, т. е. на протяженіи первыхъ 5 или 10 саженъ кривой, наружный рельсъ возвышается постепенно, пока это возвышеніе не дойдетъ до величины h. Изъ этого видно, что воз-

вышеніе рельса, составляя всегда малую часть разстоянія s отъ начала кривой до точки, гдѣ возвышеніе будетъ наибольшее, можетъ быть считаемо такимъ:

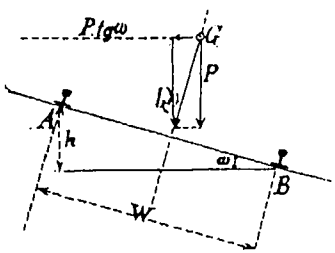
$$h = \frac{s}{1000} \text{ или } \frac{s}{500}$$

и, слѣдовательно, вообще:

$$h = \frac{s}{n}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

гдѣ n знаменатель дроби, выражающей уклонъ въ началѣ переходной кривой.

Положимъ, что G (черт. 480) есть центръ тяжести поѣзда, вѣсъ его P. Если h — возвышеніе одного рельса надъ другимъ — возьмемъ такой величины, чтобы равнодѣйствующая вѣса P и центробѣжной силы была перпендикулярна къ плоскости полотна AB, то необходимо, чтобы центробѣжная сила равнялась $P\,tg\,\omega$, съ другой стороны, центробѣжная сила выражается, какъ извѣстно изъ механики, такъ: $\frac{P}{g\rho}\,v^2$, гдѣ g ускореніе силы тяжести, ρ радіусъ закругленія, v скорость въ секунду. Слѣдовательно, можно написать такую формулу:



Черт. 480.

$$P\,tg\,\omega = \frac{P}{g\rho}\,v^2,$$

или

$$tg\,\omega = \frac{v^2}{g\rho}.$$

Но изъ чертежа 480-го видно, что $sin\,\omega = \frac{h}{w}$, гдѣ w ширина между рельсами. Но такъ какъ ω уголъ малый, то можно положить $sin\,\omega = tg\,\omega$ и, слѣдовательно, написать такую формулу:

$$\frac{v^2}{g\rho} = \frac{h}{w}, \text{ откуда } h = \frac{w}{g\rho}\,v^2 \quad \ldots\ldots (2)$$

Для большинства русскихъ желѣзныхъ дорогъ ширина между рельсами равна 0,714 сажени. Принимая g равнымъ 32,2 фута, или 4,6 сажени, найдемъ, что $\frac{w}{g} = 0{,}155$, и, слѣдовательно, вмѣсто формулы (2) можно написать:

$$h = 0{,}155\,\frac{v^2}{\rho}.$$

Если назовемъ наибольшую скорость въ часъ буквою v_1, то v скорость въ одну секунду, выраженная въ саженяхъ, будетъ такова:

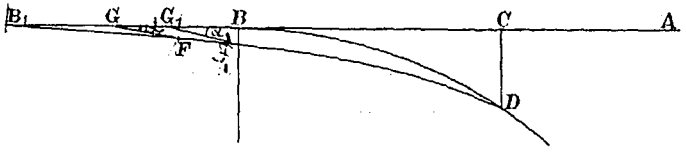
$$v = \frac{500 . v_1}{60 . 60} = \frac{5v_1}{36}, \text{ а потому } h = 0{,}155 \left(\frac{5}{36}\right)^2 \frac{v_1^2}{\rho} = 0{,}003 \frac{v_1^2}{\rho}.$$

Обозначимъ величину $0{,}003 v_1^2$ буквою k, тогда:

$$h = \frac{k}{\rho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

величина k для данной кривой есть величина постоянная, зависящая отъ наибольшей скорости поѣзда въ верстахъ, въ одинъ часъ.

Посмотримъ теперь, какова же должна быть кривая на этомъ протяженіи, чтобы она удовлетворяла двумъ требованіямъ: посте-



Черт. 481.

пенно повышаться по высотѣ, достигая предѣльнаго повышенія h, и имѣть различные радіусы, начиная отъ безконечности до какой-либо конечной величины радіуса. Положимъ, что эта кривая (черт. 481), обладающая указанными свойствами, начинается въ точкѣ B_1 и оканчивается въ точкѣ D; далѣе же отъ точки D идетъ закругленіе по дугѣ круга даннаго радіуса R. Возьмемъ на кривой B_1D точку F, находящуюся отъ начала кривой B_1 на разстояніи величины s. Примемъ начало координатъ въ точкѣ B_1, линію B_1A за ось абсцисъ, а за ось y-овъ возьмемъ линію перпендикулярную къ BA. Если найдемъ зависимость между координатами произвольной точки F, то тѣмъ самымъ найдемъ уравненіе кривой B_1FD. Назовемъ перемѣнный радіусъ кривизны этой кривой буквою ρ и проведемъ въ точкѣ F кривой касательную FG, составляющую съ осью x-овъ уголъ α, равный также углу, составляемому радіусомъ кривизны точки F съ осью y-овъ.

Если возьмемъ на кривой точку смежную съ точкою F, то разстояніе для новой точки отъ начала координатъ увеличится на ds, а уголъ α увеличится на $d\alpha$, и уголъ смежности выразится такъ:

$$d\alpha = \frac{ds}{\rho} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Возвышеніе внѣшняго рельса въ точкѣ F должно быть, съ одной стороны, равно $\frac{k}{\rho}$, а съ другой, оно должно составлять нѣкоторую часть кривой отъ ея начала до точки F, такимъ образомъ, изъ (1) и (3) имѣемъ равенство:

$$\frac{k}{\rho} = \frac{s}{n}, \quad \text{откуда:} \quad \rho = \frac{k\,n}{s};$$

внося это выраженіе въ (4), найдемъ:

$$d\alpha = \frac{s\,ds}{k\,n}.$$

Интегрируя это уравненіе частнымъ образомъ, получаемъ:

$$\alpha = \frac{s^2}{2k\,n}.$$

Такъ какъ кривая B_1D почти совпадаетъ съ линіею B_1A, то въ приближеніи можно положить, что $s = x$, и $\alpha = tg\,\alpha$. Такъ какъ тангенсъ угла, составленнаго касательною къ кривой съ осью x-овъ, равенъ $\frac{dy}{dx}$, то будемъ имѣть:

$$\alpha = \frac{dy}{dx}, \quad \text{и также} \quad \alpha = \frac{x^2}{2k\,n},$$

слѣдовательно,

$$\frac{dy}{dx} = \frac{x^2}{2k\,n} \quad \ldots \ldots \quad (5)$$

Интегрируя же это уравненіе, находимъ:

$$y = \frac{x^3}{6k\,n} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (6)$$

Такимъ образомъ, мы нашли уравненіе, связывающее координаты любой точки кривой, поэтому (6) это есть уравненіе кривой B_1FD, и изъ формы этого уравненія видно, что кривая эта кубическая парабола.

Посмотримъ теперь, какъ выразится радіусъ кривизны этой кривой. Вообще, для всякой плоской кривой, радіусъ кривизны выражается такою формулою:

$$\rho = \frac{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad (7)$$

Продифференцировавъ равенство (5) и внеся въ формулу (7) равныя вмѣсто равныхъ, найдемъ:

$$\rho = \frac{\left[1 + \frac{x^4}{4k^2 n^2}\right]^{3/2}}{\frac{x}{k n}}, \text{ или } \rho = \frac{[4k^2 n^2 + x^4]^{3/2}}{8k^3 n^3 x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Изъ этого выраженія видно, что, при x равномъ нулю, радіусъ кривизны равенъ безконечности, т. е. кривая такова, что въ началѣ ея, въ точкѣ B_1, радіусъ кривизны равенъ безконечности. Посмотримъ теперь, для какой величины x радіусъ кривизны обратится въ R, т. е. въ радіусъ дуги круга. Для этого надо въ послѣднюю формулу вмѣсто ρ поставить R, а вмѣсто x абсциссу B_1C точки D, которую будемъ обозначать буквою x_0, и рѣшить уравненіе (8) относительно x_0, тогда получимъ:

$$R = \frac{[4k^2 n^2 + x_0^4]^{3/2}}{8k^3 n^3 x_0}.$$

Такъ какъ n^2 число очень большое, то x^4_0, сравнительно съ $4k^2 n^2$, величина малая, откидывая ее, найдемъ приближенно:

$$R = \frac{(2k n)^3}{8k^3 n^3 x_0} = \frac{8k^3 n^3}{8k^3 n^3 x_0}.$$

откуда:

$$x_0 = \frac{k n}{R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

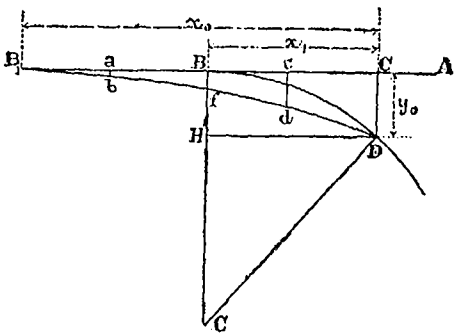
Подставивъ это выраженіе въ формулу (6), найдемъ:

$$y_0 = \frac{k^3 n^3}{6k n R^3} = \frac{k^2 n^2}{6R^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Формулы (10) и (9) служатъ для опредѣленія абсциссы и ординаты точки кривой, въ которой начинается дуга круга и кончается дуга параболы, или абсциссы и ординаты точки перехода изъ параболы въ дугу круга, причемъ n и k будутъ зависѣть отъ скорости и уклона переходной кривой.

Такимъ образомъ, всегда можно найти ординату и абсциссу точки кривой, отъ которой она можетъ быть разбита, какъ дуга круга опредѣленнаго радіуса.

399. Производство разбивки закругленія со вставкою кубической параболы. Если надо разбить кривую со вставками кубической параболы, то можно предложить такой способъ: сначала разбить кривую по дугѣ круга (черт. 482), найдя изъ таблицъ для даннаго радіуса касательную, биссектрису, ординаты и абсциссы промежуточныхъ точекъ, отмѣрить всѣ эти величины на соотвѣтственныхъ мѣстахъ. Когда такимъ образомъ кривая BD разбита, надо вычислить x_0 и y_0 для даннаго n, данной наибольшей скорости поѣзда и радіуса кривой, т. е. ординату и абсциссу точки (D) перехода дуги круга въ кубическую параболу по формуламъ 10-й и 9-й предыдущаго параграфа. Затѣмъ по найденному y_0, равному CD, надо вычислить абсциссу x_1, равную HD, для дуги круга, разбитой отъ B; какъ видно изъ чертежа, она опредѣляется такою формулою:



Черт. 482.

$$x_1 = HD = \sqrt{R^2 - (R - y_0)^2} = \sqrt{2Ry_0 - y_0^2}. \quad (11)$$

Найдя такимъ образомъ x_1, надо эту величину отмѣрить отъ точки B къ C, изъ точки C возставить къ BA перпендикуляръ CD, равный y_0, тогда найдется точка перехода параболы въ дугу круга. Затѣмъ надо отъ полученной точки C отмѣрить въ обратную сторону длину, равную x_0, вычисленную по формулѣ (9). Полученная точка B_1 будетъ началомъ переходной кривой. Теперь остается только отъ точки B_1 до точки D разбить кубическую параболу.

Такъ какъ кривая B_1bfdD (черт. 482), вообще говоря, малой величины, то достаточно опредѣлить ординаты для двухъ абсциссъ кубической параболы, по формулѣ 6-й, давая k и n значенія соотвѣтственныя заданію, относительно скорости поѣзда и уклона рельса, задаваясь абсциссами черезъ сажень, напр., взявъ абсциссу B_1c, вычислимъ ординату cd. Такую же разбивку переходной кривой надо сдѣлать и въ концѣ кривой.

Изъ вычисленій для кривыхъ различныхъ радіусовъ и различныхъ скоростей поѣзда оказывается, что величина Bf почти равна $^1/_8$ ординаты $CD = y_0$, а B_1B почти равна BC. Поэтому очень часто разбивку производятъ такъ: назначивъ кривую по дугѣ круга и вычисливъ величины x_0, y_0 по формуламъ 9-й и 10-й, берутъ половину x_0 и откладываютъ по касательной отъ точки B въ обѣ стороны равныя величины $\frac{x_0}{2}$, а отъ точки B по перпендикуляру къ касательной откладываютъ $^1/_8$ часть y_0. Полученную точку f считаютъ принадлежащею кубической параболѣ.

Кривая, разбитая по изложенному, въ этомъ параграфѣ, способу, не имѣетъ общей касательной къ кубической параболѣ и къ дугѣ круга въ точкѣ перехода одной кривой въ другую. Вслѣдствіе этого въ точкѣ D, при движеніи поѣзда, образуется толчокъ, но толчокъ значительно меньшій, чѣмъ образующійся въ началѣ и концѣ кривой, разбитой по дугѣ круга безъ вставки кубической параболы. А потому, чтобы не было перелома, а слѣдовательно, чтобы не было и толчка, надо употреблять другіе способы разбивки переходной кривой.

Кривая не будетъ имѣть перелома въ точкѣ D, въ томъ случаѣ, если касательныя въ этой точкѣ къ дугѣ круга и къ кубической параболѣ сливаются между собою, что возможно при равенствѣ тангенсовъ угловъ, составленныхъ съ осью x-овъ касательными къ этимъ кривымъ въ общей точкѣ. Тангенсъ угла, составленнаго съ осью x-овъ касательною къ переходной кривой въ точкѣ D, на основаніи формулы (5) предыдущаго параграфа, равенъ $\frac{x_0^2}{2kn}$. Уголъ, составленный съ осью x-овъ касательною въ точкѣ D къ дугѣ круга, равенъ углу при центрѣ, потому что углы эти образованы линіями другъ къ другу перпендикулярными, тангенсъ же центральнаго угла, какъ видно изъ чертежа 482-го, равенъ отношенію $\frac{DH}{CH}$ или $\frac{x_1}{R-y_0}$. Итакъ, для того чтобы въ точкѣ D не было перелома, необходимо должно имѣть мѣсто такое уравненіе:

$$\frac{x_0^2}{2kn} = \frac{x_1}{R-y_0}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Присоединивъ къ этому уравненію еще (9), (10) и (11), т. е.

$$x_0 = \frac{kn}{R},\ y_0 = \frac{k^2n^2}{6R^3} \text{ и } x_1 = \sqrt{2Ry_0 - y_0^2},$$

и исключивъ изъ этихъ четырехъ уравненій x_0, y_0 и x_1, получимъ:

$$n^4 - \frac{8R^4}{k^2} n^2 - \frac{12R^3}{k^3} = 0.$$

Рѣшивъ это уравненіе относительно n и ограничиваясь положительными и вещественными значеніями n, найдемъ:

$$n = \frac{R^2}{k} \sqrt{4 + \sqrt{28}},$$

или приближенно:

$$n = \frac{3R^2}{k}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

а потому

$$x_0 = 3R, \; y_0 = \frac{3}{2} R, \quad x_1 = R \sqrt{\frac{3}{4}} = 0{,}86\, R.$$

Вотъ каковы должны быть n, x_0, y_0 и x_1 для того, чтобы было возможно общее касаніе дуги круга и кубической параболы, разбитой по изложенному выше способу.

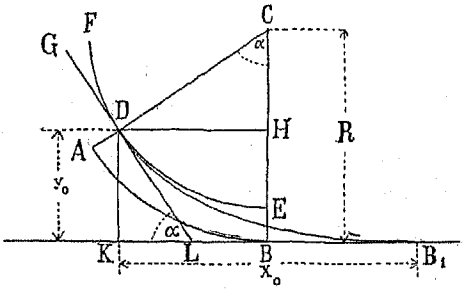
Но достигая, такимъ образомъ, касанія дуги круга и кубической параболы, мы встрѣчаемся съ неудобствами слѣдующаго рода. Такъ какъ $y_0 = \frac{3}{2} R$, то точка перехода кубической параболы въ дугу круга должна находиться во второй четверти окружности, у точки, соотвѣтствующей 120 градусамъ, считая отъ начала дуги круга, что можетъ оказаться неудобнымъ при малой длинѣ кривой, и, кромѣ того, при этомъ невозможно вставить переходной кривой съ двухъ концовъ дуги круга. Число n, знаменатель дроби, выражающей уклонъ, числитель которой равенъ единицѣ, вычисленный по формулѣ (13), даже при малыхъ R, получается значительно большимъ, чѣмъ 1000 (§ 398), слѣдовательно, уклонъ въ началѣ переходной кривой будетъ очень малымъ, точно также и возвышеніе рельса вблизи начала переходной кривой будетъ очень малымъ, благодаря чему центробѣжная сила поѣзда можетъ оказаться неуравновѣшенной такимъ малымъ возвышеніемъ рельса.

Все это приводитъ къ заключенію, что при $n < \frac{3R^2}{k}$ въ точкѣ перехода кубической параболы въ дугу круга всегда будетъ толчекъ, а при $n = \frac{3R^2}{k}$ получается кубическая парабола, касающаяся *съ внутренней стороны дуги круга*, но съ существенными неудобствами.

Посмотримъ, нельзя ли избѣжать указанныхъ неудобствъ въ томъ

случаѣ, если переходная кривая касается круга *съ наружной* его стороны.

Положимъ (черт. 483), разбито закругленіе по дугѣ круга BA радіуса R, а также разбита отъ той же прямой переходная кривая, имѣющая общую касательную въ точкѣ D съ дугою круга, радіуса меньшаго, чѣмъ R. Означимъ этотъ радіусъ буквою r и найдемъ для него выраженіе въ функціи R.



Черт. 483.

Для того чтобы переходная кривая и дуга круга радіуса r имѣли общую касательную въ точкѣ D, необходимо должно быть равенство тангенсовъ угловъ, составленныхъ касательною съ осью x-овъ, а слѣдовательно, должно имѣть мѣсто такое уравненіе (черт. 483):

$$\frac{x_0^2}{2kn} = \frac{\sqrt{r^2-(R-y_0)^2}}{R-y_0},$$

откуда:

$$r^2 = (R-y_0)^2\left(1+\frac{x_0^4}{4k^2n^2}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

На основаніи формулъ (9) и (10), въ разсматриваемомъ случаѣ будемъ имѣть:

$$x_0 = \frac{kn}{r} \text{ и } y_0 = \frac{k^2n^2}{6r^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Внеся (15) въ (14), найдемъ:

$$r^2 = \left(R-\frac{k^2n^2}{6r^3}\right)^2\left(1+\frac{k^2n^2}{4r^4}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

уравненіе 12-й степени относительно r. Чтобы упростить его рѣшеніе, найдемъ приближенное значеніе r, для какой цѣли въ правую часть (16) подставимъ R вмѣсто r, ввиду малой разности между ними, и тогда найдемъ:

$$r^2 = \left(R-\frac{k^2n^2}{6R^3}\right)^2\left(1+\frac{k^2n^2}{4R^4}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Обыкновенно же r вычисляютъ по формулѣ: $r = R - \frac{y_0}{4}$.

Если положимъ $R = 100$ саж., $v_1 = 40$ верстамъ, $n = 500$, то r, вычисленное по формулѣ (17), будетъ равно 99,7 сажени.

Найдя r по формулѣ (17), вычислимъ x_0 и y_0 по формуламъ (15), а также x_1 по формулѣ: $x_1 = \sqrt{r^2 - (R - y_0)^2}$. Послѣ этого разбивку переходной кривой можно сдѣлать такъ же, какъ это описано выше, въ случаѣ кубической параболы, примыкающей къ дугѣ круга съ внутренней его стороны (черт. 482).

Первый способъ разбивки можно употреблять для построенныхъ уже дорогъ, при этомъ приходится мириться съ толчкомъ въ точкѣ перехода. Второй способъ употребляютъ на вновь строющихся дорогахъ при разбивкѣ кривыхъ малаго радіуса.

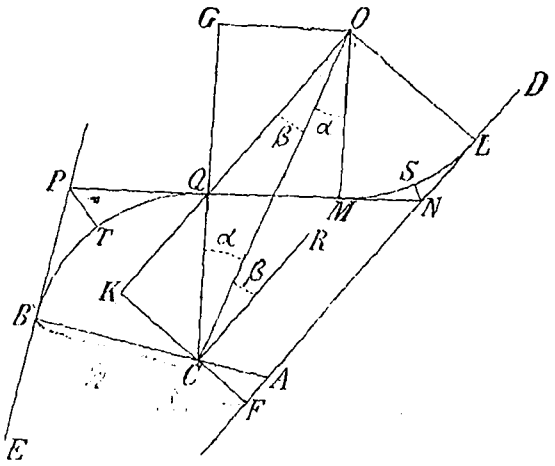
Когда же радіусы болѣе 500 саженъ, то кубической параболы разбивать не стоитъ, такъ какъ практическое значеніе переходной кривой при такихъ радіусахъ теряется.

400. Выводъ формулъ, служащихъ для разбивки закругленія съ прямою вставкою между двумя непараллельными направленіями. Въ тѣсныхъ мѣстахъ, а также для обхода различныхъ препятствій часто соединяютъ двѣ линіи извилиною, состоящею изъ двухъ дугъ. Но чтобы центробѣжная сила поѣзда не моментально переходила изъ положительной въ отрицательную между двумя кривыми, имѣющими выпуклости въ разныя стороны, разбиваютъ между кривыми еще прямую вставку, касательную къ обѣимъ кривымъ. Пусть даны два направленія BE и AD (черт. 484), и требуется отъ данной точки B перейти на линію AD извилиною при помощи двухъ дугъ круга, обращенныхъ въ разныя стороны съ прямою вставкою между дугами, причемъ вставка должна быть касательною къ обѣимъ дугамъ. Радіусы кривыхъ могутъ быть или одинаковые, или различные, будемъ ихъ называть R и R_1, а длину прямой вставки между дугами будемъ означать буквою a. разстояніе же AB назовемъ буквою m.

Положимъ, задача рѣшена, т. е. что закругленіе, начавшись въ точкѣ B (черт. 484), идетъ до Q, въ которой кривая касается прямой вставки QM, а другой конецъ этой вставки касается 2-й кривой у точки M. Центры кривыхъ, очевидно, должны находиться на

пересѣченіи перпендикуляровъ къ касательнымъ въ точкахъ касанія кривыхъ, т. е. въ точкахъ C и O. Касательныя BP и PQ должны быть равны между собою, точно также MN должна быть равна NL.

Такъ какъ CQ и OM перпендикулярны къ QM, то, если отложить на продолженіи радіуса CQ отъ Q до G радіусъ 2-й кривой и соединить G съ O, линія GO будетъ равна QM, т. е. прямой вставкѣ d, такъ какъ линіи, заключенныя между параллельными и равными, равны между собою. Но изъ этого мы видимъ, что разстояніе между центрами обоихъ круговъ извилины есть не что иное, какъ гипотенуза треугольника, одинъ изъ катетовъ котораго равенъ суммѣ радіусовъ, а другой равенъ прямой вставкѣ, т. е. разстояніе между центрами дугъ извилины выражается такою формулою:



Черт. 484.

$$l = \sqrt{(R + R_1)^2 + d^2} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

при радіусахъ разной величины, при радіусахъ же равныхъ, это разстояніе выражается такъ:

$$l_1 = \sqrt{4R^2 + d^2} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Послѣ этого легко показать, какъ надо рѣшить задачу на чертежѣ.

Въ начальной точкѣ B надо возставить перпендикуляръ BA къ линіи EB и отложить по перпендикуляру BA отъ точки B радіусъ R до точки C. Точка C будетъ, слѣдовательно, центромъ дуги, начинающейся у B; изъ точки C провести линію FK, равную радіусу R_1 и перпендикулярную къ AD, изъ точки K провести ли-

нію KO параллельную AD, изъ C радіусомъ равнымъ длинѣ l, вычисленной по выше написанной (1) формулѣ, засѣчь линію KO въ точкѣ O; тогда O будетъ центромъ 2-й кривой, во 1-хъ, потому что точка O будетъ отстоять отъ C на разстояніе, на которомъ эти точки должны дѣйствительно находиться другъ отъ друга, и, во 2-хъ, потому что перпендикуляръ, опущенный изъ центра O на прямую AD, будетъ равенъ OL или KF, отложенному равнымъ радіусу 2-й кривой. Затѣмъ надо соединить точки C и O прямою OC и на ней, какъ на гипотенузѣ, построить прямоугольный треугольникъ OCG такъ, чтобы OG равнялась d. На катетѣ CG отложить отъ C радіусъ R_1 до точки Q, а изъ O провести OM параллельную GC и равную R_1, тогда, очевидно, точка Q будетъ концомъ перваго закругленія, точка M началомъ 2-го закругленія, а QM, равная GO, будетъ прямою вставкою равною длинѣ d. Продолженіе прямой вставки до данныхъ линій дастъ точки P и N. Линіи PQ и BP должны быть касательными къ дугѣ BTQ, поэтому $PQ = PB$, точно также $NM = NL$.

Послѣ этого графическаго рѣшенія задачи, ясно, въ чемъ должно заключаться аналитическое рѣшеніе, если дана начальная точка B, измѣренъ уголъ BAD и даны радіусы закругленій и длина прямой ставки.

Во первыхъ, надо найти длину касательныхъ $BP = PQ$ и $MN = NL$, бисектрисъ $P\mathfrak{Q}$ и NS, а для этого надо знать величины угловъ: BPQ или BCQ и LNM или MOL. Но изъ чертежа 484-го видно, что

$$BCQ = BAD - (\alpha + \beta) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

и

$$LOM = 90^\circ - (\alpha + \beta). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Итакъ, касательныя найдутся, если будутъ извѣстны α и β, эти же послѣднія опредѣлятся такими формулами:

$$tang\ \alpha = \frac{GO}{GC} = \frac{d}{R + R_1}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$sin\ \beta = \frac{KC}{OC} = \frac{KF - CF}{l} = \frac{R_1 - CA\ sin\ A}{l}$$

или

$$sin\ \beta = \frac{R_1 - (BA - R)\ sin\ A}{l} = \frac{R_1 - (m - R)\ sin\ A}{\sqrt{(R + R_1)^2 + d^2}}. \quad . \quad . \quad (6)$$

Если оба радіуса равны между собою, то α и β найдутся по такимъ формуламъ:

$$tang\ \alpha = \frac{d}{2R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

$$sin\ \beta = \frac{R - (m - R)\ sin\ A}{\sqrt{4R^2 + d^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

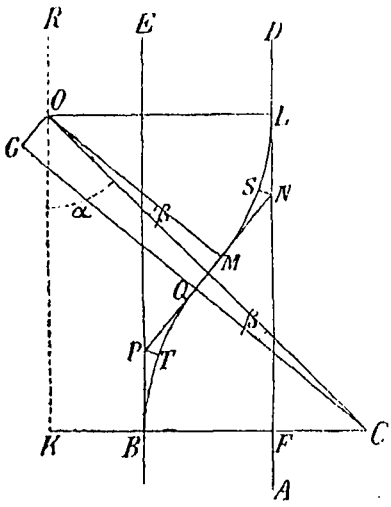
Изъ этого видимъ, что α и β опредѣлятся по извѣстнымъ величинамъ d, R, m и углу A.

401. Производство разбивки закругленія съ прямою вставкою между двумя направленіями параллельными другъ къ другу. Такимъ образомъ, послѣ теоретическихъ разсмотрѣній, можно дать правило разбивки закругленія съ прямою вставкою между двумя направленіями по данному радіусу (R) закругленія и длинѣ прямой вставки (d), начиная отъ данной точки B (черт. 484). Для этого первѣе всего необходимо, по формуламъ (3), (4), (5) и (6), опредѣлить величину угловъ. Затѣмъ изъ таблицъ опредѣлить, по даннымъ R и угламъ BCQ и MOL, длину касательныхъ PB, PQ, NM и NL, а также длину бисектрисъ PK и NS. Отмѣривъ отъ данной точки B касательную BP, точку P надо обозначить колышкомъ, въ этой точкѣ поставить теодолитъ, оріентировавъ линію нулей его лимба по линіи BE, алидаду повернуть на уголъ $BPQ = 180° - BCQ$ и провѣшить линію $PQMN$, провѣшить также линію PT и назначить на ней точку T, т. е. отмѣрить бисектрису PT. На провѣшенной линіи $PQMN$ отмѣрить послѣдовательно длины PQ, d и MN. Тогда точка N должна оказаться на линіи AD, и уголъ MND въ натурѣ долженъ быть равенъ углу $180° - LOM$. Эти два обстоятельства указываютъ на вѣрность какъ вычисленій, такъ и разбивки на мѣстѣ точекъ P, Q, M и N. И обратно, если бы точка N не оказалась на линіи AL или уголъ MND въ натурѣ оказался бы неравнымъ вычисленному углу, то вычисленія или разбивку надо было бы признать невѣрными и вновь повѣрить.

Убѣдившись окончательно, что точка N назначена вѣрно, надо отмѣрить отъ точки N по линіи ND касательную NL и разбить

бисектрису NS. Когда, такимъ образомъ, по три точки обѣихъ кривыхъ назначены, дальнѣйшая разбивка кривыхъ совершается по одному изъ тѣхъ способовъ, которые указаны въ предыдущихъ параграфахъ этой главы.

402. Выводъ формулъ для разбивки закругленія съ прямою вставкою между двумя параллельными направленіями. Даны два направленія параллельныхъ между собою, отстоящихъ другъ отъ друга на длину k, и требуется соединить эти два направленія извилиною съ прямою вставкою, равною длинѣ d, касательною къ обѣимъ кривымъ, причемъ радіусы обоихъ закругленій могутъ быть либо одинаковыми, либо различными. Предположимъ, попрежнему, что задача рѣшена, извилина построена и она проходитъ чрезъ точки B, T, Q, M, S и L (черт. 485). B начало первой кривой, T ея середина, Q конецъ первой кривой, QM прямая вставка, касательная къ обѣимъ кривымъ, M начало 2-й кривой, S ея середина и L ея конецъ. O и C центры дугъ, радіусъ CB перпендикуляренъ къ BE, радіусы CQ и OM перпендикулярны къ PN и радіусъ OL перпендикуляренъ къ AD.



Черт. 485.

Если изъ O проведемъ линію OG, равную и параллельную QM, то, соединивъ точки G и C, получимъ прямоугольный треугольникъ OGC, въ которомъ одинъ катетъ OG равенъ прямой вставкѣ d, а другой катетъ равенъ суммѣ двухъ радіусовъ. Дѣйствительно, GQ и OM перпендикулярны къ NP, слѣдовательно, параллельны между собою; GQ перпендикулярна къ GO и QM, поэтому равна OM или R, вмѣстѣ съ тѣмъ GQ служитъ продолженіемъ линіи CQ или R. Изъ этого должны заключить, что разстояніе между центрами круговъ, въ случаѣ неравныхъ радіусовъ, выражается такою величиною:

$$l = \sqrt{(R + R_1)^2 + d^2}, \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

а въ случаѣ одинаковыхъ радіусовъ, такою:

$$l = \sqrt{4R^2 + d^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Послѣ этого ясно видно, какъ надо рѣшать задачу на чертежѣ. Изъ начальной точки B надо возставить перпендикуляръ къ линіи BE и отложить на немъ радіусъ R до точки, положимъ, C, отъ точки F, пересѣченія этого радіуса или его продолженія съ направленіемъ AD въ сторону BE, отложить длину FK, равную радіусу R, изъ точки K провести линію, параллельную направленіямъ BE и AD, изъ точки C радіусомъ, равнымъ вычисленной длинѣ l (2), засѣчь линію KR въ точкѣ O, точка эта будетъ центромъ второй кривой. Опустивъ изъ него на линію AD перпендикуляръ, найдемъ точку L, конецъ 2-й кривой. Затѣмъ на линіи OC, какъ на гипотенузѣ, надо построить прямоугольный треугольникъ, у котораго одинъ катетъ OG былъ бы равенъ d, а другой GC равенъ суммѣ радіусовъ. Отложивъ затѣмъ отъ вершины прямого угла по катету GC величину равную R, найдемъ точку Q, конецъ 1-й кривой, а проведя изъ O линію OM, равную и параллельную GQ, найдемъ точку M—начало 2-й кривой. Такимъ образомъ, четыре точки извилины будутъ найдены.

Теперь ясно, въ чемъ должно заключаться аналитическое рѣшеніе задачи, если дана начальная точка B. разстояніе отъ нея до второго направленія равное k, длина прямой вставки d и радіусы закругленій R и R_1.

Во-первыхъ, надо найти длины касательныхъ $BP = PQ$, $MN = NL$ и бисектрисъ TP, NS, а для этого надо знать величину угловъ BPQ и LNM, или ихъ дополненій до 180°, т. е. угловъ центральныхъ BCQ и MOL. Изъ чертежа видно, что

$$MOL = BCQ = 90^\circ - (\alpha + \beta) \quad \ldots\ldots\ldots (3)$$

Углы α и β легко опредѣлятся изъ треугольниковъ OCK и OGC, именно:

$$\sin\alpha = \frac{KC}{OC} = \frac{2R-k}{l}$$

$$\sin\beta = \frac{OG}{OC} = \frac{d}{l}.$$

Найдя такимъ образомъ α и β, будемъ знать углы BCQ и MOL по формулѣ (3), а потому разбивка закругленія двумя кругами съ прямою вставкою между двумя параллельными направленіями не представитъ уже затрудненія, и ее надо вести въ такомъ же порядкѣ, какъ это изложено въ предыдущемъ параграфѣ.

Глава XL.

ОБЪ ИЗСЛѢДОВАНІИ РѢКЪ, КАКЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ.

403. Цѣль изслѣдованія рѣкъ. Когда говорятъ о рѣкѣ, какъ о естественномъ судоходномъ пути, то первѣе всего обращаютъ вниманіе на глубины по фарватеру этого пути: малыя глубины служатъ препятствіемъ судоходству, меньшимъ препятствіемъ считаются: значительная извилистость фарватера, большая скорость движенія воды, зависящая отъ паденія, или разности высотъ горизонтовъ воды въ рѣкѣ. Поэтому, при изслѣдованіи воднаго пути, геодезическая работа должна заключаться въ съемкѣ на планъ ложа рѣки, въ промѣрѣ глубинъ ея, или въ опредѣленіи рельефа ея ложа, въ нивеллировкѣ горизонта воды на всемъ протяженіи и въ опредѣленіи скоростей въ разныхъ мѣстахъ рѣки. Такъ какъ промѣръ глубинъ рѣки не можетъ быть выполненъ въ короткій срокъ, впродолженіи котораго горизонтъ воды оставался бы постояннымъ, напротивъ того, горизонтъ воды въ рѣкѣ то повышается, то понижается, поэтому необходимо знать, какъ же измѣняется онъ въ разныя времена и въ разныхъ мѣстахъ рѣки, слѣдовательно, для изслѣдованія рѣки, необходимы наблюденія за каждодневнымъ измѣненіемъ горизонта ея въ различныхъ мѣстахъ. Зная измѣненія воды въ нѣкоторыхъ мѣстахъ рѣки, имѣя нивеллировку между этими мѣстами, можно опредѣлить, съ достаточною точностью, прибыль или убыль воды въ каждомъ мѣстѣ, находящемся между постами, на которыхъ производятся наблюденія за убылью и прибылью воды; говоримъ, съ достаточною точностью, потому что на прибыль воды вліяетъ также ширина рѣки,— чѣмъ шире рѣка, тѣмъ прибыль воды разливается слоемъ меньшей толщины; чѣмъ рѣка уже, тѣмъ прибыль воды въ этомъ мѣстѣ больше, поэтому, при изслѣдованіи рѣки, необходимо измѣрять ши-

рины въ разныхъ ея мѣстахъ, т. е. сдѣлать съемку урѣзовъ воды. На высоту подъема воды въ рѣкѣ вліяетъ, конечно, также и ширина ея весенняго разлива, а потому вотъ одна изъ причинъ, почему, при изслѣдованіи рѣки, слѣдуетъ имѣть данныя о ширинѣ разлива. Различнаго рода измѣненія въ ложѣ рѣки происходятъ очень часто не только отъ того или другого плана ея, болѣе или менѣе извилистаго, но также и отъ рельефа ея поймы, ея разлива, поэтому, при изслѣдованіи какой-либо рѣки, какъ пути сообщенія, необходимо имѣть нивеллировку разлива.

На измѣненіе ложа рѣки вліяетъ также большее или меньшее количество наносовъ, влекомыхъ ею. На большую или меньшую опасность при судоходствѣ можетъ вліять грунтъ ложа рѣки и ея береговъ. Слѣдовательно, свѣдѣнія эти необходимы при проектированіи улучшеній воднаго пути. При проектированіи необходимо также имѣть свѣдѣнія: о количествѣ воды, протекающей въ рѣкѣ въ весеннее и лѣтнее, или меженнее, время, а также о высотѣ и продолжительности ледохода. Отъ количества воды, протекающей въ рѣкѣ, зависитъ многоводье ея или мелководье. Количество же воды, протекающей въ рѣкѣ, зависитъ отъ количества осадковъ, выпадающихъ въ бассейнѣ рѣки, и отъ площади бассейна. Такимъ образомъ, является необходимость въ метеорологическихъ наблюденіяхъ и въ изслѣдованіи бассейна рѣки.

Очевидно, что все то, чѣмъ можетъ характеризоваться рѣка, какъ путь сообщенія, также должно быть снято; напримѣръ, въ тѣхъ частяхъ воднаго пути, гдѣ совершается бичевая тяга, долженъ быть снятъ планъ и бичевникъ; должны быть сняты пристани, затоны, служащіе для зимовки судовъ; должны быть сняты всѣ предметы, могущіе такъ или иначе служить для цѣлей судоходства.

Вотъ, слѣдовательно, тѣ элементы, изъ которыхъ должна сложиться всякая работа, направленная къ изслѣдованію рѣки, съ цѣлью выясненія всѣхъ ея гидрологическихъ свойствъ и всѣхъ условій ея, какъ пути сообщенія, а потому, говоря кратко, при изслѣдованіи рѣкъ имѣютъ въ виду ознакомленіе съ современнымъ естественнымъ состояніемъ ихъ, съ препятствіями и неудобствами, представляемыми рѣками судоходству, а на основаніи всего этого имѣется въ виду, во 1-хъ, указать, какія мѣры, необходимо было бы предпринять для возможнаго улучшенія сообразно потребностямъ и развитію судо-

ходства; во 2-хъ, имѣть возможность въ будущемъ сравнивать видъ рѣки въ разные періоды и изучать всѣ происходящіе въ рѣкѣ измѣненія; въ 3-хъ, собрать подробныя, техническія данныя для составленія проектовъ улучшенія отдѣльныхъ мѣстъ, какъ-то: перекатовъ, пристаней, затоновъ и проч.; въ 4-хъ, получить всѣ техническія данныя, необходимыя для составленія проекта общаго улучшенія рѣки.

404. Полевыя работы. Для изслѣдованія рѣкъ въ техническомъ отношеніи исполняются слѣдующія полевыя работы: съемка прибрежья рѣки и ея русла, нивеллировки, продольная и поперечная, промѣры русла для опредѣленія формы русла рѣки и затопляемыхъ весенними водами береговъ, опредѣленіе общаго уклона рѣки и уклоновъ частныхъ на плесахъ (прямыхъ и глубокихъ частей рѣкъ), перекатахъ (мелкихъ мѣстахъ), порогахъ, переборахъ; собираются гидрометрическія данныя: о колебаніи горизонтовъ, о прохожденіи паводковъ, о количествѣ протекающей въ рѣкѣ воды впродолженіи какъ отдѣльныхъ періодовъ, такъ и цѣлаго года; дѣлаются наблюденія надъ весенними водами и изучаются ихъ вліянія на образованіе перекатовъ, косъ, острововъ, подмывовъ береговъ и другихъ измѣненій.

Съемка рѣки, а также промѣры и нивеллировка рѣчныхъ уклоновъ производятся при состояніи воды, подходящемъ, по возможности, ближе къ судоходной межени, т. е. во время лѣта. На рѣкахъ съ большими весенними паводками работы эти начинаютъ не ранѣе того времени, когда весеннія воды доходятъ до высоты, встрѣчающейся въ лѣтнее время, и, во всякомъ случаѣ, когда онѣ не болѣе одной сажени надъ обычнымъ низкимъ горизонтомъ, такъ какъ, при болѣе высокой водѣ, полевыя съемочныя работы производить затруднительно. При всѣхъ полевыхъ работахъ, а также при всѣхъ вычисленіяхъ ведутся журналы по соотвѣтствующимъ формамъ.

405. О водомѣрныхъ постахъ. Лѣтній горизонтъ рѣки не представляетъ собою горизонта постояннаго, онъ мѣняется и часто въ довольно короткіе промежутки времени. Для разныхъ мѣстъ рѣки онъ повышается или понижается также различно, смотря потому, какія мѣста сравниваются. Такъ, напр., если взять два мѣста, расположенныя хотя и близко относительно другъ друга, но одно въ широкомъ мѣстѣ русла, другое въ узкомъ, то прибыль воды возрастаетъ не одинаково для обоихъ мѣстъ; для узкаго она растетъ быстрѣе, нежели для широкаго, и обратно — спадъ воды для узкаго мѣста

совершится медленнѣе, нежели для широкаго. Подобнымъ образомъ, какъ сказано выше, горизонтъ весенних̀ъ или высокихъ водъ въ данномъ мѣстѣ зависитъ отъ ширины долины; чѣмъ шире долина, тѣмъ высокія воды ниже, и наоборотъ.

Чѣмъ дальше одно мѣсто отъ другого на рѣкѣ, тѣмъ и измѣненія горизонта ниже лежащаго мѣста дѣлаются болѣе независимыми отъ измѣненія горизонта въ мѣстѣ, лежащемъ выше. Въ то время, какъ въ одномъ мѣстѣ падаетъ вода, въ другомъ она повышается.

Что касается *измѣненій горизонта по времени*, то измѣненія здѣсь еще разнообразнѣе. Такъ, весною горизонтъ значительно возвышается надъ горизонтомъ лѣтнимъ. Но и во время лѣта бываютъ болѣе или менѣе значительныя колебанія горизонта. Затѣмъ въ разные годы онъ также различенъ для разныхъ мѣстъ рѣки. Такъ, напр., въ одни года въ низовьяхъ рѣки весеннія воды болѣе высокія, въ верховьяхъ онѣ низкія, тогда какъ въ другіе года явленіе оказывается обратнымъ. Всѣ эти разнообразныя измѣненія, между прочимъ, зависятъ отъ притоковъ, впадающихъ въ главную рѣку. Чѣмъ больше притоковъ и больше въ нихъ прибыль, зависящая отъ количества атмосферныхъ осадковъ въ видѣ снѣга и дождя, выпадающихъ въ ихъ бассейнѣ, тѣмъ больше прибыль въ главной рѣкѣ.

Паденіемъ рѣки называется разность горизонтовъ какихъ-либо вухъ мѣстъ одного берега рѣки.

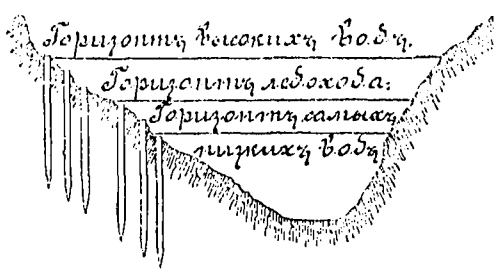
Частное отъ раздѣленія паденія на разстояніе между точками относительно которыхъ взято паденіе рѣки, называется уклономъ рѣки по тому же берегу и въ данномъ мѣстѣ, такъ какъ паденіе не во всѣхъ частяхъ рѣки одинаково. Паденіе и уклонъ могутъ быть или одинаковые на обоихъ берегахъ, или различные; въ этомъ послѣднемъ случаѣ для паденія и уклона рѣки надо взять среднія изъ паденій и уклоновъ обоихъ береговъ.

Изъ всего этого видно, что если найдемъ нивеллированіемъ разность горизонтовъ двухъ мѣстъ рѣки, то полученное паденіе будетъ относиться къ тому дню или днямъ, въ которые производилась нивеллировка, во всякое другое время паденіе и уклонъ рѣки, говоря вообще, будутъ болѣе или менѣе отличаться отъ найденныхъ величинъ. Поэтому, чтобы имѣть возможность опредѣлить паденіе и уклонъ рѣки для всякаго времени, необходимо имѣть еще наблюденія надъ измѣненіемъ горизонта воды во всѣхъ такихъ мѣстахъ, гдѣ этотъ

горизонтъ измѣняется не одинаково, т. е. въ широкихъ и узкихъ мѣстахъ русла рѣки, въ широкихъ и узкихъ мѣстахъ долины рѣки, предъ впаденіемъ въ рѣку притока и ниже этого впаденія.

Мѣста, гдѣ производятся наблюденія за измѣненіемъ горизонтовъ рѣкъ, называются *водомѣрными постами*. Въ Россіи такіе водомѣрные посты находятся въ завѣдываніи министерства путей сообщенія. Для громаднаго протяженія русскихъ рѣкъ, въ числѣ которыхъ судоходныхъ и сплавныхъ считается болѣе 70 тыс. верстъ, имѣется всего около 400 водомѣрныхъ постовъ. Свѣдѣнія, даваемыя такимъ небольшимъ числомъ постовъ, могутъ служить лишь для опредѣленія каждодневнаго паденія рѣкъ на значительныхъ разстояніяхъ.

Посты эти бываютъ двухъ родовъ: или рѣечные, или свайные. Рѣечные посты устраиваются на какихъ-либо постоянныхъ сооруженіяхъ, какъ-то на устояхъ и быкахъ мостовъ, а также въ мѣстахъ, гдѣ высокія воды бываютъ невеликн. Въ этихъ мѣстахъ прибиваютъ рейку, въ двѣ или три сажени, къ сваямъ, забитымъ въ дно рѣки. Рейки дѣлятся на сотыя части сажени. Нуль рейки долженъ быть такъ поставленъ, чтобы онъ былъ всегда покрытъ водою, даже при самомъ низкомъ горизонтѣ, или ниже нуля должны быть поставлены также дѣленія.



Черт. 486.

Свайные посты устраиваются слѣдующимъ образомъ: на одномъ берегу рѣки (черт. 486) забиваютъ рядъ свай по направленію одной линіи, нормальной къ теченію рѣки. Стараются дать сваямъ такую высоту, чтобы разность горизонтовъ между верхушками ихъ была равна, напр., $^1/_2$ сажени. Для этой цѣли верхушки свай спиливаютъ соотвѣтственнымъ образомъ и обшиваютъ ихъ желѣзными колпаками для предохраненія отъ размочаливанія. На колпакахъ всѣхъ свай дѣлаются надписи нумеровъ свай по порядку отъ нижней сваи, красною масляною краскою. Благодаря этому, при высотѣ воды не болѣе $^1/_2$ сажени надъ сваей, наблюдатель, находясь въ лодкѣ, легко можетъ различить номеръ сваи. Самая нижняя свая называется *нулемъ* водомѣрнаго поста.

Для защиты свай отъ ледохода и плывущихъ судовъ или плотовъ, могущихъ срѣзать или сдвинуть съ мѣста сваи, предъ ними ставятся ледорѣзы или забиваются на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга такія-же сваи вокругъ каждой водомѣрной сваи.

Какъ реечные, такъ и свайные посты связываются точной нивеллировкой съ какими-либо реперами на берегу рѣки, такъ, напр., съ цоколями каменныхъ построекъ (церквей, домовъ) или съ марками, прибитыми или высѣченными на этихъ постройкахъ. Связь эта производится для того, чтобы можно было возстановить постъ, если на немъ произойдетъ какое-нибудь поврежденіе свай.

Въ Россіи наблюденія за уровнемъ воды начали получать полную организацію и систему только съ 1876 года. Съ этого времени, вниманіе было обращено преимущественно на такое распредѣленіе водомѣрныхъ постовъ, чтобы, по производимымъ на нихъ наблюденіямъ, было вполнѣ возможно знать колебанія горизонтовъ въ частяхъ рѣки различнаго характера.

Водомѣрные посты, находящіеся въ вѣдѣніи министерства путей сообщенія, раздѣляются на посты I и II разрядовъ.

На постахъ I разряда наблюденія производятся круглый годъ три раза въ день, а именно: съ 1-го апрѣля по 1-е октября въ 7 час. утра, въ 1 часъ пополудни и въ 9 час. вечера; съ 1-го октября по 1-е апрѣля въ 8 час. утра, въ 1 часъ пополудни и въ 9 час. вечера.

На постахъ II разряда отъ начала весенняго ледохода до ледостава—одинъ разъ въ день: съ 1-го апрѣля по 1-е октября — въ 7 час. утра, а съ 1-го октября по 1-е апрѣля—въ 8 час. утра.

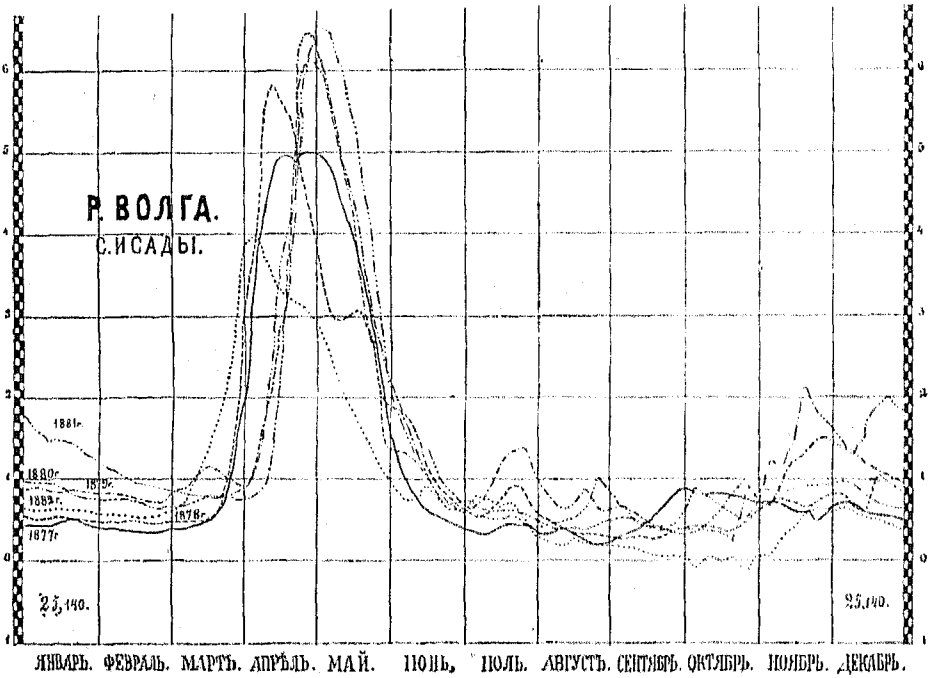
Если бы нижняя свая или неподвижно укрѣпленная рейка обмелѣла и удалилась отъ воды, то, въ первомъ случаѣ, забиваютъ новую сваю ниже существующихъ уже свай; а во второмъ—прорываютъ къ укрѣпленной рейкѣ канаву, чтобы устроить свободное сообщеніе рейки съ рѣчною водою.

Когда водомѣрный постъ реечный, то показаніе уровня воды читается непосредственно на той рейкѣ, до которой доходитъ вода; если водомѣрный постъ свайный, то измѣреніе глубины воды надъ головкой самой мелкой сваи производится съ лодки особою рейкою саженной длины, или футштокомъ.

При производствѣ наблюденій читается, по особой саженной рейкѣ, то дѣленіе, которое приходится въ уровень съ водой; если

же уровень воды стоитъ немного выше или ниже дѣленія, то читаютъ дѣленіе ближайшее къ уровню воды, половинки же сотыхъ сажени отбрасываютъ; въ вѣтренную погоду, когда на рѣкѣ есть волненіе, берутъ нѣсколько отсчетовъ по рейкѣ и каждый разъ замѣчаютъ дѣленіе, которое покрываетъ прибылая вершина волны, и самое низкое дѣленіе по уходѣ волны; изъ двухъ крайнихъ показаній берутъ среднее ариѳметическое.

Если уровень воды стоитъ выше головки свай на столько, что ее

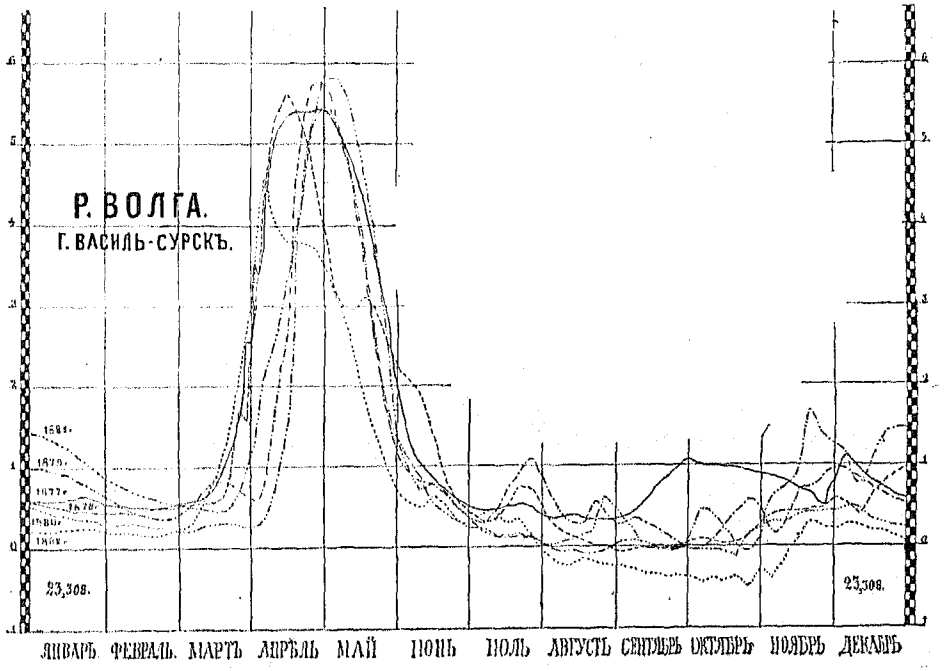


Черт. 487.

не видно, то по направленію створа, образуемаго стоящими на берегу сваями, наблюдатель, при помощи багра, убѣждается, что онъ ставитъ рейку не на камень или другой какой либо предметъ, а на сваю и на то же мѣсто площадки, на которое онъ обыкновенно ставитъ рейку, когда площадка сваи видима подъ водою.

Каждому наблюдателю выдаются корешковыя книжки съ талонами, въ которыхъ означены дни, мѣсяцы и часы наблюденій и особыя графы примѣчаній. Въ корешкахъ и талонахъ одновременно

записываются показанія стояній уровня воды въ сотыхъ доляхъ сажени цѣлыми числами; такъ, одну сажень и двадцать четыре сотыхъ пишутъ безъ запятой, т. е. 124, при этомъ, если уровень воды *выше* нуля неподвижно укрѣпленной рейки или постоянной точки, принятой за нуль, то надъ цифрой ставится слово „*выше*“, т. е. запись дѣлается такъ: $\frac{выше}{124}$. Если же уровень воды *ниже* нулевой точки, то пишутъ $\frac{ниже}{22}$, что означаетъ, что уровень воды ниже нуля рейки



Черт. 488.

или площадки сваи, принятой за нуль, на двадцать двѣ сотыхъ.

Показанія возвышеній уровня воды надъ постоянной точкой, принятой за нуль, записываются противъ того числа, мѣсяца и часа дня, въ которые производилось наблюденіе, на корешкѣ и въ талонѣ книжки.

Кромѣ того, въ книжкахъ наблюденій за стояніемъ горизонта воды записываются также время и горизонтъ, при которыхъ ледъ тронулся, начался сплошной весенній ледоходъ, и рѣка очистилась отъ льда; время и горизонтъ, при которыхъ появилось сало или

кусочки льда, начался сплошной осенній ледоходъ, и рѣка замерзла, или начался ледоставъ; всѣ эти свѣдѣнія, точно такъ же, какъ и свѣдѣнія о погодѣ, а также—когда началась и окончилась навигація, заносятся въ графу примѣчаній.

При перестановкѣ рейки съ одной сваи на другую или съ одного мѣста на другое, въ чемъ можетъ представиться надобность при наблюденіяхъ во время весеннихъ водъ, на обратной сторонѣ талона записываются два одновременныхъ показанія: одно по рейкѣ въ ея прежнемъ положеніи, а другое при новомъ положеніи, причемъ счетъ въ графахъ корешка и талона ведется постоянно отъ одного и того же разъ принятаго нуля.

На основаніи наблюденій относительно горизонта воды нашихъ рѣкъ, въ министерствѣ путей сообщенія въ рѣчномъ отдѣленіи, при департаментѣ шоссейныхъ и водяныхъ сообщеній составляются особые графики, у которыхъ по горизонтальному направленію отмѣчаются мѣсяцы и числа года, а по вертикальнымъ направленіямъ откладываются высоты надъ нулевой сваей, наблюденныя утромъ каждаго дня.

На чертежахъ 487-мъ и 488-мъ изображены графики двухъ смежныхъ водомѣрныхъ постовъ р. Волги, отстоящихъ другъ отъ друга на разстояніи 70-ти верстъ. На этихъ графикахъ показаны каждодневныя высоты горизонта воды съ 1877-го по 1882-ой годъ включительно, а также отмѣтки нулей водомѣрныхъ постовъ, — 25,140 и 23,308.

Кромѣ существующихъ постоянныхъ водомѣрныхъ постовъ, находящихся въ вѣдѣніи департамента шоссейныхъ и водяныхъ сообщеній, на изслѣдуемой рѣкѣ устраиваются, на всемъ протяженіи изслѣдуемаго участка, временные водомѣрные посты. На этихъ водомѣрныхъ постахъ производятся ежедневныя наблюденія за все время полевыхъ работъ отъ одного до трехъ разъ, въ остальное время одинъ разъ. При размѣщеніи водомѣрныхъ постовъ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе слѣдующимъ мѣстамъ: въ началѣ и концѣ каждаго описываемаго участка, у притоковъ съ наводками болѣе или менѣе значительными, замѣтно вліяющими на колебаніе водъ описываемой рѣки; тамъ, гдѣ существуютъ стѣсненія живого сѣченія рѣки искусственными сооруженіями, мостами, плотинами, полузапрудами и естественными препятствіями: порогами и перекатами. Въ послѣднемъ случаѣ слѣдуетъ производить наблюденія на двухъ

водомѣрныхъ постахъ, устроенныхъ выше и ниже естественнаго препятствія. Временные водомѣрные посты устанавливаются также тѣмъ чаще, чѣмъ значительнѣе и чаще проходящіе по рѣкѣ паводки. Разстояніе между водомѣрными постами берется такое, чтобы минимумы паводковъ, въ одинъ и тотъ же день, оказывали бы свое вліяніе не менѣе, чѣмъ на двухъ смежныхъ постахъ.

Если на изслѣдуемой рѣкѣ не имѣется постоянныхъ водомѣрныхъ постовъ, то наблюденія на временныхъ постахъ не ограничиваются временемъ полевыхъ работъ, но продолжаются, по возможности, дольше, по крайней мѣрѣ, до полнаго окончанія работъ изслѣдованія всей рѣки. Дѣлается это для опредѣленія какъ годовыхъ измѣненій высоты воды, такъ и положенія межени въ разные годы.

Если изслѣдованіе рѣки продолжается нѣсколько лѣтъ, то оканчиваютъ работы одного года у постояннаго или у временнаго водомѣрнаго поста, наблюденія на которомъ продолжались не менѣе 2-хъ лѣтъ, что необходимо для болѣе точной связи горизонтовъ двухъ лѣтъ, рядомъ слѣдующихъ другъ за другомъ. Реперы временныхъ водомѣрныхъ постовъ связываются точною нивеллировкою съ прочными реперами и магистральною линіею, а затѣмъ наносятся на планъ.

Кромѣ наблюденій за измѣненіемъ горизонта воды на водомѣрныхъ постахъ, производятъ такія же временныя наблюденія у всѣхъ мѣстъ, гдѣ имѣетъ свое пребываніе экспедиція, производящая изслѣдованія рѣки.

Если головки нулевыхъ свай или нулей реекъ двухъ смежныхъ водомѣрныхъ постовъ связать нивеллировкою, т. е. узнать, на сколько нуль одного поста выше нуля другого поста, то можемъ получить, на основаніи наблюденій на водомѣрныхъ постахъ, разность горизонтовъ воды въ рѣкѣ для каждаго дня въ мѣстахъ расположенія водомѣрныхъ постовъ. Полученныя паденія для различныхъ дней, говоря вообще, должны быть различными и тѣмъ больше другъ отъ друга отличающимися, чѣмъ на большемъ разстояніи установлены посты, и чѣмъ рѣзче разнится характеръ русла рѣки въ мѣстахъ расположенія постовъ. Частное отъ дѣленія паденія рѣки между данными точками на разстояніе между ними, или уклонъ для различныхъ дней, также окажется различнымъ. Но каждый разъ онъ будетъ только среднимъ уклономъ на всемъ протяженіи между постами.

Во многихъ же мѣстахъ между этими точками уклонъ отличается отъ средняго уклона на величины болѣе или менѣе значительныя. Поэтому, если требуется опредѣлить, на короткомъ разстояніи рѣки, паденіе и уклонъ ея, относящіеся къ какому либо времени, то въ мѣстахъ, между которыми желаютъ опредѣлить паденіе, необходимо одновременно забить небольшія свайки такъ, чтобы головки ихъ были вровень съ водой, и затѣмъ между этими свайками пронивеллировать; полученное паденіе и уклонъ будутъ относиться къ тому лишь времени, когда производилась одновременная забивка сваекъ. При всякомъ другомъ горизонтѣ воды паденіе окажется на этомъ же мѣстѣ другимъ, и, чтобы его опредѣлить, надо знать, на сколько вода убудетъ или поднимется надъ головками забитыхъ сваекъ.

406. О реперахъ. На всемъ протяженіи изслѣдуемой или описываемой рѣки выбираются постоянныя точки, или реперы, существующіе или же устраиваемые вновь. Реперы служатъ для возстановленія на мѣстѣ, по имѣющимся планамъ, тѣхъ линій нивеллировочныхъ отмѣтокъ, проектныхъ начертаній и проч., какія нанесены или впослѣдствіи будутъ нанесены на планы съемки, а также для точнаго опредѣленія измѣненій, происшедшихъ какъ въ планѣ, такъ и въ рельефѣ ложа рѣки, со времени предыдущихъ изслѣдованій. Поэтому, какъ нивеллировочныя отмѣтки реперовъ, такъ и расположеніе ихъ на планахъ съемки должны быть точно опредѣлены относительно *магистральной линіи*, разбиваемой вдоль берега рѣки.

Реперы устраиваютъ или изъ металлическихъ винтовыхъ свай, или складываютъ долговѣчные каменные столбы. Такіе реперы устанавливаются по берегамъ рѣки на разстояніи другъ отъ друга около 5 верстъ. Кромѣ того, для обозначенія нивеллировочныхъ отмѣтокъ на каменныхъ зданіяхъ, церквахъ и проч. прикрѣпляютъ металлическія марки. Всѣ предметы, служащіе для ориентированія плановъ и для возстановленія нивеллировочныхъ отмѣтокъ, отмѣчаются на планахъ особыми условными знаками, нумерами и подробно описываются въ особыхъ вѣдомостяхъ, напр., какая церковь или башня и какой предметъ на нихъ засѣкалась, на какомъ зданіи прикрѣплена нивеллировочная марка и проч.

Нивеллировочныя отмѣтки реперовъ опредѣляются особенно тщательно, поэтому точки эти нивеллируются тѣмъ же способомъ, какъ нивеллируется магистральная линія (§ 309).

407. Магистральная линія. Всѣ работы по съемкѣ, нивеллировкѣ, промѣрамъ и проч. относятъ къ магистральной линіи, которая, такимъ образомъ, служитъ связующимъ звеномъ для всѣхъ работъ; поэтому, всѣ пріемы для опредѣленія положенія этой линіи дѣлаются съ особенною точностью, во избѣжаніе накопленія ошибокъ. При составленіи нивеллировочныхъ профилей, картъ или плановъ, относящихся къ изслѣдуемой рѣкѣ, преслѣдуется исключительно спеціальная цѣль изученія рѣки, какъ пути сообщенія. Но для того, чтобы эти съемки могли служить для пополненія въ картахъ военно-топографическаго отдѣла, магистральную линію связываютъ какъ горизонтальною, такъ и вертикальною съемкою съ точками, опредѣленными военно-топографическимъ отдѣломъ и находящимися какъ въ предѣлахъ разлива рѣки, такъ и вблизи его.

408. О разбивкѣ и измѣреніи магистральной линіи. Пикеты разбиваются черезъ каждыя 50 саженъ. Длина линіи измѣряется стальною лентою. Когда поверхность земли имѣетъ наклонъ болѣе 5°, то уголъ наклоненія опредѣляется теодолитомъ или пантометромъ, и въ измѣряемую линію вводится поправка, сообразно измѣренному углу и длинѣ линіи.

Для повѣрки длины магистральной линіи, во время производства мензульной съемки, засѣкаютъ угловыя точки магистральной линіи, а при измѣреніи угловъ магистрали засѣкаютъ съ нихъ всѣ видимыя тригонометрическія точки.

Длина отдѣльныхъ линій магистрали берется, по возможности, большею, насколько позволяетъ мѣстность. Для удобства составленія профилей и опредѣленія длины линіи, полезно брать отдѣльныя линіи равными числу кратному отъ числа пикетовъ или полупикетовъ.

Если рѣка извилиста и магистраль ведется вдали отъ рѣки, а мензульной съемки не производится, то по берегу рѣки ведутъ иногда вторую магистраль для съемки береговъ и нивеллировки урѣзовъ воды. При такомъ веденіи двухъ магистралей получаются замкнутые контуры (полигоны), которые служатъ для повѣрки съемочныхъ работъ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда мензульной съемки не дѣлается, магистральную линію измѣряютъ два раза отдѣльные производители работъ отдѣльными вывѣренными лентами.

Углы поворотовъ магистральной линіи опредѣляются теодолитомъ, съ точностью не менѣе одной минуты, причемъ чтеніе повторяется

на разныхъ частяхъ лимба по двумъ нонiусамъ не менѣе трехъ разъ. Измѣреніе угловъ дѣлается визированіемъ съ угла на уголъ.

Въ журналѣ магистральной линіи записываются нумера угловъ и пикетовъ, разстояніе отъ пикетовъ до угловъ, а также разстоянія между углами.

Всѣ величины угловъ, прочитанныя по лимбу, наносятся графически отъ руки или по транспортиру въ полѣ, съ показаніемъ, въ какую сторону магистраль дѣлаетъ поворотъ.

Для производства грубой повѣрки, въ полѣ, вѣрности измѣренныхъ угловъ, при измѣреніи каждаго угла записывается магнитный азимутъ магистральной линіи, прочитанный по бусоли, если эта послѣдняя имѣется при теодолитѣ.

Уголъ поворота обозначается въ полѣ прочнымъ столбомъ, на зарубкѣ котораго надписываются № угла, разстояніе отъ ближайшаго пикета и № этого послѣдняго.

Если при разбивкѣ магистрали дѣлается также разбивка профилей разлива береговъ и русла, то въ журналѣ магистральной линіи отмѣчаютъ №№ этихъ профилей и величину угловъ, составляемыхъ направленіемъ этихъ профилей съ направленіемъ магистрали.

Для производства мензульной съемки или для нанесенія на планъ результатовъ инструментальныхъ засѣчекъ, магистральная линія назначается по координатамъ.

Если мензульной съемки не производится, а производить вычисленіе координатъ во время полевыхъ работъ слишкомъ затруднительно, то на черновыхъ планахъ магистраль наносится по транспортиру. При составленіи же чистовыхъ плановъ, углы наносятся по координатамъ, но тогда магистральная линія и важнѣйшія точки, полученныя инструментальною съемкою, при составленіи чистовыхъ плановъ, строются вновь по координатамъ.

Въ началѣ работъ опредѣляется астрономически истинный азимутъ одной изъ первыхъ линій магистрали. Затѣмъ, принимая истинный меридіанъ за ось ординатъ, а линію перпендикулярную къ ней за ось абсциссъ, вычисляютъ азимуты послѣдующихъ направленій магистральной линіи, по формулѣ: $A_2 = M + A_1 - 180^\circ$, гдѣ A_1 — азимутъ предыдущей линіи, M — уголъ поворота и A_2 — азимутъ слѣдующей линіи (§ 154).

Такъ какъ меридіаны на земной поверхности не параллельныя

линіи, и, при разстояніи между ними, по долготѣ, до 30 верстъ, замѣчается уже нѣкоторое отклоненіе отъ параллельности, то, чтобы эти отклоненія не могли повліять на вѣрность проложенія магистральной линіи, необходимо повторять опредѣленіе истиннаго меридіана чрезъ каждыя 50 верстъ магистрали, и во всякомъ случаѣ не рѣже, какъ черезъ 30 минутъ—по долготѣ и не рѣже, какъ черезъ 100 поворотовъ магистрали.

При этомъ, слѣдовательно, опредѣлится угловая разность между истиннымъ и вычисленнымъ азимутомъ, которая разлагается на всѣ углы магистральной линіи участка, а на дальнѣйшихъ планшетахъ координаты вычисляются сообразно новому азимуту. Повтореніе опредѣленія истиннаго азимута служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ и повѣркою точности измѣренія угловъ магистральной линіи.

409. Съемка мѣстности, прилегающей къ берегамъ рѣки. Съемка мѣстности производится или мензулой, или теодолитомъ, причемъ, однако-же, мензулу предпочитаютъ для съемки подробностей, контуровъ и береговыхъ рельефовъ. Какъ угломѣрная, такъ и мензульная съемка опирается на магистральную линію, проведенную по одному изъ береговъ рѣки.

Предѣломъ съемки служитъ предѣлъ разлива наиболѣе высокихъ весеннихъ водъ во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда черта разлива не разрывается долиною какого-либо притока; въ послѣднемъ случаѣ съемку производятъ и въ устьѣ боковой долины на протяженіи нѣсколькихъ верстъ. Въ указанныхъ предѣлахъ для съемки снимаютъ всѣ подробности мѣстности, могущія служить плавающимъ по рѣкѣ судамъ для ихъ ориентировки.

Въ предѣлахъ разлива рѣки опредѣляются инструментальной съемкой: урѣзы берега рѣки, ея рукавовъ, притоковъ, затоновъ, наносныхъ песковъ; положеніе церквей, колоколенъ, мечетей и башенъ, положеніе ближайшихъ къ рѣкѣ зданій и направленія улицъ, выходящихъ къ рѣкѣ, старорѣчья, имѣющія судоходное или техническое значеніе, гребни меженняго русла, начала и концы населенныхъ мѣстъ, пристани и различнаго рода гидротехническія сооруженія. Всѣ остальныя подробности мѣстности иногда наносятся на планъ по существующимъ планамъ и картамъ, по записямъ во время пикетажа магистрали и профилей, по даннымъ глазомѣрной съемки.

Всѣ выдающіеся предметы, какъ-то: церкви, мечети, дымовыя трубы заводовъ и т. п. опредѣляются засѣчками.

При мензульной съемкѣ каждый планшетъ долженъ имѣть форму трапеціи, стороны которой соотвѣтственно равны длинамъ нѣкотораго цѣлаго числа полуминутъ по меридіану и крайнимъ параллелямъ, по особымъ таблицамъ, вычисленнымъ военно-топографическимъ отдѣломъ главнаго штаба.

Всѣ точки поворотовъ магистрали наносятся по координатамъ, какъ сказано выше, на рабочіе планшеты мензульной съемки и на чистовые планшеты угломѣрной и мензульной съемки. При этомъ координаты выражаются числомъ градусовъ и минутъ и числомъ саженъ и долей сажени меньшихъ минуты, а за исходный пунктъ вычисленій принимается одинъ изъ тригонометрическихъ пунктовъ, означенныхъ въ каталогахъ.

410. Нивеллировка. При изслѣдованіи каждой рѣки производятъ нивеллировку магистральной линіи, нивеллировку горизонта воды, поперечную нивеллировку береговъ рѣки, по направленію профилей русла, и поперечную нивеллировку разлива.

Нивеллировка точекъ магистральной линіи, связывающая отмѣтки всѣхъ точекъ магистрали, служитъ базисомъ для нивеллировки на всемъ протяженіи работъ. Въ виду этого, пріемы, употребляемые для нивеллировки магистрали, должны отличаться особенною точностью.

Нивеллировка магистрали ведется двумя нивеллировщиками, двумя отдѣльными нивеллирами и отдѣльными рейками.

411. Нивеллировка урѣзовъ воды, или горизонта воды. Такъ какъ при малыхъ уклонахъ малѣйшая ошибка въ нивеллировкѣ урѣза воды оказываетъ весьма чувствительное вліяніе на опредѣленіе уклона, то нивеллировка горизонта воды должна производиться, по возможности, точно, т. е. по способу, принятому для нивеллировки магистрали. Отъ пикета магистрали до урѣза воды нивеллируютъ, по возможности, на каждомъ поперечномъ профилѣ, а въ глубокихъ плесахъ не рѣже, чѣмъ черезъ версту; большія разстоянія между точками, въ которыхъ опредѣляются отмѣтки воды, допускаются только въ томъ случаѣ, когда берегъ настолько крутъ, что на болѣе близкомъ разстояніи нельзя спуститься нивеллиромъ отъ магистрали до воды.

Въ журналѣ нивеллировки записывается время, когда берется отмѣтка воды. Рейка при этомъ ставится на верхушку кола, забитаго вровень съ уровнемъ воды. Нивеллировка урѣзовъ воды производится

или отдѣльными нивеллировщиками, или тѣми же, которые нивеллируютъ магистраль.

412. Нивеллировка поперечныхъ профилей береговъ рѣки. Поперечные профиля береговъ рѣки нивеллируются въ одинъ нивеллиръ, по направленіямъ промѣрныхъ профилей, до гребней русла рѣки и, во всякомъ случаѣ, до мѣстъ, расположенныхъ надъ меженнимъ,—лѣтнимъ горизонтомъ, не ниже, какъ на 2 сажени; при крутыхъ же берегахъ до мѣстъ, лежащихъ выше одной сажени, но надъ горизонтомъ разлива. Поперечные профиля береговъ имѣютъ назначеніе дать ясное представленіе о характерѣ береговъ, поэтому они разбиваются во всѣхъ такихъ мѣстахъ, гдѣ характеръ берега мѣняется, напримѣръ, изъ пологаго песчанаго переходитъ въ подмываемый яръ. Вообще-же, разстоянія между поперечными профилями береговъ не должны быть болѣе одной версты.

При производствѣ поперечной нивеллировки, можно употреблять всѣ упрощенія, не вводящія въ результатъ ошибки болѣе 0,10—0,15 саж., т. е. можно употреблять или ватерпасъ или нивеллировать обои берега рѣки при помощи наклоннаго визированія съ одного берега, при разстояніяхъ не большихъ 200 саж.

Поперечная нивеллировка должна производиться по островамъ и осередкамъ (невысокимъ песчанымъ островамъ), причемъ на нихъ необходимо получать отмѣтку высшей точки.

Поперечная нивеллировка производится также перпендикулярно къ направленію всѣхъ рукавовъ, протоковъ и затоновъ, имѣющихъ судоходное значеніе. Разстояніе между профилями можетъ быть, въ этомъ случаѣ, увеличиваемо до 2-хъ верстъ.

Въ журналахъ профилей береговъ должно быть отмѣчено, отъ какого пикета магистрали ведется профиль, углы, составляемые профилемъ съ магистралью. Также должно быть записано и время производства нивеллировки.

413. Профиля разлива. Профиля разлива необходимы какъ для опредѣленія ширины разлива, такъ и для опредѣленія, въ главныхъ чертахъ, характера поймы. Направленія профилей разлива, при высокихъ берегахъ и незначительной ширинѣ разлива, разбиваются нормально къ теченію рѣки и служатъ продолженіемъ поперечныхъ профилей русла рѣки, когда-же берега пологи и ширина разлива значительна, въ особенности, при извилистой рѣкѣ, тогда профиля

надо разбивать приблизительно нормально къ общему направленію долины рѣки, для того чтобы не терять лишнихъ времени и средствъ на просѣки и нивеллировку длинныхъ профилей. При выборѣ направленія профилей разлива, разстоянія между ними берутъ такими, чтобы уловить и наиболѣе характерныя особенности, и изгибы площади разлива. Вообще-же, разстоянія между профилями разлива берутся въ зависимости отъ ширины разлива, такъ,—при ширинѣ до 5-ти верстъ, профиля разлива разбиваются черезъ 1 версту; при ширинѣ разлива отъ 5 до 10 верстъ, профиля берутся черезъ двѣ версты; при 10 и болѣе верстахъ ширины разлива,—черезъ 3 версты. Профиля разлива нивеллируются однимъ нивеллиромъ, а при большей крутизнѣ ватерпасомъ или же высотомѣромъ. Нивеллировочныя точки выбираются настолько часто, чтобы опредѣлить главныя точки перелома профилей.

Когда на разливѣ находятся непроходимыя болота или плавни, и когда въ такомъ мѣстѣ нельзя производить работы, то кругомъ такихъ мѣстъ дѣлается обходная нивеллировка, чтобы опредѣлить какъ предѣлъ разлива въ такомъ мѣстѣ, такъ и высоту его.

При нивеллированіи профилей разлива разстоянія нивеллира отъ рейки берутъ не болѣе 100 саж. Но отступленія отъ этого, конечно, возможны по мѣстнымъ обстоятельствамъ. Въ журналахъ профилей разлива отмѣчаютъ, отъ какого пикета магистрали ведется профиль, углы, составляемые профилемъ съ магистралью, и дальнѣйшіе повороты профиля, если направленіе его идетъ по ломаной линіи. При нивеллировкѣ разлива непремѣнно слѣдуетъ получить отмѣтку высокаго горизонта и отмѣтить время, въ какое имѣлъ мѣсто найденный горизонтъ. Свѣдѣнія объ этомъ, по возможности чаще, слѣдуетъ добывать изъ распросовъ мѣстныхъ жителей.

При нивеллировкѣ профилей разлива и профилей береговъ въ мѣстахъ пересѣченія профилей съ водою протоковъ, рукавовъ, озеръ, затоновъ, а также и самой рѣки, забиваются колья вровень съ поверхностью воды, и опредѣляется какъ горизонтальное, такъ и вертикальное положеніе ихъ относительно соотвѣтствующаго пикета магистрали. При этомъ отмѣчается въ нивеллировочномъ журналѣ время нивеллировки у горизонта воды. Если магистральная линія ведется только по одному берегу, то, для связи одного берега съ нивеллировкою другого, поверхность воды принимается за горизонтальную.

Такъ какъ нивеллировка профилей разлива и береговъ можетъ быть выполняема на разныхъ берегахъ рѣки не въ одинъ день, то, при связи нивеллировки одного берега съ другимъ, принимается во вниманіе измѣненіе горизонта воды, происшедшее впродолженіи этого времени.

414. Производство промѣровъ глубинъ рѣки. Для полученія поперечныхъ профилей русла рѣки, или, такъ называемыхъ, *живыхъ сѣченій*, необходимо знать не только ширину рѣки въ данномъ мѣстѣ, но также и глубины въ разныхъ точкахъ этого профиля.

Глубины измѣряются или *наметкой*, или *лотомъ*.

Наметка, или футштокъ, это тонкій шестъ, до $2^1/_2$ саженъ длины, на которомъ назначены дѣленія, равныя, напр., сотымъ сажени, съ подписанными цифрами, чрезъ каждыя 10 сотыхъ. Лотъ, это тонкая веревка, на концѣ которой привѣшена тяжесть, свинцовая или чугунная, въ 10 или 15 фунтовъ. Веревка раздѣлена на десятыя части сажени особыми кожаными марками, сажени также означены большими кусками кожи, на которыхъ написаны цифры масляною, красною или бѣлою, краскою. Лотъ долженъ быть вывѣряемъ часто, такъ какъ со временемъ веревка растягивается.

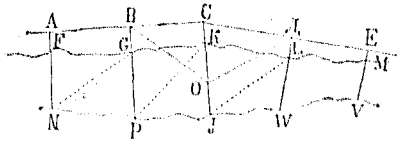
Для производства промѣровъ, на берегу устанавливается створъ изъ двухъ вѣхъ, по возможности, нормально къ направленію русла, причемъ, для большей чувствительности створа, створныя вѣхи должны быть поставлены, по возможности, на большомъ разстояніи одна отъ другой. При ширинѣ рѣки болѣе 200 саж., створы устанавливаютъ на обоихъ берегахъ. Направленія створовъ, обозначающія направленія промѣрныхъ поперечныхъ профилей, относятъ или къ магистральной линіи, посредствомъ угломѣрнаго инструмента, или наносятъ на планшеты при мензульной съемкѣ. Такъ, на чертежѣ 489-мъ $ABCDE$ изображаетъ магистральную линію; AN, BP и т. д. направленіе профилей русла.

Въ журналахъ о промѣрахъ обозначаютъ пикетъ магистрали, съ котораго разбитъ профиль, мѣсяцъ и число, когда произведены промѣры, до полудня или послѣ полудня, и родъ грунта русла и береговъ.

При производствѣ промѣровъ рѣки большой ширины, для опредѣленія положенія точекъ, въ коихъ измѣрена глубина, употребляется, предпочтительно, способъ засѣчекъ.

При ширинѣ менѣе 100 саж., мѣста промѣровъ опредѣляются посредствомъ бичевы, протянутой по ширинѣ рѣки.

Способъ засѣчекъ можетъ быть употребленъ двоякій. Первый способъ исполняется посредствомъ теодолита или мензулы, причемъ мѣсто промѣрнаго шеста, или наметки, засѣкаютъ съ берега въ то время, когда съ лодки, идущей по створу профиля, промѣриваютъ глубину. Такъ какъ при этомъ способѣ затруднительно успѣть засѣкать при каждомъ опусканіи наметки, то засѣчки дѣлаютъ черезъ нѣсколько промѣровъ наметкой, но не болѣе, какъ черезъ 5-ть. Въ этомъ случаѣ наметку засѣкаютъ въ тотъ моментъ, когда на лодкѣ поднимаютъ флагъ. Такого рода производство промѣровъ называется *промѣромъ по гребкамъ*, такъ какъ каждый изъ пяти промѣровъ между засѣкаемыми дѣлается чрезъ опредѣленное число гребковъ, чрезъ 5 или 7 гребковъ, для чего первый гребецъ ведетъ ихъ счетъ, и когда скажетъ предѣльное установленное число, то промѣрщикъ опускаетъ наметку или лотъ. Въ промѣрномъ журналѣ, противъ глубинъ, соотвѣтствующихъ засѣченнымъ мѣстамъ, наблюдатель ставитъ особый знакъ. При засѣчкахъ такого рода угломѣрный инструментъ устанавливается на какомъ-либо пикетѣ или углѣ магистрали, выше или ниже того пикета, съ котораго разбитъ промѣряемый профиль русла.



Черт. 489.

Второй способъ промѣра глубинъ рѣки заключается въ слѣдующемъ: заранѣе намѣчаютъ на мензулѣ точки, гдѣ должны быть произведены промѣры, устанавливаютъ мензулу на берегу и ориентируютъ ее по магистрали или по другой извѣстной линіи. Когда промѣрная лодка, идущая по створу профиля, подходитъ къ мѣсту, назначенному на мензулѣ, — съ берега подаютъ сигналъ, и тогда съ лодки производится промѣръ наметкой или лотомъ. Напримѣръ, направивъ визирную ось инструмента по линіи BO (черт. 489), даютъ сигналъ, когда лодка появится въ полѣ зрѣнія трубы.

Промѣры глубины производятся наметкой до глубины 2-хъ саженъ. При большей глубинѣ промѣры производятся лотомъ. Разстоянія между промѣрными точками берутся отъ 5 до 10 саж.

При ширинѣ рѣки менѣе 100 саж., мѣста промѣровъ могутъ быть опредѣлены посредствомъ бичевы, натянутой по ширинѣ рѣки. Въ этомъ случаѣ, бичевка выбирается, по возможности, тонкая и

прочная и натягивается поперекъ рѣки по створу или въ ручную, или при помощи ворота, или полиспаста.

На бичевѣ должны быть навязаны марки не болѣе, какъ черезъ пять саженъ одна отъ другой, изъ цвѣтной матеріи или кусковъ кожи различной величины и формы. Противъ марокъ производятся промѣры глубинъ.

При большомъ провѣсѣ бичевы употребляютъ подставныя лодки, устанавливаемыя, въ такомъ случаѣ, на якоряхъ. Между шириной рѣки, опредѣленной по бичевкѣ, и той-же шириной, опредѣленной засѣчкою, допускаютъ разницу, не превосходящую болѣе, чѣмъ на $10^0/_0$, ширины рѣки, полученной путемъ засѣчки.

Разность эта при составленіи профилей разлагается поровну на всѣ промѣры, причемъ за вѣрную признается ширина, опредѣленная засѣчкой. Если разность въ какомъ-либо профилѣ окажется болѣе $10^0/_0$, то съемка и промѣры этой части рѣки передѣлываются вновь.

При значительной ширинѣ рѣки бичевку можно натягивать въ ручную между двумя лодками, изъ которыхъ каждая устанавливается на трехъ или четырехъ якоряхъ, въ разстояніи другъ отъ друга по профилю не болѣе 60-ти саженъ, такъ какъ, при большей ширинѣ, между лодками образуется значительный провѣсъ веревки. Промѣръ въ этомъ случаѣ производится противъ марокъ бичевки съ третьей лодки; когда на всемъ протяженіи между лодками, стоящими на якоряхъ, промѣръ оконченъ, первая лодка снимается съ якорей и устанавливается въ слѣдующей точкѣ профиля по створу, а бичевка натягивается вновь. Положенія лодокъ, установленныхъ на якоряхъ, опредѣляются засѣчками съ берега.

Особенно часто промѣрные профиля русла разбиваются въ порожистыхъ мѣстахъ съ плотнымъ или каменистымъ грунтомъ на днѣ, а также въ осередкахъ, шалыгахъ (небольшія песчаныя возвышенія на днѣ рѣки) и т. п. препятствіяхъ. Въ такого рода мѣстахъ промѣры производятся настолько часто, чтобы по нимъ можно было очертить главныя неровности дна. Положеніе подводныхъ камней, затонувшихъ судовъ, деревьевъ, карчей и глубина на нихъ должны быть опредѣлены возможно точнѣе.

Грунтъ ложа рѣки опредѣляютъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ профиля по ударамъ промѣрнаго шеста о дно, а также по ударамъ лота.

Профиля русла или промѣры служатъ для возможно точнаго очертанія на планѣ линій равныхъ глубинъ. Линіи равныхъ глубинъ вычерчиваются на планѣ съ цѣлію характеризовать препятствія, встрѣчаемыя судоходствомъ. Поэтому, первая линія, считая отъ урѣза берега, обозначаетъ наименьшую глубину, бывающую на перекатахъ при низкомъ горизонтѣ, а послѣдняя линія показываетъ глубину, при которой судоходство, при наибольшей осадкѣ судовъ, не встрѣчаетъ затрудненій. Остальныя линіи равныхъ глубинъ проводятся чрезъ равные промежутки по высотѣ между упомянутыми крайними линіями.

Промежутки между линіями равныхъ глубинъ раскрашиваются на планѣ синею краскою большей или меньшей густоты, сообразно большей или меньшей глубинѣ.

Для примѣра, въ нижеслѣдующей таблицѣ показано нѣсколько системъ обозначенія линій равныхъ глубинъ:

На самыхъ мелкихъ перекатахъ при глубинѣ въ четвертяхъ аршина:	2	3	4	5	6
Первая линія на глубинѣ, считая въ сотыхъ сажени	0,17	0,25	0,33	0,41	0,50
2-я	0,33	0,50	0,67	0,82	1,00
3-я	0,50	0,75	1,00	1,23	1,50
4-я	0,67	1,00	—	—	—

Глубины, которымъ соотвѣтствуютъ линіи равныхъ глубинъ, надписываются на самыхъ этихъ линіяхъ въ началѣ и концѣ каждаго планшета.

Чтобы линіями равныхъ глубинъ лучше выразить рельефъ дна рѣки, профиля русла разбиваются въ зависимости отъ очертанія линій равныхъ глубинъ.

На плесахъ, т. е. глубокихъ мѣстахъ, гдѣ судовой ходъ держится постоянно по срединѣ русла или у одного и того же берега, и гдѣ формы профилей, или живыхъ сѣченій, болѣе или менѣе подобны между собою, а линіи равныхъ глубинъ параллельны между собой и берегамъ, промѣрные профиля могутъ быть располагаемы

одинъ отъ другого на разстояніи, равномъ двойной ширинѣ рѣки, но ни въ какомъ случаѣ не рѣже $^1/_2$ версты. Напротивъ, при изгибахъ фарватера, напримѣръ, при переходѣ его съ одного берега на другой, на перекатахъ, при обходѣ косъ или осередка (небольшого песчанаго острова), профиля должны быть разбиваемы настолько часто, и притомъ въ такихъ мѣстахъ, чтобы линіи равныхъ глубинъ на планѣ были опредѣлены достаточнымъ числомъ точекъ, и чтобы наименьшая глубина по судовому ходу была опредѣлена также достаточнымъ числомъ промѣровъ.

Такъ какъ во время полевыхъ работъ знать, какъ расположатся линіи равныхъ глубинъ затруднительно, — то изложеннымъ требованіямъ надо стараться удовлетворить настолько, насколько это возможно. Съ этою цѣлью, дѣлающій промѣры долженъ постоянно сравнивать два смежные профиля, и если это сравненіе приводитъ его къ заключенію, что между двумя смежными профилями есть значительныя измѣненія, то онъ обязанъ сдѣлать между ними еще нѣсколько промѣрныхъ профилей.

Кромѣ промѣровъ глубинъ въ главномъ руслѣ рѣки, производятся также промѣры глубинъ по вышеизложеннымъ способамъ, въ старорѣчьяхъ и рукавахъ, связанныхъ съ рѣкою протоками или отдѣленныхъ отъ нея въ межень, но по которымъ, при высокомъ уровнѣ, движется значительное количество воды. При этомъ положеніи промѣрныхъ профилей, ихъ относятъ къ особымъ магистралямъ или опредѣляютъ ихъ мензульною съемкою. Менѣе важные протоки промѣряются такъ, какъ изложено выше, т. е. по профилямъ, или же промѣръ можетъ быть сдѣланъ вдоль протока.

Въ замкнутыхъ водныхъ пространствахъ, напримѣръ, въ озерахъ, производство промѣровъ обязательно въ томъ случаѣ, когда эти водныя пространства могутъ быть приспособлены къ устройству гавани или имѣть значеніе при другихъ гидротехническихъ сооруженіяхъ.

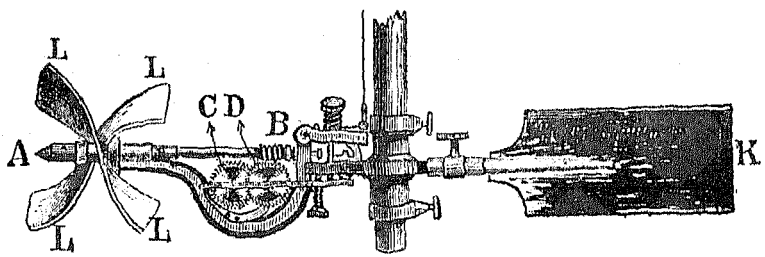
Въ дополненіе къ поперечнымъ промѣрнымъ профилямъ производятъ также промѣры по косымъ направленіямъ (галсамъ); на чертежѣ 489-мъ направленія *GN*, *KP* и *LI* изображаютъ направленія косыхъ галсовъ. Или производятъ промѣры по направленіямъ, параллельнымъ берегамъ. Въ этомъ случаѣ промѣры глубинъ производятся между двумя лодками, установленными на якоряхъ и засѣкаемыми съ магистральной линіи.

415. О скоростяхъ теченія и о количествѣ воды, протекающей въ рѣкѣ. Количество воды, протекающей въ данномъ профилѣ русла рѣки въ одну секунду, называется *расходомъ*. Чтобы опредѣлить расходъ воды въ рѣкѣ, необходимо опредѣлить скорости теченія въ одну секунду въ различныхъ точкахъ профиля русла, или живого сѣченія рѣки.

Съ грубымъ приближеніемъ, можно сказать, что средняя ариѳметическая изъ всѣхъ скоростей, измѣренныхъ въ одномъ живомъ сѣченіи, умноженная на площадь живого сѣченія, равна расходу. Чѣмъ въ большемъ числѣ точекъ будутъ опредѣлены скорости, тѣмъ съ большею точностью опредѣлится расходъ.

Если среднюю скорость назовемъ буквою v, площадь живого сѣченія—буквою P, а расходъ—Q, то, слѣд.: $Q = Pv$.

Для опредѣленія скоростей на различныхъ глубинахъ, употребляютъ мельницы, или вертушки: Вольтмана, Баумгартена и Амслера.

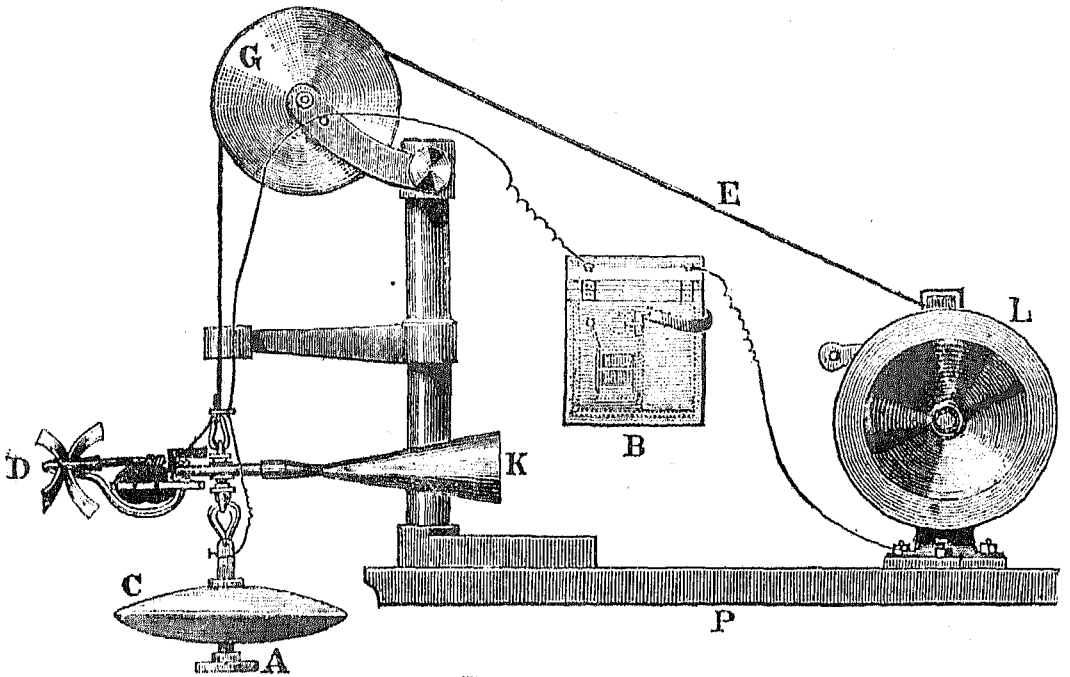


Черт. 490.

Всѣ эти мельницы, отличаясь другъ отъ друга въ подробностяхъ своихъ устройствъ, одинаковы по идеѣ. Главная составная часть вертушки Амслера (черт. 490) — колесо, діаметромъ въ три или четыре дюйма, о четырехъ лопастяхъ LL. Ось этого колеса AB имѣетъ безконечный винтъ и можетъ быть, по произволу, сомкнута или разомкнута, при помощи особаго механизма, со счетчикомъ, состоящимъ изъ двухъ зубчатыхъ металлическихъ круговъ C и D, соединенныхъ между собою шестернею. Круги счетчика раздѣлены на сто частей, чрезъ каждыя 10 дѣленій поставлены цифры, на одномъ кругѣ: 100, 200 . . . 900, на другомъ: 10, 20 . . . 90. Къ рамѣ, въ которой помѣщены подшипники оси вращенія колеса, придѣлано два индекса, такъ что—когда ось не сомкнута со счетчикомъ, то индексы указываютъ на нѣкоторыя дѣ-

ленія круговъ, и потому по этимъ кругамъ можетъ быть сдѣланъ отсчетъ. Кругъ счетчика *D* на которомъ поставлены цифры 10, 20..., оборачивается на одно дѣленіе, когда колесо вертушки дѣлаетъ одинъ оборотъ; полный оборотъ онъ дѣлаетъ, когда колесо вертушки обернется сто разъ, въ это же время 2-й кружокъ *C*—счетчика проходитъ 10-ую часть окружности.

Къ рамѣ, снабженной подшипниками для оси, придѣлывается, въ видѣ противовѣса колесу вертушки, металлическое перо *K*, ось ко-



Черт. 491.

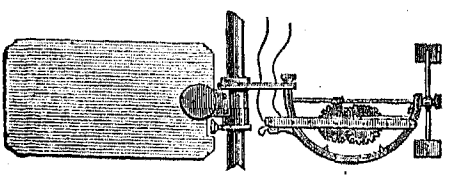
тораго идетъ по направленію оси вращенія колеса вертушки; рама снабжена втулкой, скрѣпляемой съ палкой, или, вмѣсто втулки, вводится шарниръ Гука для подвѣшиванія вертушки къ металлической проволокѣ.

Если сдѣлать отсчетъ по счетчику и опустить вертушку въ текущую воду, то колесо съ осью начнетъ вращаться; если послѣ этого сомкнуть счетчикъ съ осью колеса, то круги счетчика придутъ также въ движеніе, а если, чрезъ нѣкоторый опредѣленный промежутокъ времени, разъединить счетчикъ съ осью колеса, то хотя колесо и будетъ продолжать вращаться, но вращеніе круга счетчика прекра-

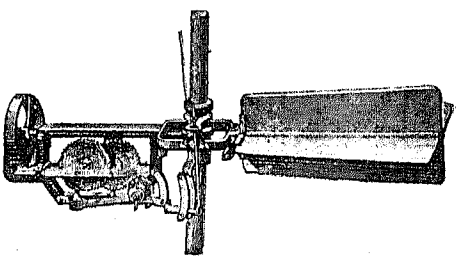
тится; вынувъ затѣмъ вертушку изъ воды и сдѣлавъ отсчетъ на кругахъ счетчика, получимъ разность двухъ отсчетовъ, а раздѣливъ эту разность на число секундъ, впродолженіи которыхъ счетчикъ былъ соединенъ съ осью, найдемъ число оборотовъ колеса вертушки въ одну секунду.

Чертежъ 492-й изображаетъ вертушку Вольтмана, а 493-й—вертушку Баумгартена, имѣющую, вмѣсто лопастей, маленькую турбинку.

Опредѣленіе скоростей теченія рѣки удобнѣе всего производить вертушкой Амслера, снабжаемой лебедкой L (черт. 491) для опусканія и подыманія вертушки, прикрѣпляемой къ тонкой проволокѣ E изъ мягкаго желѣза, перекидываемой чрезъ блокъ G. Къ лебедкѣ придѣланъ механизмъ, служащій для опредѣленія длины проволоки, а слѣдовательно, и для опредѣленія глубины, на которую опускается



Черт. 492.



Черт. 493.

вертушка съ чечевице-образною тяжестью C и поддономъ A, привѣшиваемымъ къ шарниру вертушки.

Вертушка Амслера снабжается также электрическимъ замыкателемъ, отъ котораго идетъ особая изолированная проволока, соединенная съ батареей B, напримѣръ, Лекланше въ два элемента, и электрическимъ звонкомъ, соединеннымъ также съ лебедкой такою же проволокой. Когда вертушка собрана и введена въ электрическую цѣпь, то, чрезъ каждые сто оборотовъ колеса вертушки, токъ замыкается и получается звонокъ. При такомъ устройствѣ нѣтъ надобности смыкать и размыкать ось со счетчикомъ, и нѣтъ надобности вынимать вертушку изъ воды, чтобы дѣлать отсчеты по кругамъ счетчика. Все это представляетъ большія удобства относительно сбереженія времени. Кромѣ того, надо замѣтить, что на большой глубинѣ не всегда удается смыкать и размыкать ось колеса со счетчикомъ.

Конечно, можно устроить вертушку съ контактомъ на оси лопастей, а не на колесѣ, служащемъ счетчикомъ числа оборотовъ лопастей, и имѣть на лодкѣ электрическій счетчикъ, въ которомъ одна изъ стрѣлокъ передвигалась бы на одно дѣленіе циферблата въ то время, когда лопасть вертушки дѣлаетъ одинъ оборотъ, какъ это сдѣлано, по моему заказу, для вертушки, принадлежащей музеуму Института инженеровъ путей сообщенія. При такомъ устройствѣ можно знать каждый моментъ, движется ли колесо вертушки, или нѣтъ.

416. Формула, служащая для опредѣленія скоростей рѣки въ зависимости отъ числа оборотовъ колеса вертушки. Колесо вертушки, опущенной въ текучую воду, вращается тѣмъ скорѣе, чѣмъ больше скорость рѣки, и тѣмъ медленнѣе, чѣмъ меньше эта скорость, и, слѣдовательно, обратно,—скорость рѣки въ секунду можно разсматривать, какъ функцію числа оборотовъ колеса вертушки въ секунду, а потому, если назовемъ скорость буквою v, а число оборотовъ вертушки въ одну секунду буквою n, то, вообще говоря, для опредѣленія скорости можемъ написать такую формулу:

$$v = a + bn + cn^2 + dn^3 + \ldots$$

гдѣ a, b, c, d и т. д. нѣкоторыя числа, подлежащія опредѣленію. Числа эти для различныхъ вертушекъ, конечно, различныя. Они мѣняются и для одной и той же вертушки послѣ нѣкотораго времени ея употребленія. Кромѣ того, числа эти оказываются очень небольшими дробями: a—рѣдко имѣетъ первую десятичную, b—рѣдко имѣетъ 2-ю десятичную, а c всегда выражается числомъ, рѣдко имѣющимъ даже 4-ю десятичную цифру; поэтому, для практическихъ цѣлей достаточно опредѣлять скорость по такой формулѣ:

$$v = a + bn$$

Изъ этой формулы видно, что когда $n = o$, то $v = a$, слѣдов., коэффиціентъ a есть та скорость, которую имѣетъ рѣка, когда колесо вертушки не движется, или, другими словами, a есть *предѣлъ точности опредѣленія скоростей вертушкою.*

417. Опредѣленіе коэффиціентовъ вертушки. Опредѣленіе коэффиціентовъ вертушки a и b можетъ быть сдѣлано такъ: опустивъ вертушку съ лодки въ стоячей водѣ, двигаютъ лодку съ нѣкоторою скоростью, напр., v_1, и замѣчаютъ число оборотовъ вертушки въ се-

кунду, напр., n_1; то же самое повторяютъ, сообщивъ лодкѣ другую скорость, напр., v_2, и вновь замѣчаютъ число оборотовъ вертушки въ секунду, напр., n_2; на основаніи найденныхъ такимъ образомъ скоростей и чиселъ оборотовъ въ секунду можемъ написать слѣдующія двѣ формулы:

$$v_1 = a + bn_1$$

$$v_2 = a + bn_2$$

въ которыхъ v_1, v_2, n_1 и n_2 величины извѣстныя, а потому, рѣшая оба уравненія относительно a и b, найдемъ:

$$b = \frac{v_1 - v_2}{n_1 - n_2}; \quad a = \frac{v_2 n_1 - v_1 n_2}{n_1 - n_2};$$

Такой способъ опредѣленія коэффиціентовъ недостаточно точенъ, и его можно употреблять лишь въ томъ случаѣ, когда желаютъ знать только очень приближенную величину коэффиціентовъ вертушки. Въ большинствѣ же случаевъ, для опредѣленія ихъ употребляютъ слѣдующій пріемъ.

Такъ какъ для опредѣленія скорости беруть формулу: $v = a + bn$, то можно было бы написать $v - a - bn = o$, на самомъ же дѣлѣ, трехчленъ лѣвой части, благодаря тому, что a и b опредѣлены не точно, никогда не бываетъ равенъ нулю, но отличается отъ него на величину малую, которую назовемъ буквою α, и тогда можемъ написать:

$$v - a - bn = \alpha,$$

или

$$(v - a - bn)^2 = \alpha^2;$$

Если бы мы сдѣлали нѣсколько опредѣленій числа n для различныхъ скоростей, то могли бы написать:

$$(v_1 - a - bn_1)^2 = \alpha_1^2$$

$$(v_2 - a - bn_2)^2 = \alpha_2^2$$

$$(v_3 - a - bn_3)^2 = \alpha_3^2 \text{ и т. д.}$$

гдѣ α_1, α_2, α_3 малыя величины, тѣмъ болѣе приближающіяся къ нулю, чѣмъ вѣрнѣе опредѣлены коэффиціенты a и b. Въ теоріи вѣроятностей доказывается, что величины α_1, α_2, α_3 тѣмъ ближе къ

нулю, чѣмъ меньше сумма квадратовъ этихъ величинъ, или, другими словами, величины α будутъ наименьшими при наименьшемъ значеніи суммы квадратовъ ихъ. Такимъ образомъ, надо найти условія, при которыхъ сумма:

$$U = \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 + \ldots = (v_1 - a - bn_1)^2 + (v_2 - a - bn_2)^2 + \\ + (v_3 - a - bn_3)^2 + \ldots \ldots$$

получила бы значеніе минимума. Условія наименьшаго значенія функціи заключаются въ томъ, что ея первыя производныя, по всѣмъ перемѣннымъ, равны нулю, поэтому надо найти производныя правой части и приравнять ихъ нулю; такъ какъ неизвѣстныя въ правой части a и b, то надо продифференцировать по этимъ буквамъ сумму U и полученные результаты приравнять нулю, тогда найдемъ:

$$\frac{\partial U}{\partial a} = -2(v_1 - a - bn_1) - 2(v_2 - a - bn_2) - \\ - 2(v_3 - a - bn_3) \ldots = 0,$$

$$\frac{\partial U}{\partial b} = -2(v_1 - a - bn_1)n_1 - 2(v_2 - a - bn_2)n_2 - \\ - 2(v_3 - a - bn_3)n_3 \ldots = 0,$$

или, раздѣляя обѣ части написанныхъ равенствъ на -2, получимъ:

$$(v_1 - a - bn_1) + (v_2 - a - bn_2) + (v_3 - a - bn_3) + \ldots = 0$$

$$(v_1 - a - bn_1)n_1 + (v_2 - a - bn_2)n_2 + (v_3 - a - bn_3)n_3 + \ldots = 0,$$

если предположить, что число наблюденій надъ вертушкой было m, то число членовъ, стоящихъ въ скобкахъ, тоже будетъ m, поэтому, соединяя одинаковыя величины между собой, можемъ написать.

$$\Sigma v - am - b\Sigma n = 0$$

$$\Sigma vn - a\Sigma n - b\Sigma n^2 = 0, \quad \ldots \ldots \quad (1)$$

гдѣ:

$$\Sigma v = v_1 + v_2 + v_3 + \ldots,$$

$$\Sigma n = n_1 + n_2 + n_3 + \ldots,$$

$$\Sigma n^2 = n^2_1 + n^2_2 + n^2_3 + \ldots.$$

$$\Sigma vn = v_1 n_1 + v_2 n_2 + \ldots$$

Рѣшая эти два уравненія (1) относительно a и b, найдемъ:

$$a = \frac{\Sigma v \Sigma n^2 - \Sigma nv \Sigma n}{m\Sigma n^2 - (\Sigma n)^2}, \quad b = \frac{m\Sigma nv - \Sigma n \Sigma v}{m\Sigma n^2 - (\Sigma n)^2}.$$

Для полученія величинъ, входящихъ въ эти формулы, надо въ стоячей водѣ двигать лодку съ вертушкой, на опредѣленномъ разстояніи (D) при разныхъ скоростяхъ, и при этомъ замѣчать, какъ разность временъ движенія (t) на этомъ пространствѣ, такъ и число оборотовъ (N), которое дѣлаетъ колесо вертушки въ это время. Такихъ наблюденій, число которыхъ обозначено въ формулахъ для a и b буквою m, надо сдѣлать до 100.

Такимъ образомъ, для каждаго наблюденія получатся: скорость $v = \frac{D}{t}$, число оборотовъ въ секунду $n = \frac{N}{t}$, n^2 и произведеніе nv, соотвѣтствующее каждому наблюденію. Затѣмъ составляются суммы всѣхъ этихъ величинъ, обозначенныхъ въ формулахъ Σv, Σn и Σnv.

Вычисленія коэффиціентовъ ведутся въ такой таблицѣ:

Таблица данныхъ для опредѣленія коэффиціентовъ вертушки a и b.

№№ наблюденій.	Число оборотовъ N.	Время t.	Число оборотовъ въ сек. $\frac{N}{t} = n$	Скорость въ сек. $v = \frac{D}{t}$	nv	n^2

Когда всѣ величины, означенныя въ этой таблицѣ, вычислены для всѣхъ наблюденій, то скорости, найденныя по формулѣ $\frac{D}{t} = v$, и соотвѣтствующія имъ числа оборотовъ въ секунду $\frac{N}{t} = n$ откладываются на осяхъ координатъ, первыя—по направленію оси ординатъ, а вторыя—по направленію оси абсциссъ, въ такомъ масштабѣ, чтобы получить рядъ точекъ на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга; всѣ эти точки должны принадлежать нѣкоторой кривой, поэтому большую часть ихъ соединяютъ плавною кривою, и тогда обнаружится, какія точки отстоятъ значительно въ сторонѣ отъ плавной кривой. Наблюденія, соотвѣтствующія этимъ точкамъ, отбрасываются, а изъ остальныхъ дѣлается вычисленіе коэффиціентовъ.

418. Опредѣленіе скоростей теченія рѣки и расхода воды на станціяхъ. Расходъ воды опредѣляется въ различныхъ мѣстахъ рѣки, между каждыми двумя значительными притоками, а также и въ устьяхъ,

самихъ притоковъ. Кромѣ опредѣленія скоростей теченія въ томъ или другомъ профилѣ рѣки, производятъ опредѣленіе скоростей и расходовъ воды при различныхъ горизонтахъ на однихъ и тѣхъ же профиляхъ, впродолженіи однаго или нѣсколькихъ лѣтъ. Такого рода мѣста называются *гидрометрическими станціями*.

Мѣста расположенія гидрометрическихъ станцій избираются такъ, чтобы имѣть возможность изучить вліяніе на изслѣдуемую рѣку ея главнѣйшихъ притоковъ въ отношеніи количества водъ и измѣнчивости горизонта. Сообразно этому, гидрометрическія станціи устраиваются послѣ каждаго значительнаго притока рѣки, а также ниже самаго нижняго изъ нихъ.

Такимъ образомъ, гидрометрическихъ станцій на описываемой рѣкѣ можетъ быть нѣсколько, и производство на нихъ наблюденій можетъ продолжаться одну или нѣсколько навигацій, смотря по числу необходимыхъ станцій и числу лѣтъ, которыя предполагается употребить на изслѣдованіе рѣки. Мѣста для станцій выбираются такъ, чтобы колебанія горизонта у станціи совершались болѣе или менѣе правильнымъ и постепеннымъ образомъ, безъ внезапныхъ сильныхъ подноровъ или паденій горизонта отъ впадающихъ притоковъ.

Избравъ такимъ образомъ мѣсто для наблюденій, слѣдуетъ обратить вниманіе, имѣется ли въ данномъ мѣстѣ такая правильная часть русла, которая удовлетворяла бы слѣдующимъ условіямъ:

Русло рѣки въ мѣстѣ, гдѣ производятся опредѣленія расходовъ, должно имѣть, по возможности, правильную форму, безъ рѣзкихъ измѣненій глубинъ и безъ раздѣленія теченія на нѣсколько отдѣльныхъ рукавовъ, глубина должна быть не очень значительна, такъ какъ, иначе, опредѣленія скоростей при высокихъ горизонтахъ были бы слишкомъ затруднительны.

Мѣсто наблюденія ни въ какомъ случаѣ не должно быть расположено на перекатѣ, и уклонъ избраннаго участка не долженъ быть ни слишкомъ большимъ, ни слишкомъ малымъ, а долженъ, по возможности, соотвѣтствовать среднему уклону рѣки.

Грунтъ ложа и береговъ не долженъ быть скалистымъ или покрытымъ болѣе или менѣе значительными камнями или неровностями, могущими образовать водовороты, суводи и другія неправильности теченія.

Въ избранномъ мѣстѣ ни въ какомъ случаѣ не должно быть зна-

чительнаго разлива весеннихъ водъ, для того чтобы ширины рѣки, при различныхъ горизонтахъ, не слишкомъ разнились между собою.

Избранное мѣсто должно быть, по возможности, защищено отъ слишкомъ сильнаго вліянія вѣтра на подъемъ воды или ея сгонъ къ низу и на подъемъ со дна наносовъ.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда всѣ эти условія одновременно соблюдены быть не могутъ, и пункта рѣки, удовлетворяющаго всѣмъ имъ, не находится, тогда стараются выбрать такое мѣсто, которое удовлетворяло бы большему числу изъ указанныхъ выше условій.

Длина избираемаго мѣста берется отъ одной до трехъ верстъ, смотря по ширинѣ рѣки; такъ, напр., при ширинѣ, не превышающей 100 саж., ее берутъ въ одну версту, при 200 саж. — въ двѣ версты, при 300 саж. и болѣе—въ три версты. Выборъ этой длины долженъ удовлетворять еще тому главному условію, чтобы соотвѣтствующее ему паденіе, а также и измѣненія этого послѣдняго были величинами измѣряемыми.

Все избранное протяженіе рѣки снимаютъ въ масштабѣ 25 с. въ 1-й сотой сажени, если меженняя ширина рѣки не болѣе 100 саж., и въ масштабѣ — 50 саж. въ одной сотой сажени, если меженняя ширина рѣки болѣе 100 саженъ.

Реперы и водомѣрныя сваи ставятся на обоихъ берегахъ рѣки, по направленію трехъ поперечныхъ профилей, расположенныхъ въ началѣ, въ срединѣ и въ концѣ выбраннаго участка рѣки, и связываются между собою точною нивеллировкою. Нивеллировка поперекъ рѣки для связи реперовъ и водомѣрныхъ свай, находящихся на разныхъ берегахъ, производится, при значительной ширинѣ рѣки, зимою со льда; если же такой нивеллировки произвести нельзя, то отмѣтки горизонта воды относятъ на каждомъ берегу къ своему условному горизонту.

Впродолженіи навигаціи, какъ поперечные профиля, такъ и поперечная и продольная нивеллировка, провѣряются не менѣе двухъ разъ, приблизительно предъ началомъ и концомъ навигаціи; поперечная нивеллировка повѣряется, кромѣ того, и при всякомъ случаѣ, могущемъ возбудить сомнѣнія относительно сохраненія водомѣрными сваями первоначальнаго положенія.

Опредѣленіе коэффиціентовъ производится впродолженіи лѣта не менѣе двухъ разъ.

Наблюденія надъ измѣненіемъ горизонта воды, впродолженіи навигаціи, производятся помощью реекъ по водомѣрнымъ сваямъ. Для этой цѣли особый наблюдатель ежедневно, по крайней мѣрѣ, два раза, обходитъ съ рейкой въ одни и тѣ же часы всѣ водомѣрныя сваи по обоимъ берегамъ и записываетъ высоту горизонта воды, съ точностью до 0,002 сажени. Для защиты отъ волненія и возможно болѣе точнаго отсчета высоты горизонта, каждая свая ограждается снаружи ящикомъ безъ дна, въ стѣнкахъ котораго сдѣланы дыры, или дѣлаютъ какое-либо другое приспособленіе для защиты отъ волненія. При значительной ширинѣ рѣки, для наблюденія на каждомъ берегу назначается особый наблюдатель, причемъ наблюденія производятся по обоимъ берегамъ одновременно. Впродолженіи времени отъ начала осенняго ледохода до начала весенняго наводка, наблюденія надъ измѣненіемъ горизонта воды производятся только на одномъ какомъ-либо профилѣ, и притомъ на томъ только берегу, на которомъ находится помѣщеніе для наблюдателя. На случай опредѣленія скоростей теченія во время зимнихъ мѣсяцевъ, состояніе горизонта воды въ эти дни опредѣляется по обоимъ берегамъ на всѣхъ трехъ профиляхъ. При этомъ у сваи, на которой мѣряется вода, должна быть сдѣлана значительная прорубь.

Благодаря этимъ наблюденіямъ, можно точно опредѣлять уклонъ рѣки во время опредѣленія скоростей и расхода, зависимость между расходомъ рѣки и ея уклономъ въ томъ или другомъ мѣстѣ. Объ этомъ предметѣ подробно излагается въ гидравликѣ.

Опредѣленіе скоростей теченія, съ цѣлью вычисленія расходовъ воды, производится въ тихую погоду, насколько возможно, часто какъ при различныхъ, такъ и при одинаковыхъ горизонтахъ. Такія опредѣленія сообразуются также и съ характеромъ измѣненій горизонта, а именно: они должны быть расположены по длинѣ проходящихъ наводковъ въ различныхъ мѣстахъ, настолько часто, чтобы возможно было нанести графически линію измѣненія не только горизонтовъ, но и расходовъ.

Изъ числа промѣрныхъ профилей съ водомѣрными постами средній избирается для опредѣленія въ немъ скоростей теченія. Профиль этотъ измѣряется особенно тщательно.

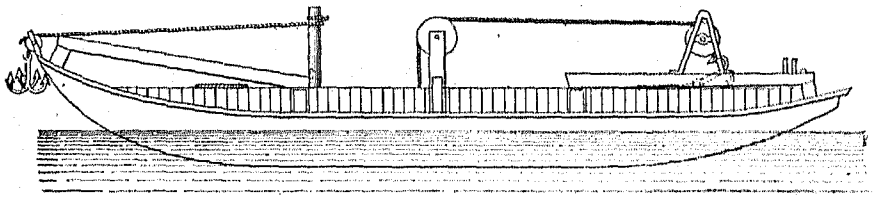
Нѣсколько выше линіи этого профиля, заблаговременно завинчиваются на днѣ винтовыя сваи или закладываются мертвые якоря,

съ прикрѣпленными къ нимъ цѣпями или прочными снастями, длиною больше, чѣмъ глубина рѣки въ этомъ мѣстѣ. Или же загружается поперекъ рѣки канатъ, на подобіе туэрной цѣпи. Дѣлается это съ цѣлью удерживать лодку или плотъ, съ котораго будутъ измѣряться скорости, постоянно на однихъ и тѣхъ же мѣстахъ, при опредѣленіяхъ въ различные дни.

Но какой бы способъ ни былъ выбранъ, измѣренія скоростей должны производиться на створахъ профиля такъ, чтобы положеніе этихъ точекъ на самой линіи профиля было точно опредѣлено.

На чертежахъ 494 и 495 изображенъ въ фасадѣ и планѣ такой плотъ съ лебедкой и блокомъ для опусканія вертушки въ воду.

Опредѣленіе глубины дѣлается слѣдующимъ образомъ. Когда плотъ, подтягиваніемъ якоря, установленъ такъ, что отвѣсная проволока



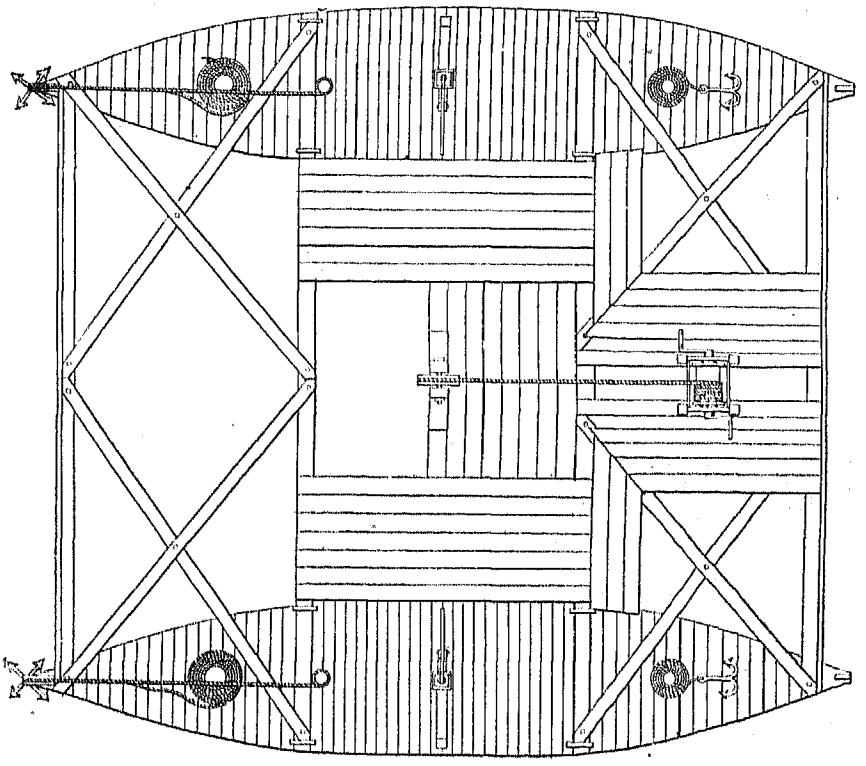
Черт. 494.

на которой подвѣшена вертушка, находится въ створѣ вѣхъ, означающихъ направленіе для живого сѣченія, то, при помощи лебедки, вертушку опускаютъ настолько, чтобы поддонъ A (черт. 491) нижней своей поверхностью коснулся горизонта воды, читаютъ на счетчикѣ лебедки у индекса отсчетъ и опускаютъ вертушку на дно до тѣхъ поръ, пока поддонъ A не коснется дна рѣки, что узнается по слабинѣ проволоки, тогда вновь читаютъ у индекса счетчика лебедки, разность двухъ сдѣланныхъ отсчетовъ дастъ величину глубины рѣки въ данной вертикали.

Для производства наблюденій вертушкою устраивается помостъ изъ двухъ лодокъ, соединенныхъ между собою на разстояніи не менѣе одной сажени. Во время измѣренія скоростей плотъ удерживается четырьмя якорями. На широкихъ и многоводныхъ рѣкахъ, на которыхъ опредѣленіе скоростей теченія во время весенняго разлива сопряжено съ большими затрудненіями и потому въ одинъ день не

можетъ быть исполнено, слѣдуетъ производить наблюденія надъ скоростями одновременно съ двухъ или трехъ плотовъ.

Число вертикалей, въ которыхъ опредѣляются скорости, берется различное, что зависитъ отъ ширины рѣки и отъ большей или меньшей измѣнчивости скоростей, соотвѣтствующихъ различнымъ вертикалямъ, но, во всякомъ случаѣ, разстояніе между вертикалями не



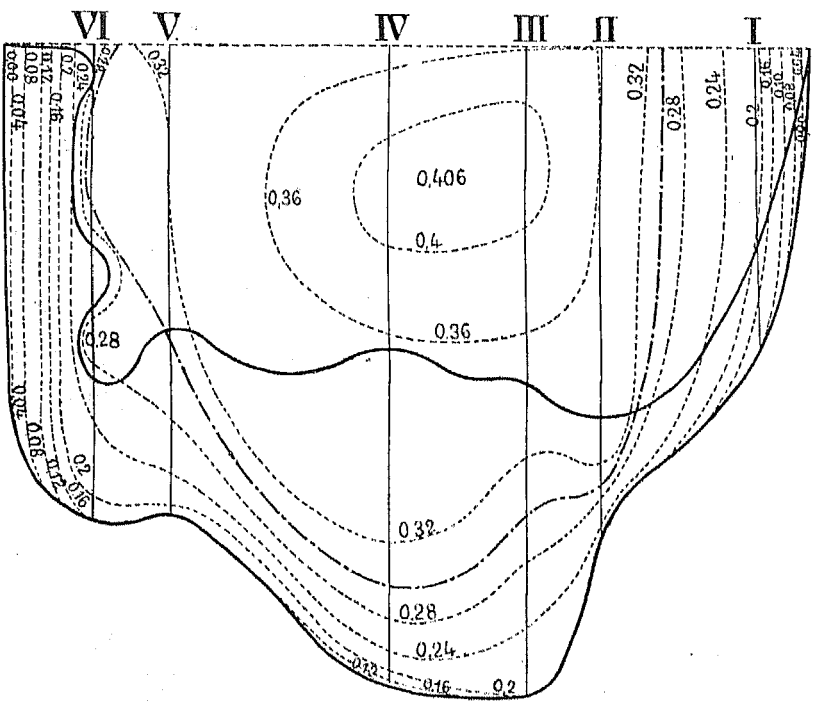
Черт. 495.

слѣдуетъ брать рѣже 40 саженъ. Чертежъ 496-й изображаетъ профиль, въ которомъ для опредѣленія скоростей взято шесть вертикалей, означенныхъ римскими цифрами отъ I до VI.

Число точекъ каждой вертикали, въ которыхъ наблюдаются скорости, зависитъ отъ глубины; такъ, при глубинахъ, меньшихъ одного аршина, опредѣленіе скоростей должно быть сдѣлано, по крайней мѣрѣ, въ двухъ точкахъ, причемъ одна изъ нихъ должна быть на 10 сотыхъ сажени ниже поверхности воды, а другая на 0,6 глу-

бины, считая отъ поверхности; при глубинахъ отъ 1 аршина до 1 сажени, — въ трехъ точкахъ, именно: на 0,1 саж. ниже поверхности воды, на 0,6 глубины отъ поверхности и у дна; наконецъ, при глубинахъ большихъ 1 саж.—не менѣе какъ въ пяти точкахъ, именно: на 0,1 саж. ниже поверхности, а также на 0,2; 0,5; 0,6; 0,75 глубины, считая отъ поверхности, и у дна.

Когда числа секундъ, для промежутковъ между двумя звонками,



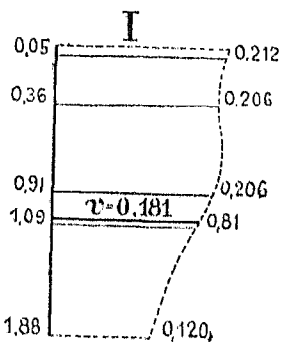
Черт. 496.

соотвѣтствующія ста оборотамъ колеса вертушки, получаются довольно согласныя между собою, т. е. когда они мало разнятся другъ отъ друга, тогда въ каждой точкѣ отдѣльной вертикали скорость опредѣляется не менѣе трехъ разъ. Когда промежутки между звонками отличаются другъ отъ друга на значительныя величины, то число наблюденій увеличивается и доводится иногда до десяти. Значительныя разницы между числомъ секундъ для одной и той же точки, главнымъ образомъ, получаются тамъ, гдѣ скорость малая. Въ нѣкоторыхъ вертикаляхъ малая скорость бываетъ такою у дна или на

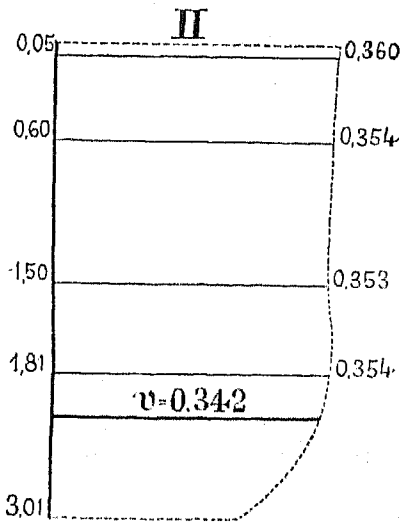
вертикаляхъ, расположенныхъ вблизи береговъ. Гдѣ же скорость не менѣе 0,10 саж., тамъ всегда получаются замѣчательно согласныя разности въ числѣ секундъ.

Иногда несогласія получаются благодаря тому, что между колесомъ и осью попадаетъ какой-нибудь посторонній предметъ: листокъ, тина и т. п. Въ этихъ случаяхъ надо поднять вертушку изъ воды и осмотрѣть ее.

При производствѣ опредѣленія скоростей отмѣчается время начала и конца опредѣленія и соотвѣтственные этимъ временамъ горизонты, а расходъ воды относится къ среднему изъ этихъ горизонтовъ.



Черт. 497.



Черт. 498.

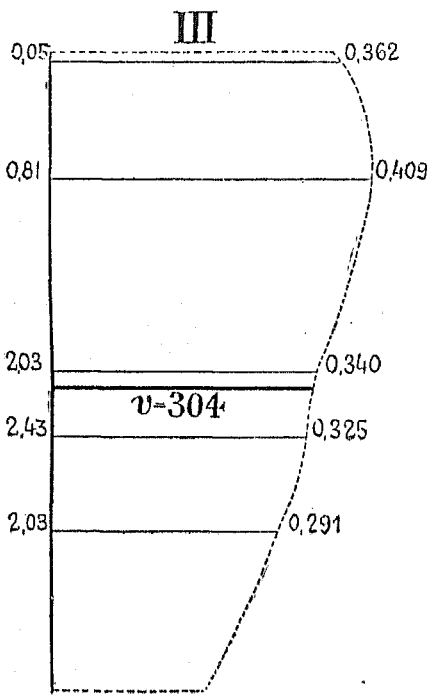
Для опредѣленія одного расхода всегда слѣдуетъ стремиться сдѣлать наблюденія надъ скоростями во всемъ профилѣ впродолженіи одного дня, но если окажется число точекъ столь значительнымъ, что успѣть сдѣлать всѣ наблюденія въ одинъ день невозможно, то сокращаютъ число точекъ въ вертикали до трехъ, двухъ и даже одной, предпочитая всѣмъ другимъ точкамъ точку 0,6 глубины, считая отъ поверхности, потому что и теоретически, и по опытамъ оказывается, что въ этой точкѣ скорость равна средней скорости изъ всѣхъ скоростей одной вертикали.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда, несмотря на сокращенія, всѣ необходимыя наблюденія не могли быть сдѣланы въ одинъ день, ихъ оканчиваютъ на слѣдующій день.

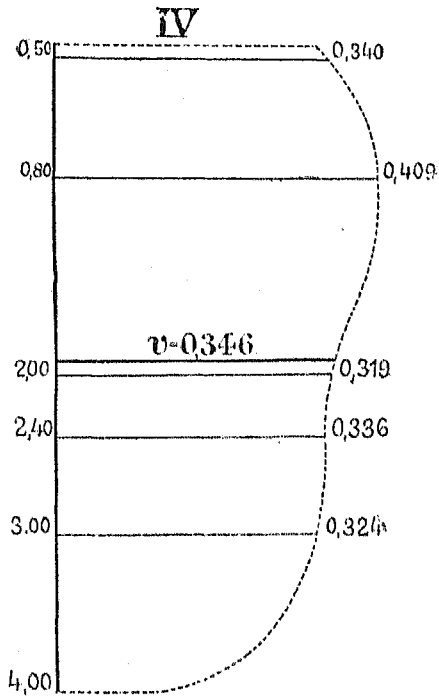
Всѣ эти случаи подробно отмѣчаются въ журналѣ съ обозначеніемъ времени начала и конца опредѣленія скоростей и степени измѣненія горизонта.

Одновременно съ наблюденіемъ скоростей, гдѣ оказывается возможнымъ, беруть пробы воды для опредѣленія количества несомыхъ рѣкою наносовъ.

На основаніи вычисленныхъ скоростей и измѣренныхъ глубинъ, для опредѣленія расхода вычерчиваются кривыя или, лучше сказать,



Черт. 499.



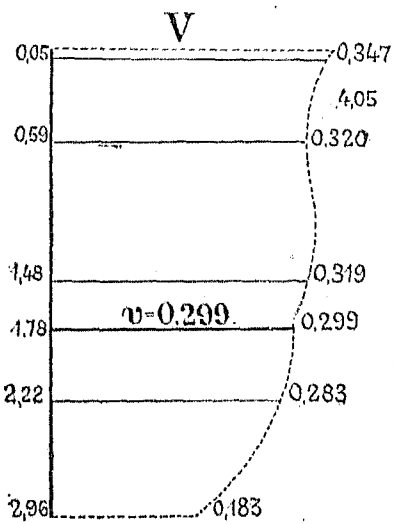
Черт. 500.

ломаныя распредѣленія скоростей въ каждой вертикали, причемъ, для большей наглядности, принимаются три различные масштаба для вертикальныхъ разстояній и для скоростей.

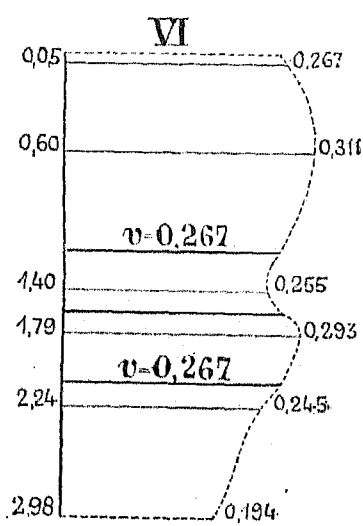
На чертежахъ отъ 491-го до 502-го вертикальныя линіи изображаютъ глубины тѣхъ мѣстъ рѣки, гдѣ опредѣлялись скорости, горизонтальныя линіи изображаютъ, въ болѣе крупномъ масштабѣ, вычисленныя скорости.

Величина площади, ограниченной кривою распредѣленія скоростей, вертикальною линіей и горизонтомъ воды, опредѣляется планиметромъ; она представляетъ собою, такъ сказать, *элементарный расходъ*. Помноженіемъ полусуммы двухъ смежныхъ элементарныхъ расходовъ на разстояніе между соотвѣтствующими имъ вертикалями, получается часть расхода между этими вертикалями, а сумма такихъ частей, очевидно, составляетъ весь расходъ профиля. Сверхъ расходовъ, вычисляется частное отъ дѣленія расхода на площадь профиля, или средняя скорость профиля.

Вычисленіе расхода дѣлается и иначе, именно вычерчивается профиль русла рѣки (черт. 496), и на соотвѣтственныхъ вертика-



Черт. 501.



Черт. 502.

ляхъ назначаются точки, имѣющія одинаковыя скорости, взятыя съ кривыхъ распредѣленія скоростей, означенныя на черт. 497-мъ до 502 (I, II, III, IV, V и VI); при этомъ взяты точки, соотвѣтствующія скоростямъ 0,12 саж.; 0,14; 0,16; 0,20; 0,24; 0,28; 0,32; 0,36; 0,40. Всѣ эти точки на профилѣ (черт. 496) соединяются кривыми, которыя называются *линіями равныхъ скоростей*, или *изотахіями*. Измѣривъ планиметромъ всѣ площади, образованныя изотахіями, надо каждую изъ площадей умножить на среднюю ариѳметическую изъ двухъ смежныхъ скоростей. Сумма всѣхъ этихъ произведеній

будетъ равна Q, расходу воды въ рѣкѣ. А частное отъ дѣленія расхода на площадь живого сѣченія P дастъ среднюю скорость v.

Такимъ образомъ, для профиля, изображеннаго на чертежѣ 496-мъ, расходъ оказался равнымъ 190,34 куб. саж., площадь живого сѣченія равною 638,5 кв. саж. и средняя скорость рѣки въ данномъ профилѣ равной 0,298 сажени.

419. Изслѣдованіе перекатовъ. Перекаты, на большинствѣ русскихъ рѣкъ, составляютъ самое главное препятствіе большой осадкѣ судовъ въ лѣтнее, или меженнее время; поэтому изслѣдованіе перекатовъ исполняется съ возможною подробностію.

Отмѣтки уровня воды на перекатахъ слѣдуетъ непремѣнно опредѣлять выше и ниже перекатовъ и, если возможно, у обоихъ береговъ. Съ этою цѣлью, при значительной ширинѣ рѣки, магистраль ведется по двумъ берегамъ ея. При малой же ширинѣ рѣки (не болѣе 75 саж.) магистраль ведется по одному берегу, нивеллировка же точекъ другого берега связывается съ точками магистрали нивеллиромъ, не допуская предположенія, что горизонтъ воды на обоихъ берегахъ имѣетъ, по направленію профиля, одинаковыя отмѣтки, какъ можно было-бы съ перваго раза подумать.

Отмѣтки уровня воды должны опредѣляться у обоихъ береговъ и при значительной ширинѣ рѣки. Для этого слѣдуетъ разбить и измѣрить магистраль на обоихъ берегахъ переката; для связи же отмѣтокъ точекъ магистральныхъ линій одного берега съ другимъ, можно воспользоваться поверхностью воды, въ глубокихъ прямыхъ плесахъ, выше и ниже переката, такъ какъ слѣдуетъ полагать, что ее можно принять въ такихъ мѣстахъ безъ большой погрѣшности за горизонтальную, тогда какъ на перекатѣ поверхность воды, по направленію профилей, въ большинствѣ случаевъ не горизонтальна.

На перекатахъ не слѣдуетъ ограничиваться отмѣтками уровня воды выше и ниже переката; ихъ опредѣляютъ, по возможности, на всѣхъ промѣрныхъ профиляхъ.

Такъ какъ колебанія уровня воды у перекатовъ, вообще говоря, могутъ отличаться отъ измѣненій уровня на постоянныхъ водомѣрныхъ постахъ, то производятъ наблюденія надъ измѣненіемъ горизонта воды у перекатовъ втеченіи одной или нѣсколькихъ навигацій, причемъ нули реекъ связываютъ нивеллировкою съ постоянными реперами, имѣющимися близъ перекатовъ.

Для возможности изслѣдованій перекатовъ, черезъ нѣкоторые промежутки времени, перекаты обставляютъ достаточнымъ числомъ прочныхъ реперовъ, къ которымъ относятъ точно: положеніе магистральной линіи, всѣ линіи равныхъ глубинъ и нивеллировочныя отмѣтки.

Если изслѣдованіе перекатовъ желательно произвести со всевозможною полнотою, то слѣдуетъ устроить на нихъ или, по крайней мѣрѣ, на нѣкоторыхъ изъ нихъ, особыя наблюдательныя станціи. Работа на такихъ станціяхъ производится слѣдующимъ образомъ.

Станція устраивается въ межень, а всѣ измѣренія на ней производятся до осенняго ледохода того же года, а также въ послѣдующіе годы съ конца весенняго ледохода и до начала осенняго.

Профиля разбиваются чрезъ 50 саженъ. Чтобы возможно было судить объ измѣненіи дна перекатовъ, на нѣкоторыхъ изъ нихъ промѣры производятся на однихъ и тѣхъ же мѣстахъ, для чего на берегу забиваютъ сваи по прямымъ и косымъ створамъ.

Сваи эти должны имѣть пятку, въ которую, во время промѣровъ, вставляются вѣхи съ флагами. Сваи должны быть разставлены такъ, чтобы точки профиля, опредѣляемыя пересѣченіемъ косыхъ и прямыхъ створовъ, приходились другъ отъ друга около 20 саженъ.

На всѣхъ подобныхъ профиляхъ, одновременно съ промѣрами, опредѣляются скорости теченія рѣки на поверхности.

Какъ для промѣровъ, такъ и для опредѣленія скорости въ опредѣленной вертикали, лодка должна удерживаться на двухъ якоряхъ, положенныхъ выше профиля.

По всѣмъ остальнымъ профилямъ промѣры дѣлаются по гребкамъ. Чтобы судить объ измѣненіи скоростей на перекатѣ съ измѣненіемъ уклона, чрезъ одинъ профиль устраиваютъ на обоихъ берегахъ водомѣрные посты. Сваи водомѣрныхъ постовъ связываютъ между собою на каждомъ берегу точной нивеллировкой.

Зимою же, если окажется возможнымъ, дѣлаютъ нивеллировку между сваями обоихъ береговъ.

Наблюденія на водомѣрныхъ постахъ дѣлаются въ то время, когда опредѣляются скорости, чтобы можно было для этого-же времени найти уклонъ, съ какимъ вода вступаетъ въ профиль и съ какимъ изъ него выступаетъ.

Въ тѣ дни, когда измѣреніе скоростей, вслѣдствіе вѣтряной погоды или какихъ нибудь другихъ причинъ, не производится, наблю-

денія надъ состояніемъ горизонта воды производятся одинъ разъ въ день на профилѣ, въ которомъ опредѣляется расходъ. Во время опредѣленія скоростей на нѣкоторыхъ профиляхъ берутъ пробы воды для опредѣленія количества влекомыхъ осадковъ.

Въ одномъ изъ профилей опредѣляютъ расходъ воды нѣсколько разъ впродолженіи лѣта.

Направленіе теченія опредѣляютъ по движенію поплавковъ.

По окончаніи всѣхъ измѣреній на профиляхъ, тѣ же измѣренія повторяются снова и въ томъ же порядкѣ. При этомъ надо стремиться собрать какъ можно больше подобныхъ серій наблюденій.

Кромѣ изслѣдованія нѣсколькихъ перекатовъ, собираютъ свѣдѣнія о глубинахъ на всѣхъ перекатахъ за разные годы, а также свѣдѣнія о наименьшихъ глубинахъ на нихъ.

420. О приведеніи всѣхъ полевыхъ работъ къ условной поверхности, или условному горизонту. Съ измѣненіемъ горизонта воды въ рѣкѣ измѣняется, въ большихъ или меньшихъ предѣлахъ, очертаніе урѣзовъ воды, поэтому, когда составляется планъ очертанія береговъ рѣки, непремѣнно должно быть отмѣчено на планѣ время, въ какое производилась съемка береговъ. Такъ какъ производство работъ по изслѣдованію рѣки продолжается довольно длинный промежутокъ времени, втеченіи котораго горизонтъ воды мѣняется, то всѣ собранныя данныя должны быть приведены къ условной поверхности воды. При выборѣ этой поверхности руководствуются наблюденіями водомѣрныхъ постовъ и за условную поверхность принимаютъ тотъ горизонтъ меженнихъ водъ рабочаго года, который имѣлъ мѣсто одновременно въ этомъ году на всемъ изслѣдуемомъ участкѣ рѣки, и который можно считать наиболѣе постояннымъ изъ низкихъ стояній воды для даннаго года.

Когда разные участки рѣки изслѣдуются въ разные годы, то ежегодно принятые условные горизонты должны разниться между собою, по возможности, менѣе.

Если предыдущее правило для выбора условнаго горизонта допускаетъ нѣсколько рѣшеній, то слѣдуетъ остановиться на той поверхности, при которой получаются наименьшія разницы между условными поверхностями смежныхъ участковъ.

Если изслѣдуемая рѣка подвержена частымъ лѣтнимъ паводкамъ, такъ что на всемъ изслѣдуемомъ, въ рабочій годъ, участкѣ нельзя

выбрать однодневной постоянной поверхности воды, то за условную поверхность слѣдуетъ принимать низшее стояніе уровня воды въ рѣкѣ, послѣдовательно наступавшее у мѣстъ всѣхъ водомѣрныхъ постовъ этого участка.

Если наблюденія надъ измѣненіемъ уровня воды въ рѣкѣ имѣются за нѣсколько лѣтъ, и колебанія его настолько правильны, что можно предвидѣть за нѣсколько дней время наступленія межени въ разныхъ частяхъ изслѣдуемаго участка по времени наступленія ея въ верхнихъ частяхъ рѣки, то для опредѣленія условной поверхности можетъ быть примѣненъ слѣдующій способъ.

Весь изслѣдуемый участокъ рѣки подраздѣляется на нѣсколько отдѣльныхъ частей, поручаемыхъ особымъ инженерамъ или техникамъ, которые, съ наступленіемъ межени, связываютъ уровень воды на всемъ порученномъ имъ участкѣ съ реперами, расположенными на берегу. Впослѣдствіи всѣ эти реперы вводятся въ общую нивеллировку, и, такимъ образомъ, въ нѣсколькихъ точкахъ непосредственно получаются отмѣтки меженней поверхности воды.

Отмѣтки промежуточныхъ точекъ получаются черезъ измѣненіе отмѣтокъ воды при рабочемъ горизонтѣ на высоту прибылыхъ водъ у смежныхъ реперовъ.

Если опредѣленіе времени наступленія межени окажется затруднительнымъ или если, по какимъ-либо другимъ причинамъ, этотъ способъ окажется неудобнымъ, то, для приведенія всѣхъ данныхъ къ одной условной поверхности, употребляютъ другой способъ, пользуясь наблюденіями надъ колебаніемъ уровня воды, произведенными на водомѣрныхъ постахъ и при производствѣ нивеллировки.

Для приведенія отмѣтокъ горизонта воды, полученныхъ непосредственною нивеллировкою, къ отмѣткамъ выбранной условной поверхности, можно пользоваться однимъ изъ слѣдующихъ способовъ.

Величина срѣзки для каждой нивеллировочной отмѣтки воды между двумя водомѣрными постами можетъ быть получена интерполяціей изъ показаній двухъ смежныхъ водомѣрныхъ постовъ, во время полученія нивеллировочной отмѣтки. Если H_1 и H_2—высоты уровня воды надъ условною поверхностью на сосѣднихъ водомѣрныхъ постахъ во время полученія нивеллировочной отмѣтки; d_1 и d_2—разстоянія точки отъ водомѣрныхъ постовъ, а h—величина срѣзки, то

можно написать пропорцію:

$$(H_1 - h) : (h - H_2) = d_1 : d_2;$$

откуда

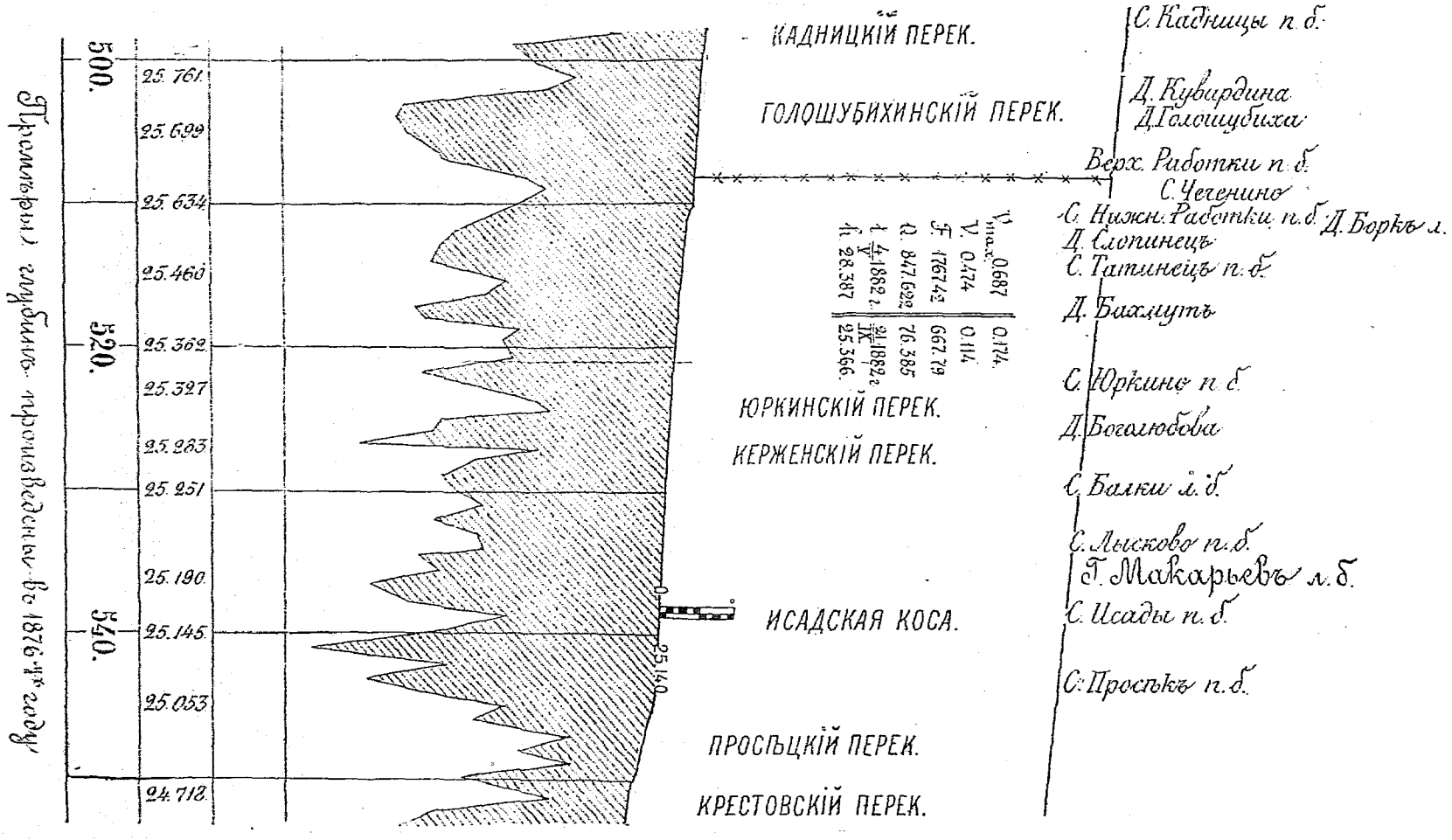
$$h = \frac{H_1 d_2 + H_2 d_1}{d_1 + d_2}.$$

Недостатокъ этого способа заключается въ томъ, что отмѣтки исправляются на основаніи ежедневныхъ наблюденій по водомѣрнымъ рейкамъ, между тѣмъ какъ наблюденія эти поручаются часто простымъ рабочимъ, а потому, въ большинствѣ случаевъ, не могутъ быть принимаемы съ совершеннымъ довѣріемъ. Кромѣ того, ежедневная прибыль или убыль воды, въ данномъ мѣстѣ, можетъ разниться отъ полученной путемъ интерполяціи изъ прибыли и убыли на водомѣрныхъ постахъ, вслѣдствіе чего отмѣтки, по введеніи поправокъ, могутъ сильно разниться отъ опредѣленныхъ непосредственно. Вслѣдствіе этихъ неудобствъ предпочтителенъ другой способъ приведенія.

При самомъ производствѣ нивеллировки дѣлаются наблюденія надъ измѣненіями уровня воды какъ во время производства работъ, такъ и въ промежутокъ времени отъ конца работъ одного дня до начала ихъ въ другой день. Первое изъ этихъ измѣненій разбивается пропорціонально времени и вводится въ полученныя нивеллировкой отмѣтки для приведенія ихъ къ утру рабочаго дня; сумма-же дневного и ночного измѣненій представляетъ собой разность рабочихъ горизонтовъ смежныхъ дней.

Всѣ эти разности рабочихъ горизонтовъ отъ начала работъ, при какомъ-нибудь водомѣрномъ постѣ до нѣкоторой точки, послѣдовательно прикладываются къ высотѣ уровня воды у водомѣрнаго поста, надъ условнымъ горизонтомъ, и полученная сумма вычитается изъ отмѣтки рабочаго горизонта при этой точкѣ.

Полученная разность могла бы быть признана за отмѣтку условной поверхности, но такъ какъ при слѣдующемъ водомѣрномъ постѣ обнаруживается разница между опредѣленной такимъ образомъ отмѣткой условной поверхности и отмѣткой, опредѣленной непосредственно, по отмѣткѣ нуля рейки и показанію ея, соотвѣтствующему межени,— то разность эта, независимая отъ ошибокъ въ нивеллировкѣ, должна быть разбита на весь промежутокъ между двумя водомѣрными по-


Профиль глубинъ произведенныхъ въ 1876-мъ году
500.
520.
540.
25.761
25.699
25.634
25.460
25.362
25.327
25.283
25.251
25.190
25.145
25.053
24.718
КАДНИЦКІЙ ПЕРЕК.
ГОЛОШУБИХИНСКІЙ ПЕРЕК.
ЮРКИНСКІЙ ПЕРЕК.
КЕРЖЕНСКІЙ ПЕРЕК.
ИСАДСКАЯ КОСА.
ПРОСЪЦКІЙ ПЕРЕК.
КРЕСТОВСКІЙ ПЕРЕК.
25.140
С. Кадницы п. б.
Д. Кувирдина
Д. Голошубиха
Верх. Работки п. б.
С. Чегенино
С. Нижн. Работки п. б.
Д. Борокъ л.
Д. Слопинецъ
С. Тапинецъ п. б.
Д. Бахмутъ
С. Юркино п. б.
Д. Богалюбова
С. Балки л. б.
С. Лысково п. б.
Г. Макарьевъ л. б.
С. Исады п. б.
С. Просъкъ п. б.
Vmax. 0.687
V. 0.474
F. 176743
Q. 847.622
t 4/V 1882 г.
h 28.387
0.174.
0.114
667.79
76.385
24/IX 1882 г.
25.366.

Черт. 508.

стами. Разбивку эту производятъ пропорціонально найденнымъ паденіямъ уровня воды, но не пропорціонально разстояніямъ между постами, такъ какъ разбивка пропорціонально разстоянію ввела бы значительныя измѣненія уклоновъ въ частяхъ рѣки съ незначительными паденіями.

На основаніи всѣхъ собранныхъ данныхъ при изслѣдованіи рѣки составляются графики водомѣрныхъ постовъ и гидрометрическихъ наблюденій, карты, профиля, подробные и сокращенные, въ масштабахъ, всякій разъ устанавливаемыхъ для каждой рѣки, съ показаніемъ горизонта, имѣвшаго мѣста во время работы, а также съ показаніемъ и условнаго горизонта. Черт. 503-й изображаетъ часть сокращеннаго профиля. На немъ означены: условный горизонтъ воды, дно рѣки по фарватеру, отмѣтки горизонта воды и дна, величины скоростей и расходъ воды, названія перекатовъ и населенныхъ мѣстъ.

Глава XLI.

О ТЕОДЕЗИЧЕСКИХЪ ИЗЫСКАНІЯХЪ ДЛЯ СУХОПУТНЫХЪ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ.

421. Общія понятія. Въ этой главѣ мы, главнымъ образомъ, будемъ говорить объ изысканіяхъ для желѣзныхъ дорогъ, такъ какъ все здѣсь сказанное легко примѣняется къ шоссейнымъ и грунтовымъ дорогамъ.

Предположенія о постройкѣ дороги между двумя пунктами исходятъ, главнымъ образомъ, отъ правительства, но также иногда и отъ частныхъ лицъ. Правительство назначаетъ или только два крайнихъ пункта, или еще и нѣсколько другихъ промежуточныхъ, чрезъ которые должна пройти дорога, такъ что задача производителя изысканій, во всякомъ случаѣ, заключается *въ проектированіи дороги между двумя пунктами, назначенными заранѣе.*

Производитель изысканій обязанъ руководствоваться инструкціями, утвержденными министромъ путей сообщенія. Въ инструкціи этой между прочимъ указывается, каковы должны быть предѣльные

радіусы кривыхъ и уклоны въ проектируемой дорогѣ, какой длины должны быть горизонтальныя площадки, каковъ допускается уклонъ на кривыхъ, каковы предѣльныя величины высотъ насыпей и выемокъ, какова должна быть ширина полотна, и т. п. *техническія условія*.

Всѣ изысканія, какія производились у насъ въ Россіи для желѣзныхъ дорогъ, можно раздѣлить на слѣдующія рубрики:

1) рекогносцировочныя изысканія;
2) развѣдочныя, или летучія изысканія;
3) предварительныя;
4) повѣрочныя изысканія, или дополнительныя изысканія;
5) окончательныя изысканія.

Кажется, не было случая, чтобы всѣ эти пять родовъ изысканій примѣнялись къ одной какой-нибудь линіи. Для большинства дорогъ, уже построенныхъ, примѣнялись два, три и, въ рѣдкихъ случаяхъ, четыре рода изысканій, именно: въ мѣстностяхъ ровныхъ средней Россіи — дѣлались 1)предварительныя и 2)окончательныя изысканія; въ мѣстностяхъ холмистыхъ — предварительныя, 1)повѣрочныя и окончательныя или 1)развѣдочныя, 2)предварительныя и окончательныя; въ мѣстностяхъ гористыхъ 1)развѣдочныя, 2)предварительныя, 3)повѣрочныя и окончательныя или рекогносцировочныя, 2)предварительныя, 3)повѣрочныя и *окончательныя*.

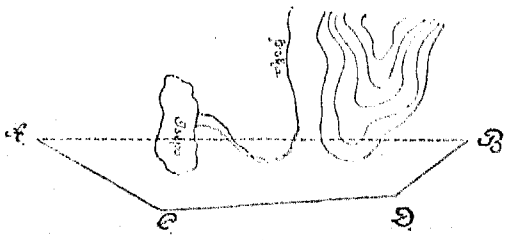
Всѣ эти пять родовъ изысканій во многомъ между собою сходствуютъ, такъ что главныя правила, которыя надо соблюдать при однихъ изысканіяхъ, почти цѣликомъ также прикладываются и къ другимъ. Но какого бы рода изысканія ни производились, предварительное назначеніе линіи всегда дѣлается по картѣ.

422. Назначеніе направленія дороги по генеральной картѣ. Приступая къ проектированію направленія дороги между двумя данными точками, слѣдуетъ сначала запроектировать ее на генеральной картѣ. Для этой цѣли можно пользоваться генеральной гипсометрической картой Европейской Россіи въ масштабѣ 60 верстъ въ дюймѣ, изданія министерства путей сообщенія, составленной А. А. Тилло.

Главная цѣль каждой дороги заключается въ соединеніи двухъ какихъ-нибудь точекъ, поэтому *общее направленіе дороги должно быть, насколько возможно, кратчайшимъ*.

Соединивъ на картѣ линіею двѣ данныя точки, надо посмотрѣть, не пересѣкаетъ-ли эта *линія какого-нибудь непроходимаго для дороги*

мѣста, напр., большого озера, части моря, большого населеннаго пункта. Во всѣхъ этихъ случаяхъ придется обойти эти препятствія, и потому направленіе сдѣлается не прямымъ, а ломанымъ. Такъ, на черт. 504-мъ прямое направленіе AB замѣнено ломаной $ACDB$, для того чтобы не пересѣкать озера, рѣки и горы. Точно также можетъ случиться, что небольшое отклоненіе отъ кратчайшаго направленія дастъ возможность *избѣжать большого числа пересѣченій съ рѣкою или приблизиться къ тому или другому городу, къ значительному селенію или заводу, или, вообще, къ нѣкоторымъ пунктамъ, которые могутъ питать дорогу грузами и пассажирами.*



Черт. 504.

Если отклоненіе дороги отъ кратчайшаго направленія, для обхода рѣки или для соединенія съ тѣми или другими пунктами, потребуетъ значительнаго увеличенія издержекъ на постройку, то надо запроектировать оба направленія какъ кратчайшее, такъ и отклоняющееся отъ него. Подобнымъ образомъ слѣдуетъ поступить, если по обѣ стороны кратчайшаго направленія находятся важные пункты, относительное преимущество которыхъ не достаточно ясно опредѣляется свѣдѣніями, полученными изъ имѣющихся у изыскателя источниковъ.

423. Назначеніе точекъ дороги на спеціальной и топографической картѣ. Когда окончено назначеніе дороги на генеральной картѣ, то слѣдуетъ перенести всѣ углы переломовъ линіи съ генеральной карты на, такъ называемую, спеціальную карту, въ масштабѣ 10 верстъ въ дюймѣ. Такая карта всей Европейской Россіи, изданная военно-топографическимъ отдѣломъ, имѣется въ продажѣ. На этой спеціальной картѣ придется назначить еще болѣе промежуточныхъ точекъ, нежели на генеральной, руководствуясь соображеніями, указанными выше, при назначеніи точекъ на генеральной картѣ.

Наконецъ, всѣ переломы линіи, назначенные на спеціальной картѣ, слѣдуетъ перенести на военно-топографическую карту, въ

масштабѣ 3 версты въ дюймѣ. Листы этой карты имѣются также въ продажѣ почти для всей западной части Европейской Россіи отъ линіи, идущей изъ Петербурга къ Москвѣ, Воронежу и Ростову на Дону, а также для всего Кавказа.

Недостатки нашей военно-топографической карты для цѣлей изысканій заключаются въ томъ, что на ней не означены глубины водъ и болотъ, мало цифръ, выражающихъ высоты точекъ, грунтовыя дороги нанесены безъ должнаго подраздѣленія, лѣса изображены однообразно и блѣдно, такъ что опушки ихъ не вырисовываются столь ясно, чтобы служить для оріентированія, и часто тамъ, гдѣ назначены на картѣ лѣса, въ дѣйствительности ихъ не оказывается, такъ какъ карты напечатаны уже давно.

Хотя на картахъ трехверстнаго масштаба неровности и означены штрихами, но относительныя возвышенія точекъ поверхности земли могутъ быть опредѣлены при помощи штриховъ только приблизительно (§ 40).

Лучше всего исполнена трехверстная карта для западныхъ пограничныхъ пространствъ, а также для юга Россіи съ Крымомъ. Вообще, трехверстныя карты, исполненныя на основаніи съемокъ послѣ 1877 года, болѣе совершенны.

Кромѣ трехверстной карты, по особому заказу военно-топографическому отдѣлу, можно получить фотографическіе снимки съ полевыхъ брульоновъ, составленныхъ въ масштабѣ 250 саженъ въ дюймѣ; на такихъ брульонахъ, составленныхъ съ 1877, имѣются также горизонтали.

Для тѣхъ же мѣстностей, для которыхъ нѣтъ картъ трехверстнаго масштаба, десятиверстная карта является единственною подробною картою для назначенія дороги. Кромѣ того для нѣкоторыхъ мѣстностей Европейской Россіи въ магазинѣ главнаго штаба имѣются въ продажѣ также карты одноверстнаго, двухверстнаго и пятиверстнаго масштаба.

Но какими-бы картами ни пришлось пользоваться, пособіемъ, при опредѣленіи возвышенія одинѣхъ точекъ надъ другими, могутъ также служить генеральныя карты Европейской Россіи, изданія министерства путей сообщенія: 1) карта высотъ, 2) карта длины всѣхъ рѣкъ, на которой назначены, чрезъ каждыя 5 саж., отмѣтки лѣтняго горизонта воды, и, наконецъ, 3) гипсометрическая карта съ

горизонталями. При помощи этихъ картъ можно опредѣлить отмѣтки нѣкоторыхъ точекъ топографической карты.

Часто съ генеральной карты точки проектируемой дороги переносятъ прямо на трехверстную, пропуская десятиверстную карту, но казалось-бы, что дѣлать этого не слѣдуетъ, такъ какъ работа на десятиверстной картѣ иногда бываетъ удобнѣе, потому что здѣсь является возможность сразу видѣть большое пространство.

Когда всѣ точки поворотовъ назначены на листахъ топографической, или спеціальной карты, то ихъ соединяютъ прямыми линіями, причемъ всѣ рѣки, въ мѣстахъ пересѣченія этими линіями, покрываются синею краскою на значительной ширинѣ; для большей наглядности, главныя рѣки покрываются темно-синею краскою, притоки ихъ свѣтло-синею, притоки притоковъ еще болѣе свѣтлою и т. д. Затѣмъ назначаютъ предѣлы главныхъ склоновъ. Промежутки между полученными такимъ образомъ кривыми, ограничивающими два противоположные склона, покрываютъ какимъ-либо блѣднымъ цвѣтомъ, чтобы яснѣе видѣть водораздѣлы. Вслѣдствіе этого карта сдѣлается болѣе наглядною, и легче будетъ сообразить, въ какихъ частяхъ слѣдуетъ измѣнить общее направленіе линіи, дабы сократить число препятствій для проведенія дороги или, по крайней мѣрѣ, уменьшить трудности при обходѣ этихъ препятствій.

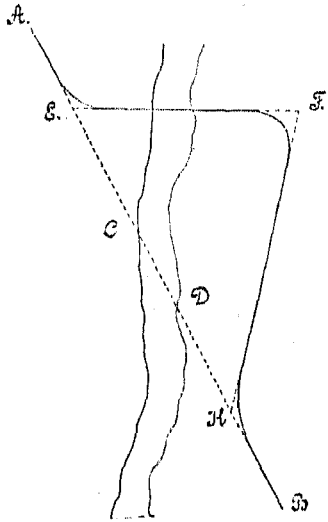
Если линія, назначенная на картѣ, окажется пересѣкающей одну или нѣсколько рѣкъ, то, чтобы въ этомъ мѣстѣ дорога была назначена раціонально, надо имѣть въ виду, что выгоднѣйшимъ направленіемъ ея черезъ рѣку должно считать направленіе, перпендикулярное къ теченію рѣки, потому что тогда мостъ имѣетъ наименьшую длину. Изъ чертежа 505-го видно, что, при пересѣченіи рѣки по нормальному направленію къ теченію, длина моста по линіи EE' меньше, чѣмъ по линіи AB, идущей подъ угломъ къ теченію рѣки.

Русла неглубокихъ рѣкъ или ручьевъ, шириною не болѣе 1 или 2 саженъ, имѣющихъ низкіе берега, можно засыпать и давать имъ почти произвольное направленіе, открывая для нихъ новое русло. Поэтому, въ мѣстахъ пересѣченій дороги съ рѣками и ручьями, неширокими и неглубокими, отклонять дорогу отъ кратчайшаго направленія слѣдуетъ только въ томъ случаѣ, когда это направленіе проходитъ по самому руслу на большомъ его протяженіи.

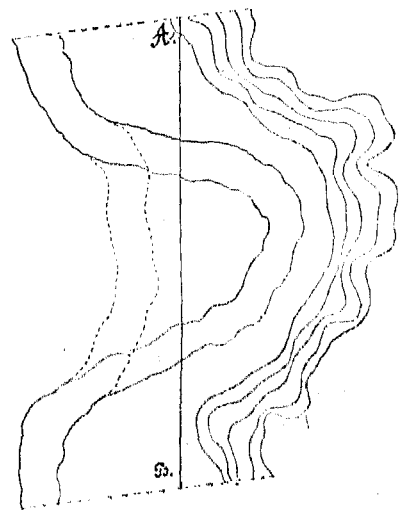
Рѣчки шире 2 саженъ или имѣющія глубину болѣе 2 саженъ,

большею частью, невыгодно отводить въ новое русло, такъ какъ для этого потребны значительныя работы. Но если рѣку приходится пересѣчь два раза, и измѣнить направленіе дороги нельзя, напр., вслѣдствіе того, что рѣка течетъ между очень высокими и крутыми берегами, то въ этомъ случаѣ можетъ оказаться болѣе выгоднымъ отвести рѣку въ новое русло (черт. 506), чѣмъ строить чрезъ нее два моста.

Если ширина рѣки позволяетъ построить мостъ или трубу въ одинъ пролетъ, отверстіемъ не болѣе 3 саженъ, то уголъ, составляемый направленіями дороги и рѣки, можетъ быть допущенъ до 20°.



Черт. 505.



Черт. 506.

Если же кратчайшее направленіе дороги AB пересѣкаетъ рѣчку подъ угломъ болѣе острымъ, чѣмъ 20°, то вблизи мѣста пересѣченія направленія дороги съ рѣкою назначаютъ линію EF (черт. 505) перпендикулярную къ теченію, до пересѣченія съ направленіемъ дороги у точки E, а точку F соединяютъ съ какою-нибудь точкою H, взятою на линіи AB въ удобномъ мѣстѣ. Послѣ этого, измѣривъ транспортиромъ углы у E и F и задавалсь радіусомъ, надо изъ таблицъ найти длину касательныхъ и отложить эти касательныя. При этомъ радіусъ надо взять не меньше предѣльнаго радіуса для даннаго пути, а сообразно съ этимъ линію EF приходится помѣщать на большемъ или меньшемъ разстояніи отъ линіи CD.

Пособіемъ въ выборѣ мѣста пересѣченія съ рѣкою могутъ служить подробныя и сокращенныя карты, изданныя министерствомъ путей сообщенія для многихъ рѣкъ Россіи. Подробныя карты изданы въ маспитабѣ 100 и 200 саж. въ одной сотой саженн, а сокращенныя— одна верста въ одной сотой саженн. На подробныхъ картахъ, кромѣ русла рѣки съ линіями равныхъ глубинъ, имѣются и прибрежья рѣки, съ показаніемъ грунта ложа и береговъ, на сокращенныхъ же помѣщена вся пойма рѣки до предѣловъ самой высокой воды. Для прочихъ судоходныхъ рѣкъ въ департаментѣ шоссейныхъ и водяныхъ сообщеній имѣются еще неизданныя подлинныя карты.

Когда дорога пересѣкаетъ большую рѣку, на которой мостъ долженъ имѣть нѣсколько пролетовъ, то главное вниманіе должно обратить на грунтъ ложа рѣки, отъ хорошаго качества котораго зависитъ прочность сооруженія или, по крайней мѣрѣ, цѣнность постройки быковъ моста. Если такого рода вопросъ не можетъ быть выясненъ подробною картою рѣки, изданія министерства путей сообщенія, то рѣшеніе его слѣдуетъ отложить до производства полевыхъ работъ.

Выбирать мѣсто пересѣченія дороги съ рѣкою лучше всего тамъ, гдѣ рѣка имѣетъ нормальную ширину и глубину, т. е. на прямыхъ не очень узкихъ плесахъ, такъ какъ въ такихъ мѣстахъ русло рѣки измѣняется мало или совсѣмъ не измѣняется, а потому не можетъ впослѣдствіи явиться подмывовъ, опасныхъ для быковъ и устоевъ моста.

Мѣста рѣки, имѣющія большія глубины, но не широкія, удобны для пересѣченія дорогой въ томъ случаѣ, когда ширина рѣки такова, что ее можно перейти мостомъ одного пролета, иначе придется строить очень высокіе быки.

Мѣста рѣки широкія съ малыми глубинами, неудобны для пересѣченія дорогою, потому что мостъ выйдетъ очень длиннымъ и о многихъ пролетахъ, т. е. придется строить много быковъ; кромѣ того, въ такихъ мѣстахъ чаще всего происходятъ измѣненія въ руслѣ рѣки.

Для пересѣченія дорогою не слѣдуетъ выбирать такое мѣсто на судоходной рѣкѣ, гдѣ придется поставить быкъ въ серединѣ главнаго фарватера, потому что такое расположеніе быка будетъ стѣснительно для судоходства, а быкъ очень высокъ. Никогда не слѣдуетъ

также пересѣкать большія рѣки въ извилинахъ и лучше всего выбирать для этого мѣста съ каменистымъ дномъ. Кромѣ того, пересѣкая рѣки дорогою, надо выбирать такія мѣста, гдѣ лѣтнее, или меженнее, направленіе теченія совпадаетъ съ весеннимъ, потому что въ этомъ случаѣ можно надѣяться избѣжать подмывовъ быковъ и устоевъ весенними водами. Несоблюденіемъ этого требованія объясняются многіе случаи подмыва быковъ и устоевъ мостовъ на нашихъ желѣзныхъ дорогахъ.

Если приходится проводить дорогу чрезъ весенніе разливы рѣкъ или, вообще, по мѣстамъ, затопляемымъ какими-бы то ни было водами, стоячими или имѣющими слабое теченіе, то надо выбирать направленіе дороги тамъ, гдѣ эти воды имѣютъ наименьшія глубины и ширины.

Если дорога проходитъ чрезъ населенныя мѣста, то лучше всего обойти эти мѣста. Полевыя-же работы окончательно выяснятъ возможность сдѣлать обходъ, если необходимо провести дорогу чрезъ населенное мѣсто.

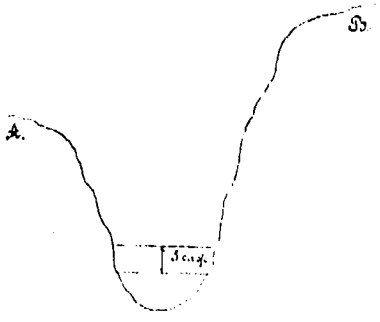
При назначеніи линіи по картѣ, никогда не слѣдуетъ ставить непремѣннымъ условіемъ, во что бы то ни стало, проводить дорогу близъ существующихъ главныхъ путей или близъ мѣстностей, наиболѣе населенныхъ.

Итакъ, дорогу приходится удлинять вслѣдствіе различныхъ причинъ: *для обхода болотъ и озеръ, для проведенія дороги по лучшему грунту, для того, чтобы она перпскала меньшее число ручьевъ и овраговъ, для того чтобы она приближалась къ мѣстамъ, изобилующимъ строительными матеріалами, необходимыми для постройки дороги, для того, чтобы она проходила близъ того или другого населеннаго мѣста и пересѣкала широкую рѣку нормально къ ея руслу.*

Но, кромѣ всего этого, *линію приходится удлинять для обхода большихъ возвышенностей.* Наивыгоднѣйшимъ направленіемъ дороги, какъ сказано выше, надо считать кратчайшее направленіе, но во многихъ случаяхъ оказывается, что для постройки дороги, по кратчайшему направленію, приходится давать ей слишкомъ большіе уклоны, часто невозможные для тяги; такъ, самый большій уклонъ у насъ въ Россіи былъ на Сурамскомъ перевалѣ Поти-Тифлисской желѣзной дороги, а именно, онъ равнялся 0,045, но уже нѣсколько лѣтъ тому назадъ на этомъ перевалѣ сдѣланъ тоннель, и уклонъ взятъ

0,028. Въ настоящее время уклоновъ большихъ, чѣмъ 0,028, ни одна дорога въ Россіи не имѣетъ. Однако, не только такой уклонъ, но и меньшій, напримѣръ, 0,01, затруднителенъ для тяги. Чтобы избѣжать большихъ уклоновъ, необходимо дѣлать очень глубокія выемки и высокія насыпи. Но такъ какъ большое количество земляныхъ работъ удорожаетъ постройку дороги, то приходится или провести дорогу въ тоннель, или же, какъ это дѣлается въ большинствѣ случаевъ, удлинить ее и тѣмъ уменьшить уклонъ и количество земляныхъ работъ сравнительно съ большими выемками.

Для того, чтобы составить себѣ понятіе, какимъ образомъ, въ зависимости отъ орографіи мѣстности, отъ уклона, отъ глубины выемокъ и высотъ насыпей, можетъ явиться надобность въ удлиненіи дороги, приведемъ здѣсь примѣръ. Положимъ, что желѣзную дорогу надо провести между точками A и B, (черт. 507) отстоящими другъ отъ друга, по горизонтальному направленію, на двадцать пять верстъ, при такихъ техническихъ условіяхъ: дорога нигдѣ не должна имѣть уклона, большаго 0,01, а длина ея участковъ, имѣющихъ сплошной продольный уклонъ, не должна быть болѣе пяти верстъ, причемъ участки со сплошными уклонами должны быть раздѣлены горизонтальными площадками, длиною не менѣе 200 саженъ. Положимъ, кромѣ того, что въ A отмѣтка полотна надъ уровнемъ моря равна 90 саж., а въ B—145, и что между точками A и B имѣется рѣка, отмѣтка лѣтняго горизонта которой надъ уровнемъ моря равна 25 саж. Положимъ, что проѣзжую часть моста надъ уровнемъ рѣки необходимо сдѣлать на высотѣ 5 саженъ, въ зависимости отъ высоты весеннихъ водъ и отъ оснастки судовъ, какія двигаются по рѣкѣ. Такъ какъ отмѣтка полотна въ A равна 90 саж., а въ точкѣ C у рѣки — 30 саж., то разность между отмѣтками точекъ A и C равна 60 саж. Чтобы спуститься на 60 саж. сотеннымъ уклономъ, надо между точками A и C имѣть разстояніе равное $\frac{60}{0,01} = 6.000$ саж. (§ 29). Если положить, что въ точкѣ B сдѣлана выемка въ 5 саженъ, то, слѣдо-



Черт. 507.

вательно, разность высотъ между точками полотна въ C и B равна 110 саженямъ, а потому, чтобы подняться отъ C къ B сотеннымъ же уклономъ, надо имѣть длину равную $\frac{110}{0{,}01} = 11.000$ саженъ. Чтобы уклонъ не былъ непрерывнымъ на разстояніи большемъ 5 верстъ, или 2.500 саж., нужно на скатѣ отъ A къ C въ 6.000 саж. сдѣлать двѣ горизонтальныя площадки, а на подъемѣ отъ C къ B въ 11.000 саж. надо сдѣлать четыре площадки. Слѣдовательно, всего на спускѣ и на подъемѣ 6 площадокъ; если считать каждую по 200 саженъ, а длину моста съ горизонтальными площадками съ обѣихъ сторонъ его положить равной также 200 саженямъ, то всего на площадки надо назначить 1.400 саженъ.

Такимъ образомъ, въ нашемъ примѣрѣ естественныя препятствія, встрѣчаемыя по кратчайшей линіи между A и B, и техническія условія требуютъ проведенія линіи длиною въ 6.000+1.400+11.000= =18.400 саж., или въ 37 верстъ. Если увеличить глубину выемки въ точкѣ B и высоту проѣзжей части моста въ точкѣ C, то можно было бы разстояніе между A и B взять нѣсколько меньше 37 верстъ. Но если остановиться на прежнихъ выемкахъ и высотѣ проѣзжей части, то его придется еще немного увеличить, въ виду того, что линія между точками A и B идетъ не по прямому направленію, въ нее придется ввести много кривыхъ, которыя всегда располагаются, если не на горизонтальныхъ площадкахъ, то на уклонахъ меньшихъ предѣльнаго. Если бы захотѣли пройти между точками A и B меньшимъ уклономъ, а горизонтальнымъ площадкамъ желали бы дать большую длину, то, очевидно, дорогу между A и B пришлось бы еще болѣе удлинить. Такимъ образомъ, производитель изысканій долженъ избрать между точками A и B такой путь, длина котораго не превосходила бы извѣстнаго предѣла.

Сдѣлать по трехверстной картѣ выборъ линіи, въ случаѣ, подобномъ описанному, не всегда представится возможнымъ, за недостаткомъ надписанныхъ на этой картѣ высотъ, и, въ такомъ случаѣ, окончательный выборъ придется отложить до производства полевыхъ работъ; если же представится малѣйшая возможность назначить линію вычисленной длины на трехверстной картѣ, то, конечно, изыскатель непремѣнно сдѣлаетъ это.

Благодаря значительной разности горизонтовъ точекъ, чрезъ которыя необходимо провести дорогу, ее приходится удлинять, сравни-

тельно съ кратчайшимъ разстояніемъ, иногда въ большое число разъ; такъ, на военно-грузинской шоссейной дорогѣ, идущей чрезъ главный кавказскій хребетъ отъ Владикавказа до Тифлиса, между станціями Млеты и Годуаръ, кратчайшее разстояніе между которыми около трехъ верстъ, длина дороги равна почти 15 верстамъ. Если бы пришлось на этомъ протяженіи строить желѣзную дорогу, предѣльный уклонъ для которой необходимо было бы взять меньшій, сравнительно съ допущеннымъ для шоссе, то желѣзная дорога вышла бы еще значительно длиннѣе.

Послѣ того, какъ всѣ указанныя выше соображенія будутъ примѣнены къ назначенію линіи по картѣ, надо внимательно всмотрѣться въ каждую отдѣльную часть назначенной на картѣ линіи; это внимательное разсмотрѣніе приведетъ къ заключенію, что *одни ея части оказываются идущими въ равнинныхъ мѣстахъ*; *другія по мѣстамъ холмистымъ*; *третьи по долинамъ рѣкъ или на одномъ склонѣ долины, или же то на одномъ, то на другомъ*; *четвертыя по водораздѣламъ и пятыя по спускамъ и подъемамъ къ этимъ водораздѣламъ*.

Всѣ эти пять отдѣльныхъ случаевъ надо подвергнуть тщательному разсмотрѣнію по картѣ же. Напримѣръ, если линія окажется пересѣкающей нѣсколько водораздѣловъ, то всегда слѣдуетъ задать себѣ вопросъ, нельзя ли небольшимъ ея удлиненіемъ избѣжать нѣсколькихъ водораздѣловъ, проведя ее по равнинымъ мѣстамъ или по долинѣ какой-либо рѣки, протекающей вблизи назначеннаго направленія, или не слѣдуетъ ли для этого воспользоваться долинами различныхъ порядковъ, впадающихъ одна въ другую; нельзя ли также, выйдя на водораздѣлъ, вести линію по его длинѣ, если онъ представляется длинною равниною. Если же водораздѣлъ холмистый, имѣетъ много отдѣльныхъ вершинъ, то не лучше ли здѣсь не назначать линіи, а назначить ее по долинѣ. Если водораздѣлъ очень длиненъ, и потому на немъ придется устроить нѣсколько станцій, и трудность снабженія ихъ водою будетъ очевидна, то лучше отказаться отъ веденія линіи по водораздѣлу, хотя бы онъ и имѣлъ характеръ равнинный. Если окажется, что линія, назначенная по ровному водораздѣлу, значительно длиннѣе линіи, назначенной по долинѣ, то надо обсудить, не слѣдуетъ ли линію запроектировать по этой послѣдней.

Точно также придется отказаться отъ водораздѣла, если онъ очень извилистъ или имѣетъ много топкихъ болотъ.

Назначеніе линіи по водораздѣлу въ большинствѣ случаевъ оказывается выгоднымъ въ томъ отношеніи, что здѣсь не приходится строить многихъ и трудныхъ искусственныхъ сооруженій.

Если подробное разсмотрѣніе карты приведетъ къ заключенію, что линія все-таки должна пересѣчь тотъ или другой водораздѣлъ, то, отыскавъ на немъ самую пониженную сѣдловину, надо затѣмъ назначить тѣ боковыя лощины, по которымъ лучше всего подняться и спуститься съ водораздѣла.

Полученное указаннымъ путемъ направленіе на картѣ называютъ магистральнымъ направленіемъ. Иногда можетъ оказаться, что для нѣкоторыхъ частей дороги назначено на картѣ нѣсколько магистральныхъ линій, или варіантовъ. Для рѣшенія вопроса, какому изъ назначенныхъ варіантовъ отдать предпочтеніе, составляютъ на графленой бумагѣ профиля по картѣ, по направленію варіантовъ, въ мелкомъ масштабѣ, напр., для горизонтальныхъ разстояній беруть масштабъ карты, а для вертикальныхъ 10 или 5 саженъ въ дюймѣ, Такого рода профиля часто даютъ возможность, еще не начиная полевыхъ работъ, отказаться отъ того или другого направленія. Во всѣхъ же сомнительныхъ случаяхъ окончательное рѣшеніе вопроса, какому варіанту дать предпочтеніе, надо отложить до производства полевыхъ работъ. Иногда приходится остановиться на варіантѣ болѣе дорогомъ, если того требуютъ условія военнаго времени.

424. Перечень полевыхъ геодезическихъ работъ при изысканіяхъ желѣзно-дорожныхъ путей. Полевыя работы состоятъ изъ слѣдующихъ: 1) рекогносцировка мѣстности, прилегающей къ направленіямъ, назначеннымъ на картѣ; 2) разбивка на землѣ магистральныхъ линій, назначенныхъ на картѣ; 3) измѣреніе длины этихъ линій; 4) измѣреніе угловъ, составленныхъ прямыми между собою; 5) нивеллировка по направленію магистральныхъ линій и по направленіямъ къ нимъ перпендикулярнымъ, или, какъ говорятъ, продольная и поперечная нивеллировка; 6) разбивка кривыхъ между частями магистральной линіи, составляющими между собою уголъ; 7) съемка плана мѣстности, прилегающей къ дорогѣ, причемъ для нѣкоторыхъ частей составляется планъ въ горизонталяхъ, и, наконецъ, 8) выборъ и окончательная разбивка, или трассировка, наивы-

годнѣйшаго направленія для дороги, соотвѣтственно собраннымъ даннымъ.

425. Рекогносцировочныя изысканія. Приступая къ рекогносцировкѣ, необходимо имѣть въ рукахъ карту, на которой запроектировано уже направленіе дороги, на мѣстѣ же надо опредѣлить, въ какихъ частяхъ дорога должна быть отклонена отъ назначеннаго для нея на картѣ направленія, руководствуясь всѣми соображеніями, какими приходится руководствоваться при назначеніи дороги по картѣ, а потому главное вниманіе при рекогносцировкѣ должно быть обращено на водораздѣлы, или на перевалы, раздѣляющіе бассейны двухъ смежныхъ рѣкъ, причемъ необходимо выяснить, по какимъ боковымъ лощинамъ лучше всего подняться на водораздѣлъ и по какимъ спуститься съ него, имѣя въ виду, что лучше воспользоваться короткими тальвегами, лишь бы они допускали развитіе линіи съ предѣльнымъ уклономъ. Если линія проходитъ чрезъ нѣсколько водораздѣловъ, то надо, первѣе всего, опредѣлить, нельзя-ли, минуя эти водораздѣлы, повести линію нѣсколько правѣе или лѣвѣе отъ назначеннаго по картѣ направленія. Если же обойти водораздѣлы нельзя, то рекогносцировка должна открыть на нихъ наиболѣе пониженныя сѣдловины. Затѣмъ, надо, опредѣливъ тѣмъ или другимъ путемъ, хотя бы приблизительно, разность высотъ этихъ сѣдловинъ относительно нижайшей точки запроектированнаго направленія, высчитать длину пути, какъ указано въ § 423-мъ, принимая во вниманіе предѣльные уклоны, горизонтальныя площадки и радіусы, и, наконецъ, избрать направленіе для дороги такимъ образомъ, чтобы мѣста, по которымъ пройдетъ дорога, были таковы, чтобы уклоны дороги во многихъ частяхъ ея были меньше предѣльнаго, причемъ, конечно, придется удлинить дорогу въ томъ или другомъ мѣстѣ. Стремясь удовлетворить указанной цѣли, можно между двумя точками найти нѣсколько направленій. Предпочтеніе надо отдать тому направленію, для котораго кривымъ можно дать большіе радіусы, а изъ двухъ направленій, одинаково удовлетворяющихъ всѣмъ указаннымъ выше условіямъ, слѣдуетъ отдать предпочтеніе тому, которое будетъ стоить дешевле.

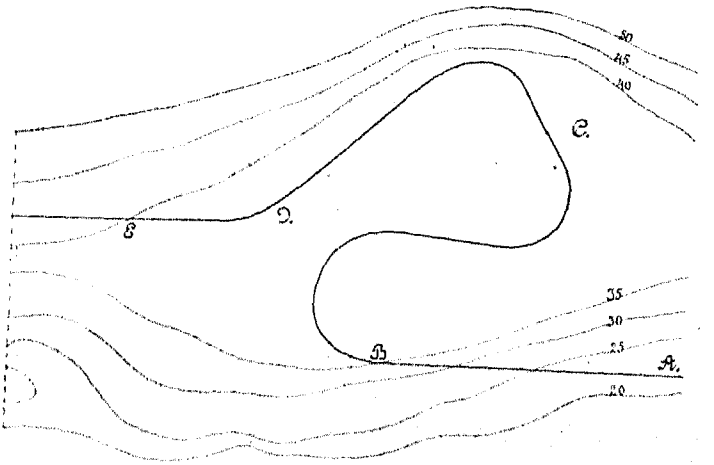
Въ горной мѣстности при рекогносцировкѣ необходимо опредѣлить разности высотъ большаго числа точекъ, такъ какъ склоны горныхъ долинъ представляютъ большое разнообразіе очертаній.

Въ равнинныхъ мѣстахъ достаточно опредѣлить разность высотъ

водораздѣловъ и долинъ, потому что высоты въ такихъ мѣстахъ мѣняются весьма слабо, вслѣдствіе чего не можетъ явиться большой ошибки въ опредѣленіи длины подъема или спуска.

Дѣлая рекогносцировку на водораздѣлѣ, надо обратить вниманіе,—не слишкомъ ли онъ извилистъ, нѣтъ ли на немъ топкихъ болотъ, удобенъ ли онъ по отношенію къ водоснабженію станцій.

Въ тѣхъ частяхъ, гдѣ линія на картѣ окажется идущей по долинѣ, рекогносцировка должна выяснить, по какой сторонѣ долины



Черт. 508.

вести ее лучше, причемъ надо собрать свѣдѣнія о высотѣ и ширинѣ весенняго разлива въ этой долинѣ.

Такъ какъ въ долинѣ приходится вести линію по косогору, то рекогносцировка должна выяснить, не имѣютъ ли эти косогоры сплывовъ и обваловъ, подъ которыми расположены водоносные слои.

Если приходится вести линію по склону долины, то надо опредѣлить средній уклонъ этой долины; если онъ окажется менѣе предѣльнаго уклона, даннаго для дороги, то проведеніе линіи по склону не представитъ затрудненія, въ смыслѣ развитія уклоновъ дороги, не представится и надобности заворачивать линію въ побочныя долины, а придется пересѣкать эти побочныя долины мостами съ довольно большимъ отверстіемъ; но если, съ небольшимъ удлиненіемъ линіи, окажется возможнымъ избѣжать мостовъ большого отверстія или слишкомъ высокихъ насыпей, то придется отдать предпочтеніе

удлиненію. Въ подобнаго рода долинахъ, во многихъ мѣстахъ всегда окажется возможнымъ уменьшить заданный предѣльный уклонъ и дѣлать горизонтальныя площадки чаще.

Въ тѣхъ же случаяхъ, когда уклонъ долины больше предѣльнаго уклона, даннаго для дороги, то чтобы развить линію съ предѣльнымъ уклономъ, придется не только заходить въ побочныя долины, но даже поворачивать линію въ обратную сторону и дѣлать зигзаги или двѣ петли. Положимъ, напримѣръ, что линію ведутъ къ склону долины (черт. 508) и въ части AB получается глубокая выемка, то можно воспользоваться террасой между горизонталями 35-ой и 40-ой и удлинить на ней линію на столько, что въ точкѣ E будетъ уже не выемка, а насыпь, а въ дальнѣйшемъ выемка не окажется уже столь глубокою, какъ раньше. Кромѣ того, благодаря такому удлиненію линіи, быть можетъ, окажется возможнымъ сдѣлать горизонтальную площадку напримѣръ у C. Подобнымъ образомъ поступаютъ, если приходится вести линію по склону долины отъ ея вершины къ устью; положимъ, что, ведя дорогу даннымъ уклономъ, меньшимъ, чѣмъ уклонъ долины, дойдутъ до 2-ой террасы долины, находящейся на значительной высотѣ надъ тальвегомъ, тогда, чтобы приблизиться къ тальвегу, необходимо будетъ на 2-ой террасѣ сдѣлать заворотъ дороги въ обратную сторону, т. е. по направленію къ вершинѣ долины, и вести ее до 1-ой террасы, а здѣсь опять сдѣлать поворотъ, чтобы вести линію по направленію отъ вершины къ устью. Такого рода завороты дороги приходится дѣлать тѣмъ чаще, чѣмъ больше уклонъ долины сравнительно съ предѣльнымъ уклономъ. Изъ этого видно, что рекогносцировка по долинѣ должна выяснить величину уклона долины и найти мѣста на террасахъ, удобныя для поворота линіи.

При опредѣленіи уклона долины, пособіемъ можетъ служить карта длины рѣкъ съ отмѣтками на нихъ, изданная министерствомъ путей сообщенія, о которой мы уже упоминали.

При рекогносцировкѣ надо обратить вниманіе на мѣста пересѣченія дороги съ рѣками, помня сказанное объ этомъ въ параграфѣ 423-мъ о назначеніи линіи на картѣ. Кромѣ того, вопросъ о мѣстѣ пересѣченія дороги съ рѣками долженъ быть тщательно обсужденъ при рекогносцировкѣ. Пособіемъ въ рѣшеніи этого рода вопросовъ, во многихъ случаяхъ, могутъ служить карты судоходныхъ рѣкъ, имѣющіяся въ департаментѣ шоссейныхъ и водяныхъ сообщеній.

Для осмотровъ большихъ пространствъ при рекогносцировкѣ полезно всходить и въѣзжать на вершины, съ которыхъ открывается большой горизонтъ, въ особенности этого правила слѣдуетъ держаться въ мѣстахъ, покрытыхъ лѣсомъ, такъ какъ иногда это единственный способъ составить себѣ понятіе о томъ, гдѣ лучше вести линію въ такой мѣстности.

При производствѣ рекогносцировки слѣдуетъ имѣть въ виду все сказанное раньше объ измѣреніи глазомѣромъ (§§ 80 и 374). Но, кромѣ того, надо также помнить, что часто, при осмотрѣ съ далекаго разстоянія, напр., хребетъ, представляющійся издали непроходимымъ, въ дѣйствительности оказывается двумя оконечностями, или языками, двухъ хребтовъ, кажущимися издали сливающимися въ одинъ. Кромѣ того, благодаря ошибкамъ глаза, можно придти къ заключенію, что требуется значительное количество земляныхъ работъ по данному направленію, въ особенности въ мѣстности, покрытой лѣсомъ, кустарникомъ, поросшей дикимъ виноградомъ, еженикой, колючкою и т. п. Во всѣхъ такихъ мѣстахъ размѣръ кажущихся трудностей часто значительно сокращается отъ одной лишь расчистки мѣстности отъ кустовъ и зарослей.

Скорость, съ которою производитель изысканій проходитъ рекогносцируемую мѣстность, также производитъ на него впечатлѣніе легкости или трудности проведенія дороги. Такъ, если онъ проходитъ по рѣчной долинѣ, по скатамъ которой выступаютъ отвѣсныя скалы, то ему можетъ показаться, что въ такой мѣстности труднѣе провести дорогу, чѣмъ въ мѣстности, имѣющей мягкія покатости, тогда какъ въ дѣйствительности, въ большинствѣ случаевъ, оказывается, что развить уклоны въ долинѣ легче, чѣмъ во второй мѣстности.

Вслѣдствіе указанныхъ выше обмановъ зрѣнія, никогда не слѣдуетъ давать полной вѣры глазомѣрной оцѣнкѣ, за исключеніемъ, конечно, случаевъ вполнѣ ясныхъ, когда можно не бояться никакой ошибки. Вообще же, слѣдуетъ во всѣхъ сомнительныхъ случаяхъ дѣлать провѣрку инструментально.

При этомъ инструментами, необходимыми при рекогносцировкѣ, могутъ быть бинокль Цейса, дающій возможность ясно представлять себѣ рельефъ мѣстности, компасъ, ручной высотомѣръ или барометръ, и ленточная цѣпь.

Въ трудныхъ мѣстахъ слѣдуетъ назначить линію, измѣрить ее,

опредѣлить углы поворотовъ и пронивеллировать барометрически, чтобы быть вполнѣ убѣжденнымъ, что выбранное направленіе допускаетъ пологіе уклоны и кривыя, ни въ какомъ случаѣ не превосходящіе предѣльныхъ, указанныхъ въ данной изыскателю инструкціи. При этомъ надо имѣть въ виду, что очень высокій перевалъ, но не длинный по горизонтальному направленію, выгоднѣе прорѣзать тоннелемъ, благодаря чему, можно уменьшить уклоны на частяхъ дороги передъ входомъ и выходомъ изъ тоннеля. Въ пересѣченныхъ мѣстахъ назначеніе линіи на глазъ очень затруднительно, поэтому, въ этомъ случаѣ, полезно назначать линіи, имѣющія опредѣленный уклонъ, пріемомъ, описаннымъ въ § 191-мъ.

Такъ какъ въ большинствѣ случаевъ начальными и конечными пунктами дороги, назначенными заранѣе, окажутся города, то собственно начальныя и конечныя точки въ такихъ пунктахъ на картѣ трудно отыскиваются, а потому рекогносцировка должна выяснить точно, гдѣ нужно расположить начальную и конечную станціи.

При производствѣ рекогносцировки, слѣдуетъ также обратить вниманіе на грунтъ земли, по которому пролегаетъ линія, т. е. песокъ, глина, скала и т. п.; это необходимо для того, чтобы можно было составить себѣ понятіе о дороговизнѣ или дешевизнѣ земляныхъ работъ. Кромѣ того, необходимо собирать свѣдѣнія о строительныхъ матеріалахъ по всей длинѣ линіи и, если возможно, о качествѣ ихъ, въ чемъ можетъ оказать услуги наблюденіе за существующими постройками, а также распросы мѣстныхъ жителей.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда выбранное по картѣ направленіе минуетъ нѣкоторые города, заводы и, вообще, населенные пункты, то при рекогносцировкѣ всегда полезно изслѣдовать направленія, захоящія въ эти пункты, если отклоненіе отъ дороги на картѣ было сдѣлано вслѣдствіе трудности и невыгодности проведенія ея чрезъ нихъ, вслѣдствіе того, что они находятся или въ котловинахъ, или на возвышенностяхъ.

При рекогносцировкахъ, какъ сказано выше, слѣдуетъ обращаться съ распросами къ мѣстнымъ жителямъ, но какъ бы достовѣрны ни казались свѣдѣнія, добытыя такимъ путемъ, никогда не слѣдуетъ имъ довѣрять вполнѣ, а необходимо самому провѣрить ихъ; такъ, напр., изъ распросовъ мѣстныхъ жителей можно придти къ заключенію, что данный пунктъ, чрезъ который предполагается провести

дорогу, непроходимъ, но прежде, чѣмъ согласиться съ этимъ, надо самому побывать въ этомъ пунктѣ и узнать, между прочимъ, какія точки выше, какія ниже.

Всѣ свѣдѣнія, собранныя какъ личными наблюденіями, такъ и при помощи распросовъ мѣстныхъ жителей, слѣдуетъ записывать въ особую книжку сейчасъ же по полученіи этихъ свѣдѣній, не надѣясь на память. Въ этой книжкѣ полезно отмѣтить всѣ тѣ мѣста, чрезъ которыя, по мнѣнію рекогносцировщика, нельзя провести дорогу вслѣдствіе тѣхъ или другихъ соображеній, хотя дорога на картѣ назначена проходящею чрезъ эти мѣста.

На основаніи данныхъ, полученныхъ рекогносцировкою, слѣдуетъ составлять продольные профиля въ мелкомъ масштабѣ, напр., для горизонтальныхъ разстояній брать двѣ версты въ одной сотой сажени, а для вертикальныхъ 5 или 10 саженъ въ одной сотой сажени.

Послѣ того, какъ профиль составленъ, проектируютъ линію полотна дороги, причемъ *всегда слѣдуетъ избѣгать какъ длинныхъ и неглубокихъ выемокъ, потому что онѣ легко заносятся снѣгомъ, такъ и насыпей, имѣющихъ высоту меньшую двухъ футовъ*. Выемки надо дѣлать меньшими, чѣмъ насыпи, потому что выемки требуютъ большаго времени на свое сооруженіе, чѣмъ насыпи, такъ какъ для насыпи землю можно брать не только изъ выемки, но также и со стороны, чѣмъ ускоряется сооруженіе насыпи, въ выемкѣ же подобнаго ускоренія быть не можетъ, напротивъ, чѣмъ глубже врѣзываются въ глубь, тѣмъ болѣе уменьшается площадь, на которой производится выемка, а потому работа идетъ медленнѣе отъ тѣсноты мѣста.

Проектировать линію надо такъ, чтобы измѣненія въ уклонахъ были рѣже, чтобы пространства съ предѣльными уклонами не были очень длинны, чтобы не было рѣзкихъ переходовъ отъ подъема къ скату, и чтобы скаты и подъемы раздѣлялись горизонтальными площадками; чтобы переходы отъ горизонтальныхъ частей или отъ слабыхъ уклоновъ къ предѣльнымъ не были рѣзки; чтобы станціи не были въ большихъ выемкахъ или на насыпяхъ, а горизонтальныя площадки у станцій не были менѣе одной версты; чтобы положеніе станцій не приходилось на кривой или на уклонѣ, и чтобы вблизи станціи были естественные запасы воды; кромѣ того, проектиро-

ваніе линіи надо вести совершенно согласно съ техническими условіями, заданными заранѣе. Запроектированную такимъ образомъ линію на профилѣ слѣдуетъ пересмотрѣть нѣсколько разъ и, замѣтивъ несообразности въ проектировкѣ, измѣнить направленіе дороги для возможнаго сокращенія работъ.

Послѣ всего этого рекогносцировка должна привести къ заключенію, какое изъ нѣсколькъ направленій надлежитъ *изслѣдовать болѣе точно*.

Когда для мѣстности, по которой производятся рекогносцировочныя изысканія, нѣтъ подробныхъ топографическихъ картъ даже десятиверстнаго масштаба, то рекогносцировка должна относиться не къ одной линіи, а къ цѣлой площади, прилегающей къ кратчайшему направленію между двумя назначенными пунктами, до крайнихъ предѣловъ, до которыхъ дорога можетъ быть отклонена отъ прямого направленія. Эти предѣлы могутъ опредѣляться или топографическими условіями, не позволяющими заходить далѣе извѣстнаго предѣла, ясно очерчиваемаго, какъ, напр., широкой рѣки, глубокаго оврага, высокаго горнаго хребта, или предѣлы эти опредѣляются экономическими соображеніями, напримѣръ, тѣмъ, что данный пунктъ мѣстности *можетъ сдѣлаться пунктомъ, служащимъ для питанія дороги* грузами и пассажирами. Вся эта площадь между назначенными на такихъ основаніяхъ предѣлами, должна быть изучена по всѣмъ направленіямъ, возможнымъ для проведенія дороги.

При этомъ должно выяснить, какіе участки проектируемаго пути пройдутъ въ равнинныхъ мѣстахъ, какіе въ холмистыхъ и какіе, наконецъ, въ гористыхъ. При такихъ обстоятельствахъ, кромѣ того, необходимо составить карту всѣхъ рѣкъ, рѣчекъ и суходоловъ, пересѣкаемыхъ предполагаемымъ направленіемъ дороги, причемъ эта карта должна давать ясное представленіе о томъ, въ какомъ мѣстѣ соединяются эти потоки. Особенно важно это знать для мѣстности ровной, такъ какъ этимъ путемъ въ значительной мѣрѣ опредѣляется, какія точки выше, какія ниже. Вообще, въ этомъ случаѣ рекогносцировка должна дать ясное представленіе о бассейнѣ и водораздѣлахъ, *находящихся на изслѣдованной мѣстности*.

Послѣ рекогносцировки опредѣляютъ, по какимъ направленіямъ слѣдуетъ сдѣлать инструментальную съемку; въ большинствѣ случаевъ оказывается нужнымъ сдѣлать таковую только по одному на-

правленію, и только въ очень рѣдкихъ случаяхъ можетъ оказаться необходимость въ съемкѣ по тремъ и большему числу направленій.

Чтобы рѣшить, слѣдуетъ ли дѣлать инструментальную съемку по одному только направленію, или по нѣсколькимъ, надо опредѣлить приблизительно стоимость и доходность всѣхъ направленій, и какая линія окажется наиболѣе выгодной, даже при самыхъ неблагопріятныхъ предположеніяхъ, та и должна быть снята инструментально. При равенствѣ условій, можетъ быть сдѣлана съемка и нивеллировка по нѣсколькимъ направленіямъ.

Рекогносцировочныя изысканія, производившіяся у насъ, напр., отъ Покровской слободы, находящейся на лѣвомъ берегу Волги, противъ Саратова, чрезъ г. Новоузенскъ къ г. Уральску, должны были состоять въ осмотрѣ мѣстности, а въ сомнительныхъ случаяхъ въ разбивкѣ линіи, измѣреніи ея протяженія и въ опредѣленіи относительныхъ высотъ. На основаніи результатовъ этихъ работъ, полагалось составить вѣдомости искусственныхъ сооруженій и количества земляныхъ работъ, планъ направленія дороги на десятиверстной картѣ и болѣе подробные планы частей линіи, кои, по существу дѣла, будутъ признаны начальникомъ экспедиціи необходимыми. Предѣльный уклонъ назначался 0,008, а предѣльный радіусъ въ 300 саженъ. На самомъ же дѣлѣ вся линія была измѣрена въ полѣ и пронивеллирована нивеллиромъ.

Рекогносцировочныя изысканія, производившіяся отъ г. Уфы до Екатеринбурга и отъ Уфы на Златоустъ до Челябинска, должны были состоять въ предварительномъ осмотрѣ мѣстности, въ производствѣ нивеллировки, съ нанесеніемъ на профиль только наиболѣе затруднительныхъ въ техническомъ отношеніи мѣстъ, ограничиваясь на остальномъ протяженіи опредѣленіемъ примѣрнаго средняго количества земляныхъ работъ, по осмотру и по приблизительнымъ измѣреніямъ высотъ. При этомъ полагалось: осмотрѣнное направленіе нанести на десятиверстную карту, по которой должна была быть измѣрена длина дороги; частыхъ переваловъ изъ долины одной рѣки въ долину другой требовалось, по возможности, избѣгать; указанія мѣстныхъ жителей принимать въ соображеніе, въ особенности въ гористой и покрытой лѣсомъ мѣстности, но эти указанія провѣрять осмотромъ и относительныя высоты точекъ опредѣлять какимъ-либо высотомѣромъ.

Проектированіе тоннелей допускалось съ такимъ разсчетомъ, чтобы при этомъ стоимость линіи уменьшалась сравнительно со стоимостью ея безъ тоннелей.

Въ затруднительныхъ участкахъ позволялось задаваться уклонами не свыше 0,01 и, въ самыхъ крайнихъ случаяхъ, не свыше 0,015;— радіусами же кривыхъ не менѣе 300 саженъ и, въ крайнихъ случаяхъ, не менѣе 200 саж.

На основаніи всѣхъ собранныхъ свѣдѣній, требовалось представить вѣдомости искусственныхъ сооруженій и количества земляныхъ работъ.

426. Развѣдочныя, или летучія изысканія. При изысканіяхъ летучихъ стремятся въ самый короткій срокъ произвести полевыя геодезическія работы по данному направленію для того, чтобы получить профиль по оси дороги и опредѣлить, хотя приблизительно, количество работъ, а слѣдов., и цѣнность постройки дороги, допуская данные предѣльные уклоны и радіусы кривыхъ. Для измѣренія угловъ можно пользоваться бусолью съ трубою, или теодолитомъ, снабженнымъ бусолью, для измѣренія линій—ленточною цѣпью, для нивеллировки употреблять или нивеллиръ, или анероиды съ двумя наблюдателями.

При выборѣ линіи надо руководствоваться картой, на которой уже запроектирована линія, и всѣми тѣми соображеніями, какія надо имѣть въ виду при назначеніи линіи на картѣ и при производствѣ рекогносцировки. Въ легкой мѣстности, въ случаѣ отклоненія линіи отъ назначеннаго по картѣ, выбираютъ ее на глазъ. Въ пересѣченныхъ мѣстахъ, гдѣ на глазъ задаваться линіей, имѣющей опредѣленный уклонъ, затруднительно, слѣдуетъ употреблять пріемъ, изложенный въ § 191-мъ. Нивеллировкѣ анероидами, въ такихъ изысканіяхъ, слѣдуетъ давать предпочтеніе, потому что при этомъ сокращается стоимость изысканій, такъ какъ нѣтъ необходимости тогда въ большомъ числѣ рабочихъ, употребляемыхъ при нивеллирахъ и рейкахъ. Подобнымъ образомъ производились изысканія, въ концѣ 60-хъ годовъ, по линіи Харьково-Николаевской жел. дороги, а также, нѣсколько лѣтъ тому назадъ, по линіи между Кіевомъ и Петербургомъ.

Такъ какъ линію можно провѣшивать и измѣрять быстро, отъ 10 до 15 верстъ въ день, а при благопріятныхъ условіяхъ и немного больше, то вся скорость работы зависитъ отъ нивеллировки.

Если она производится нивеллиромъ, то, чтобы ее ускорить, можно совѣтовать имѣть двухъ нивеллировщиковъ съ двумя отдѣльными нивеллирами и при каждомъ по два реечника. Нивеллировщики могутъ тогда работать вперемежку, напр., нечетныя версты нивеллируетъ одинъ, а четныя другой. При такомъ способѣ два нивеллировщика, не уставая, могутъ хорошо пронивеллировать до 15 верстъ въ день. Нивеллировка ведется такъ, какъ изложено въ § 311-мъ.

При производствѣ такого рода изысканій, линія провѣшивается легкими вѣхами, снимаемыми тотчасъ же, какъ только линія пронивеллирована; пикеты ставятся черезъ 50 саж. и означаются колышками, небольшими, лишь-бы они могли быть найдены нивеллировщиками, причемъ не заботятся о томъ, чтобы колышки сохранились на долго въ землѣ.

При производствѣ этихъ изысканій, вычерчиваютъ профиль въ мелкомъ масштабѣ, напр., берутъ для горизонтальныхъ разстояній одну версту въ одной сотой сажени, а для вертикальныхъ разстояній пять саженъ въ одной сотой сажени.

427. Предварительныя изысканія. Если линія значительной длины, то прежде всего ее раздѣляютъ на участки, при этомъ стараются подраздѣленія на участки сдѣлать сообразно съ трудностью или легкостью изысканій, т. е. участки, пролегающіе въ равнинныхъ мѣстахъ, берутъ болѣе значительныхъ протяженій, въ холмистыхъ длина ихъ должна быть уменьшена, а въ гористыхъ уменьшеніе это должно быть еще большимъ. Удобство такого дѣленія на участки, сообразно съ топографическими трудностями, заключается въ томъ, что на работу во всѣхъ участкахъ будетъ затрачено одно и то же время, число рабочихъ силъ, необходимыхъ для каждаго участка, можетъ быть постояннымъ, и для каждаго участка могутъ быть подобраны эти рабочія силы, соотвѣтственно требуемой опытности и знаніямъ. Всѣ работы на каждомъ изъ участковъ поручаютъ особой партіи, состоящей изъ производителя изысканій и нѣсколькихъ помощниковъ, соотвѣтственно трудностямъ каждаго участка.

Для начала работъ въ каждомъ участкѣ выбираютъ такую прямую, назначенную на картѣ, положеніе которой легко разбить на мѣстности съ достаточной точностью, и для повѣрки положенія починнаго пункта которой имѣются, напримѣръ, три постоянныя точки, извѣстныя по своему географическому положенію. Когда на землѣ

назначена эта линія, измѣряютъ ея магнитный азимутъ по лимбу теодолита, провѣшиваютъ линію и измѣряютъ ленточною цѣпью.

Если, по мѣстнымъ обстоятельствамъ, окажется необходимымъ отклонить направленіе линіи, назначенной на картѣ, то, при выборѣ новаго направленія, надо руководствоваться всѣми соображеніями, изложенными въ §§ 423-мъ и 425-мъ о назначеніи линіи на картѣ и при производствѣ рекогносцировки. Выбирается направленіе линіи въ такомъ случаѣ или на глазъ, или задаваясь для нея опредѣленнымъ уклономъ, какъ о томъ изложено въ § 191-мъ.

Если провѣшенная линія не совершенно совпадаетъ съ назначенною на картѣ, то на послѣдней точно назначается новое ея направленіе, ибо отъ этого зависитъ положеніе угла при встрѣчѣ съ слѣдующею линіею.

Вмѣстѣ съ вѣшеніемъ линіи измѣряютъ углы и дѣлаютъ первое измѣреніе линіи, причемъ забиваютъ пикетные колья съ нумерами чрезъ каждыя 50 саж.

Въ очень крутыхъ мѣстахъ линію измѣряютъ и нивеллируютъ ватерпасомъ.

За первымъ измѣреніемъ линіи слѣдуетъ второе, провѣрочное, при которомъ забиваютъ, по направленію провѣшенной линіи, во всѣхъ изгибахъ земли нивеллировочные колья съ обозначеніемъ на нихъ числа саженъ отъ ближайшаго меньшаго пикета. Колья, оставляемые на пикетахъ, дѣлаются изъ круглаго дерева, отъ 2 до $2^1/_2$ вершковъ въ діаметрѣ, длиною до полъ-аршина. Часть кола, выдающуюся изъ земли, не слѣдуетъ дѣлать длинною, ибо въ такихъ случаяхъ мѣстные жители часто вырываютъ ихъ.

Чтобы колъ не разбился при забиваніи въ землю, на него наставляютъ наставку съ обратною вырѣзкою, сдѣланною изъ твердаго дерева, съ надѣтымъ на нее желѣзнымъ кольцомъ. Въ очень твердыхъ грунтахъ полезно предварительно высверлить въ землѣ дыру коническимъ сверломъ.

По мѣрѣ постановки нивеллировочныхъ кольевъ, вѣхи вынимаются, и около нивеллировочныхъ кольевъ втыкаются небольшія вѣтки, а чрезъ каждыя 100 саж. высокія вѣтки, чтобы нивеллировщики могли видѣть направленіе линіи.

Нивеллировка производится двумя нивеллировщиками, при каждомъ должны быть двѣ рейки съ рѣечниками, каждый нивелли-

ровщикъ идетъ одинъ за другимъ, но нивеллированіе производятъ совершенно независимо другъ отъ друга. Производство самой нивеллировки ведется совершенно такъ, какъ описано въ §§ 311-мъ или 312-мъ.

Въ мѣстахъ, имѣющихъ склонъ въ 0,4 и болѣе, нивеллируютъ поперекъ, перпендикулярно къ магистрали по обѣ стороны ея, не менѣе, какъ на 5 саженъ, и не болѣе величины заложеній откосовъ проектируемаго въ этомъ мѣстѣ полотна дороги. Разстояніе между профилями берется не менѣе, какъ 50 саж., а въ мѣстахъ, гдѣ рельефъ мѣняется, и чаще.

Если дорога пролегаетъ въ равнинныхъ мѣстахъ, то изысканія не представляютъ трудностей; все, о чемъ надо стараться въ этомъ случаѣ, это — чтобы линія, какъ можно менѣе, отходила отъ прямого направленія, хотя-бы по этому направленію и встрѣчались малыя препятствія въ видѣ отдѣльныхъ небольшихъ углубленій или возвышеній, отдѣльныхъ небольшихъ болотъ и лѣсовъ небольшого протяженія. Если же въ равнинной мѣстности встрѣтятся лѣса на большомъ протяженіи, то лучше ихъ обойти, впрочемъ, въ томъ лишь случаѣ, если обходъ этотъ также возможно сдѣлать по мѣсту ровному.

Въ частяхъ направленія дороги, пролегающихъ въ мѣстности холмистой, надо сдѣлать летучія изысканія по нѣсколькимъ направленіямъ, назначеннымъ предварительно на картѣ. Если линія пересѣкаетъ оврагъ, то выбирать ее на землѣ слѣдуетъ тамъ, гдѣ, напр., ширина между гребнями овраговъ, пересѣкаемыхъ дорогою, наименьшая. Въ мѣстахъ подъемовъ и спусковъ къ водораздѣламъ слѣдуетъ брать нѣсколько варіантовъ, прежде чѣмъ выбрать одинъ изъ нихъ. Давать же предпочтеніе надо тому направленію, по которому линія скатовъ болѣе всего подходитъ къ предѣльному уклону, и уже затѣмъ по этому направленію сдѣлать предварительныя изысканія, какъ описано выше.

Если линія, назначенная на картѣ, прилегаетъ къ скату долины тоже холмистому, то и здѣсь примѣняются соображенія, высказанныя выше въ § 425-мъ, относительно назначенія линіи по склону долины.

Подходъ къ водораздѣлу надо вести, какъ сказано выше, къ самой пониженной его сѣдловинѣ и по самой короткой лощинѣ, если же въ короткой лощинѣ развитіе линіи съ предѣльнымъ уклономъ

окажется невозможнымъ, то надо подойти къ пониженной сѣдловинѣ водораздѣла по болѣе длинной лощинѣ или долинѣ.

Ведя же линію по склонамъ боковой долины, углы поворота слѣдуетъ выбирать такъ, чтобы возможно было разбить въ нихъ кривыя предѣльнымъ радіусомъ, для чего длина линій должна быть соображаема съ длиною касательныхъ, которыя помѣщены въ таблицахъ Кренке (§ 306).

При предварительныхъ изысканіяхъ кривыя разбиваются только въ мѣстахъ гористыхъ, поэтому тамъ, гдѣ кривыя ложатся по косогору, полезно по бисектрисамъ угловъ поворотовъ пронивеллировать на длину, немного большую величины бисектрисы, чтобы знать высоту выемки или насыпи въ серединѣ кривой. При крутыхъ косогорахъ углы поворотовъ могутъ быть менѣе 160°, при слабыхъ же косогорахъ не слѣдуетъ дѣлать угловъ поворота меньше 160°.

Величина радіуса закругленія въ сильной мѣрѣ вліяетъ на величину земляныхъ работъ въ косогорахъ, и чѣмъ меньше радіусъ, тѣмъ меньше и земляныхъ работъ. Но такъ какъ при маломъ радіусѣ труднѣе эксплоатація дороги, то лучше дѣлать закругленія въ видѣ извилины, но большимъ радіусомъ.

Для всѣхъ пронивеллированныхъ направленій составляются профиля, причемъ для горизонтальныхъ разстояній берутъ въ одной сотой саженн 50 саженъ, а для вертикальныхъ въ одной сотой берутъ или пять, или десять саженъ, сообразно тому, ровная-ли мѣстность, или пересѣченная; также составляются и поперечные профиля.

Затѣмъ, на продольномъ профилѣ проектируютъ направленіе полотна дороги, руководствуясь правилами, изложенными въ параграфѣ 425-омъ, а также и въ инструкціи.

На поперечныхъ профиляхъ, вычерченныхъ на клѣтчатой бумагѣ, отъ точекъ, соотвѣтствующихъ оси дороги, наносятъ по вертикальному направленію разности отмѣтокъ поверхности земли и проектной линіи, беря эти разности на соотвѣтственныхъ мѣстахъ продольнаго профиля. Къ полученной, такимъ образомъ, точкѣ на поперечномъ профилѣ прикладываютъ шаблонъ, сдѣланный въ масштабахъ поперечнаго профиля и выражающій собою нормальный профиль полотна дороги, такъ, чтобы ось симметріи шаблона шла по вертикальному направленію, потомъ обчерчиваютъ профиль шаблона, и такимъ обра-

зомъ между этимъ очертаніемъ и очертаніемъ профиля земли получается нѣкоторая площадь, выражающая собою величину насыпи или выемки въ данномъ профилѣ. Сдѣлавъ подобное начертаніе на всѣхъ вычерченныхъ поперечныхъ профиляхъ, найдемъ, какую надо сдѣлать земляную работу на каждомъ изъ нихъ, т. е. насыпь, выемку или съ одной стороны насыпь, а съ другой выемку.

Если, напр., на двухъ смежныхъ профиляхъ, разбитыхъ съ пикетовъ, окажутся однѣ выемки или однѣ насыпи, то кубическое содержаніе земляной работы между двумя смежными пикетами опредѣлится объемомъ призмы, у которой высота равна 50 саж., а площади основаній равны площадямъ выемокъ или насыпей на смежныхъ профиляхъ, т. е. для вычисленія объема, надо взять полу-сумму этихъ площадей и умножить на 50 саж. Подобнымъ образомъ можно вычислить на всемъ протяженіи дороги, какое надо количество земли вынуть и какое насыпать, или, другими словами, опредѣлить количество земляныхъ работъ. Подробнѣе о вычисленіи количества земляныхъ работъ излагается въ курсѣ строительнаго искусства.

428. Повѣрочныя изысканія. Повѣрочныя изысканія, главнымъ образомъ, назначаются для уменьшенія предѣльныхъ уклоновъ, приданныхъ дорогѣ предварительными изысканіями, т. е., напр., для замѣны уклоновъ сотенныхъ и восьмитысячныхъ уклонами шести или пятитысячными; при этомъ продольную нивеллировку производятъ въ случаяхъ особой необходимости, главнымъ же образомъ, стараются прямо на профилѣ, полученномъ прежними изысканіями, назначить линію съ меньшими уклонами.

Если же для этого оказывается необходимымъ измѣнить направленіе линіи въ нѣкоторыхъ ея частяхъ, то производятъ изысканія по этимъ различнымъ варіантамъ и при этомъ руководствуются всѣми тѣми указаніями, какія сдѣланы въ §§ 423 и 425-омъ о назначеніи линіи по картѣ и при производствѣ рекогносцировки.

Кромѣ того, повѣрочныя изысканія имѣютъ цѣлью опредѣлить ближе величину отверстій и высотъ водопропускныхъ сооруженій, а также провѣрить расположеніе станцій какъ относительно пространствъ, отводимыхъ подъ станціи, сообразно съ пропускною способностью дороги, такъ и относительно удобства водоснабженія станцій.

Иногда, при повѣрочныхъ изысканіяхъ, полагается собрать свѣ-

дѣнія объ экономическомъ значеніи будущей дороги и о мѣстныхъ цѣнахъ на рабочихъ и матеріалы.

На основаніи этихъ изысканій, точно такъ же, какъ и на основаніи предварительныхъ, составляется полный проектъ дороги съ подробными расцѣночными вѣдомостями.

Подобнаго рода изысканія производились у насъ, напр., по линіи между Екатеринбургомъ и Троицкомъ.

429. Окончательныя изысканія. Въ основаніяхъ своихъ окончательныя изысканія ведутся такъ же, какъ и предварительныя, съ нѣкоторыми лишь особенностями, о которыхъ скажемъ ниже. Главное, къ чему надо стремиться при окончательныхъ изысканіяхъ, это — наивозможное улучшеніе предварительныхъ изысканій. Поэтому, если для этой цѣли приходится отклонять линію отъ прежняго направленія, то надо руководствоваться всѣми тѣми соображеніями, какія были высказаны раньше для отклоненія линіи на картѣ и при рекогносцировкѣ.

Направленіе дороги, выбранное на мѣстѣ по летучимъ и предварительнымъ изысканіямъ, рѣдко оказывается вполнѣ безукоризненнымъ, въ каждой прямой, въ каждой кривой или въ положеніи вершинъ угловъ можно часто отыскать недостатки. На мѣстѣ можно часто увидѣть, что если подвинуть линію въ сторону на нѣсколько саженъ или немного измѣнить ея направленіе, то уменьшится работа по сооруженію дороги; если перенести уголъ, то двѣ кривыя можно замѣнить одною кривою большаго радіуса и сократить длину линіи, если сдѣлать кривую большаго или меньшаго радіуса, то можно, сократить количество земляныхъ работъ. Оцѣнить преимущество одного направленія передъ другимъ можно только по сравненію профилей, а для этого нужно пронивеллировать по всѣмъ выбраннымъ направленіямъ. Сравненіе между собой профилей приведетъ къ убѣжденію, какое изъ выбранныхъ направленій наилучшее.

Въ ровной мѣстности такого рода измѣненія линіи на глазъ, на мѣстѣ, съ цѣлью выбора наилучшаго для нея направленія, представляютъ сравнительно небольшія трудности. Въ пересѣченной же мѣстности, гдѣ, какъ знаемъ, изъ предыдущаго, чаще всего обманывается глазъ, и гдѣ, между тѣмъ, малое отклоненіе линіи часто совершенно измѣняетъ профиль, количество работъ, а слѣд., и стоимость ихъ, выборъ линіи на глазъ на самой мѣстности крайне

затруднителенъ; для этого часто приходится на одномъ и томъ же мѣстѣ нѣсколько разъ дѣлать одну и ту же работу, такъ какъ выбрать сразу въ пересѣченной мѣстности радіусъ кривой всегда трудъ большой, и, главное, трудъ, такъ сказать, ощупью. Поэтому, въ такой мѣстности очень важно имѣть планъ съ выраженіемъ всѣхъ изгибовъ поверхности земли, тогда возможно разсматривать эту поверхность на довольно большомъ протяженіи, что называется съ птичьяго полета, и тогда трудности выбора линіи устраняются, и составитель проекта измѣняетъ положеніе прямой, выбираетъ соотвѣтственный радіусъ, имѣя критеріумъ для своей работы, а тяжелый трудъ ощупью обращается въ трудъ сознательный.

Въ мѣстностяхъ, очень пересѣченныхъ, какъ на Кавказѣ, начиная съ 1873 года, при изысканіяхъ начали употреблять, для составленія плана въ горизонталяхъ, съемку тахеометромъ (Глава XXXVII). Такого рода съемка была произведена въ 1873 году чрезъ главный кавказскій перевалъ и по Дарьяльскому ущелью, въ 1874 г. въ Бамбакскомъ и Добидачайскомъ ущельяхъ, по линіи между Тифлисомъ и Джульфой, въ 1890 г. по переваламъ Джимагскому (Магскому) и Архотскому, между Тифлисомъ и Владикавказомъ.

Если мѣстность средней трудности, и для нея нѣтъ плана въ горизонталяхъ, то онъ изготовляется во время окончательныхъ изысканій, на основаніи поперечной нивеллировки, производимой по направленіямъ, перпендикулярнымъ къ магистральной линіи.

Во время изысканій надо стараться, по возможности, уменьшить количество работъ для составленія такого плана. Для уменьшенія полевой работы, при разбивкѣ поперечныхъ профилей, можно руководствоваться слѣдующими соображеніями. Напримѣръ, на мѣстѣ можно видѣть, что уменьшить работы въ данномъ пунктѣ можно не иначе, какъ только отклонивъ линію вправо, а потому дѣлать поперечную нивеллировку въ лѣвую сторону было бы безполезной работой. Если линія идетъ по косогору, и по магистральной линіи нужно сдѣлать выемку, то, чтобы уменьшить выемку или довести до нуля, надо подвинуть линію къ тальвегу и, слѣд., имѣть планъ въ горизонталяхъ въ сторону возвышенія нѣтъ надобности и, развѣ для доказательства только предъ другими, нужно сдѣлать нивеллировку въ эту сторону на столько, чтобы было видно, что тутъ дѣйствительно возвышенность. Положимъ, кромѣ того, что въ линіи, идущей

по косогору, надо сдѣлать выемку глубиною 8 саж., слѣд., чтобы уменьшить ее до нуля, надо проннвеллировать въ сторону оврага до того мѣста, гдѣ отмѣтка окажется на 8 саженъ меньше отмѣтки точки магистрали, съ которой разбить профиль; но лучше, если профиль продолжить еще на половину ширины полосы, отчуждаемой подъ дорогу, отъ 12 до 30 саженъ ширины, на которой располагаются строенія, резервы, т. е. мѣста, откуда берется земля для насыпей и балласта, и кавальеры, т. е. мѣста, гдѣ складывается земля изъ выемокъ.

Если линія проходитъ по возвышенности, имѣющей склонъ въ обѣ стороны отъ назначенной дороги, то уменьшенія работъ можно достигнуть отклоненіемъ линіи или въ ту, или въ другую сторону, и чтобы рѣшить, куда же именно отклонить ее, надо посмотрѣть на дальнѣйшую часть дороги. Если, напримѣръ, далѣе этого мѣста приходится проектировать насыпь, уменьшить которую можно, подвигая линію влѣво, потомъ приходится проектировать выемку, для уменьшенія которой надо также отклонить линію влѣво, то, слѣдовательно, необходимо составить планъ въ горизонталяхъ съ лѣвой стороны отъ магистральной линіи. Пользуясь такого рода соображеніями, всегда можно опредѣлить ширину полосы для плана въ горизонталяхъ, нужно только всякій разъ отдать себѣ отчетъ, какіе профиля дѣйствительно необходимы, и вести ихъ такъ, чтобы, когда явится въ томъ необходимость, было возможно пополнить ихъ.

Для всего этого надо предварительно сдѣлать осмотръ мѣстности по назначенному уже предыдущими изысканіями направленію и, соображаясь съ мѣстностью и профилемъ, отмѣтить на картѣ всѣ мѣста, гдѣ можно уменьшить количество земляныхъ и другихъ работъ.

Если окажется, что улучшеніе въ выборѣ направленія можетъ быть исполнено, если линію отнести въ сторону за версту и болѣе отъ назначеннаго уже направленія, то лучше провѣрить и проннвеллировать обходную линію, чтобы избѣжать длинныхъ поперечныхъ профилей. Опредѣляя, гдѣ нужно сдѣлать поперечные профиля, съ цѣлью составленія плана въ горизонталяхъ, должно, слѣдовательно, принять во вниманіе всѣ повороты дороги, какіе ей слѣдуетъ придать, дабы улучшить ее относительно уклоновъ и уменьшить земляныя работы. Сообразно съ этимъ слѣдуетъ назначить профиля такъ часто или такъ рѣдко, чтобы можно было опредѣлить ими характеръ мѣст-

ности въ главныхъ очертаніяхъ, и, слѣдов., въ мѣстностяхъ, гдѣ попадаются ямы, болѣе или менѣе незначительныя возвышенія, канавы, валики, промоины и т. п. мелкіе изгибы земной поверхности, не слѣдуетъ назначать профиля съ цѣлью полученія очертанія этихъ небольшихъ возвышеній или углубленій. Для очертанія холма или отдѣльной возвышенности, надо назначить одинъ изъ профилей такъ, чтобы онъ проходилъ чрезъ вершину, а другіе профиля по направленію касательныхъ къ очертанію подошвы возвышенности. Если возвышенность имѣетъ нѣсколько вершинъ, то отъ главнаго профиля нужно провести отдѣльные профиля къ другимъ вершинамъ и сѣдловинамъ.

Въ графѣ примѣчаній нивеллировочнаго журнала противъ каждаго пронивеллированнаго профиля полезно записывать, какой характеръ имѣетъ мѣстность въ дальнѣйшемъ направленіи профиля, напр., однообразный подъемъ или скатъ, крутой подъемъ или скатъ и т. п. Если поперечныхъ профилей разбито много, то слѣдуетъ связать нивеллировкою линію, проходящую чрезъ оконечныя точки поперечныхъ профилей, съ магистральной линіей.

Кромѣ того, дѣлая поперечную нивеллировку, надо замѣчать и записывать въ книжку родъ грунта и предѣлы скалистаго или твердаго грунта, причемъ изслѣдованіе грунта въ глубину дѣлается или пробными ямами до сажени глубины, или буровыми инструментами, если надо изслѣдовать на большую глубину.

Когда обходныя линіи выбраны, провѣшены и пронивеллированы, тогда составляютъ продольные профиля обходныхъ линій, наносятъ проектную линію земляного полотна (§ 425), потомъ сравниваютъ новый профиль съ профилями по магистральной линіи и опредѣляютъ, къ которому изъ нихъ ближе можетъ быть отыскана наивыгоднѣйшая линія; благодаря такимъ соображеніямъ, можно уменьшить послѣдующую нивеллировочную работу. Послѣ этого разбиваютъ и нивеллируютъ поперечные профиля.

Вычерчиваніе профилей, для скорости, производится карандашемъ на графленой бумагѣ; профиля наносятъ послѣдовательно одинъ за другимъ, ставятъ надъ ними нумера, соотвѣтствующіе плану, и обозначаютъ величины главныхъ отмѣтокъ. По концамъ профилей ставятся буквы для отличія правой и лѣвой стороны,—конечно, въ этомъ отношеніи лучше всего установить какой-нибудь одинъ опредѣленный порядокъ.

Масштабъ для горизонтальныхъ разстояній въ профиляхъ берется, для большаго удобства, такой же, какъ и для плана, напр., 50 саженъ въ 0,01 саж., а для вертикальныхъ разстояній 1 саж. въ одной сотой сажени; если же мѣстность очень гориста, то для вертикальныхъ разстояній берутъ 5 саж. въ одной сотой сажени, дѣлается это для того, чтобы поперечные профили не занимали слишкомъ много мѣста на бумагѣ.

Когда профиля готовы, то, во-первыхъ, назначаютъ карандашомъ на планѣ направленія магистрали и направленія идущихъ отъ нея профилей. Затѣмъ, къ каждому профилю, по горизонтальному направленію, прикладываютъ ленточки бѣлой бумаги, на которыхъ назначаютъ проекціи точекъ, имѣющихъ отмѣтки, равныя цѣлымъ саженямъ или полусаженямъ, а также отмѣчаютъ положеніе точки магистрали, съ которой былъ разбитъ профиль, и положеніе точекъ наиболѣе понижепныхъ и наиболѣе повышенныхъ реберъ, гребней, овраговъ, ихъ тальвеговъ; у нѣкоторыхъ изъ намѣченныхъ точекъ ленточки ставятъ и самыя отмѣтки. Получивъ такимъ образомъ горизонтальныя разстоянія, или заложенія между точками, разнящимися по высотѣ на полсажени, переносятъ ихъ на планъ, при помощи бумажной ленточки, по направленію, соотвѣтствующему профилю, съ котораго взяты заложенія. При этомъ на планѣ во всѣхъ точкахъ ставятъ соотвѣтственныя отмѣтки.

Планъ вычерчивается на отдѣльныхъ листахъ, какъ было сказано въ § 377-мъ.

Горизонтали, большею частью, принято назначать въ чертежной, но это не можетъ привести къ хорошимъ результатамъ, многіе изгибы при такомъ способѣ на планѣ не будутъ выражены, поэтому слѣдуетъ главныя горизонтали назначать непремѣнно въ полѣ, какъ о томъ было сказано въ § 377-мъ.

Вычерчиваніе профилей и перенесеніе по нимъ отмѣтокъ на планъ должно также исполнять во время полевой работы каждый день, не откладывая до непастныхъ дней, чтобы работа не накоплялась. Слѣдуетъ поставить правиломъ не переѣзжать на другое мѣсто, пока не приведены въ порядокъ всѣ собранныя свѣдѣнія.

Когда, тѣмъ или другимъ путемъ, планъ въ горизонталяхъ составленъ, и горизонтали вытянуты тушью, тогда приступаютъ къ выбору наивыгоднѣйшаго направленія, т. е. соображаютъ по плану,

какія можно сдѣлать измѣненія въ направленіи магистральной линіи для уменьшенія земляныхъ работъ и, вообще, различныхъ трудностей. Имѣя передъ собою планъ на протяженіи нѣсколькихъ верстъ со всѣми изгибами земной поверхности, къ нему надо приложить всѣ тѣ соображенія, замѣчанія и правила, которыя изложены въ параграфѣ 423-мъ о назначеніи линіи по картѣ, что дастъ возможность опредѣлить на планѣ въ горизонталяхъ тѣ точки, чрезъ которыя линія никоимъ образомъ не должна быть проводима, а также и тѣ точки, чрезъ которыя она непремѣнно должна пройти.

Проектированіе слѣдуетъ начинать отъ вершины возвышенія или отъ другой какой либо точки, чрезъ которую линія должна непремѣнно пройти, и назначать на планѣ линію даннаго уклона, переходя отъ одной горизонтали къ другой, на основаніи правила, изложеннаго въ § 291-мъ. Такимъ образомъ, на планѣ могутъ быть получены ломаныя линіи довольно короткія, называемыя *линіями нулевыхъ работъ*. Иныя ломаныя линіи окажется возможнымъ замѣнить прямыми, если эти прямыя не пересѣкутъ многихъ горизонталей.

Сдѣлавъ также измѣненіе въ углахъ поворотовъ, слѣдуетъ затѣмъ пересѣкающіяся прямыя соединить дугами круговъ. Съ этою цѣлію, полезно имѣть нѣсколько круговъ изъ тонкаго картона, описанныхъ различными радіусами и взятыми въ масштабѣ съемки. При этомъ слѣдуетъ сначала пробовать вставить между прямыми частями кривыя наибольшаго радіуса, и если то окажется невозможнымъ, постепенно переходить къ кругамъ меньшаго радіуса.

Но во всякомъ случаѣ слѣдуетъ избѣгать излишней извилистости линіи, чтобы не удлинять линію безполезно и чтобы не затруднять впослѣдствіи содержаніе такой линіи во время эксплоатаціи.

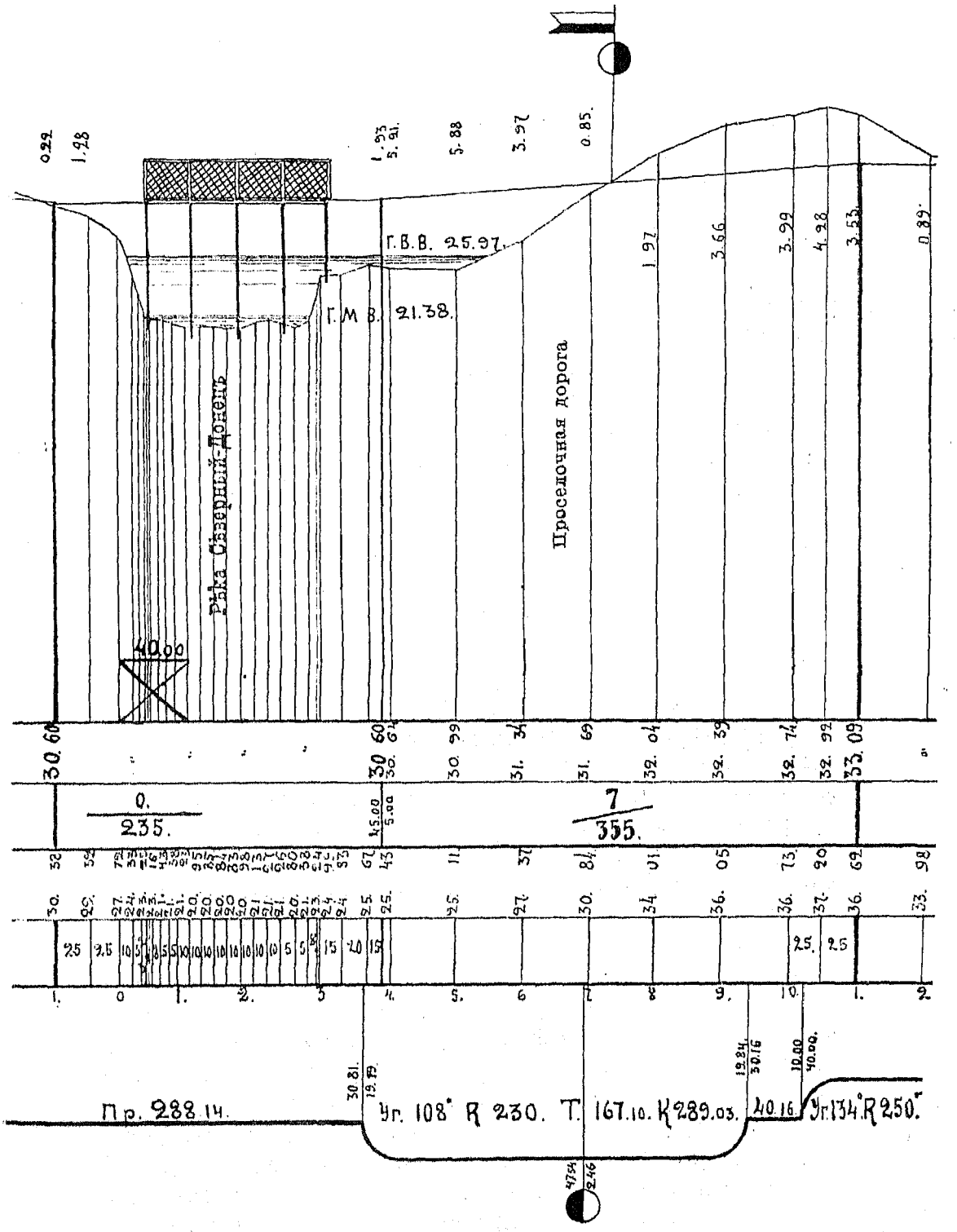
Когда такимъ образомъ будетъ назначена линія, на нѣсколькихъ листахъ, слѣдуетъ обратить вниманіе на грунтъ земли, скать поверхности, на пересѣкаемыя рѣки. Разсматривая намѣченную линію на планѣ въ горизонталяхъ, слѣдуетъ дать себѣ отчетъ, не выгоднѣе ли спрямить линію, сдѣлавъ выемку или насыпь, нельзя-ли немного измѣнить направленіе прямой части, не выгоднѣе-ли взять кривую другого радіуса, не выгоднѣе-ли прямую часть прервать кривою небольшой длины, не лучше-ли взять ту или другую точку немного выше или немного ниже, чтобы получить вслѣдствіе всего этого профиль болѣе хорошій. Дѣлая подобнаго рода изслѣдованія, иногда приходится дѣ-

лать видоизмѣненія линіи два, три и болѣе разъ. Но всякій разъ, какъ сдѣланы измѣненія на протяженіи нѣсколькихъ верстъ, надо вновь внимательно пересмотрѣть ихъ, и всегда окажется, что какія-нибудь обстоятельства были упущены при первомъ осмотрѣ. Этого рода работу надо повторять, пока не явится убѣжденіе, что линія выбрана хорошо, помня, *что всякая такая работа на планѣ легче, чѣмъ та, какую надо произвести въ полѣ лопатой и ломомъ, чтобы выполнить запроектированную линію.*

Въ мѣстахъ пересѣченія линіи съ значительными рѣками, направленіе дороги слѣдуетъ назначить перпендикулярно къ направленію теченія весеннихъ водъ, которое часто бываетъ не по направленію меженняго теченія; этимъ устраняется подмывъ устоевъ и быковъ весеннимъ теченіемъ; можетъ случиться, что быки расположатся при этомъ не по направленію меженняго теченія, но это менѣе опасно. Въ мѣстахъ, гдѣ дорога проходитъ близъ рѣки, всегда слѣдуетъ избѣгать мѣстъ, заливаемыхъ водою.

Когда линія выбрана по плану въ горизонталяхъ, то на ней назначаютъ пикеты и версты и составляютъ съ плана два продольныхъ профиля, одинъ—въ масштабѣ для горизонтальныхъ разстояній 50 саж. въ 0,01 саж., а для вертикальныхъ 5 саж., другой—въ масштабѣ 500 саж. въ 0,01 для горизонтальныхъ, а для вертикальныхъ 10 саж. въ 0,01 саж., съ обозначеніемъ положенія пикетовъ и верстъ. На чертежѣ 509-мъ изображена часть профиля, для котораго взятъ горизонтальный масштабъ 100 саженъ въ сотой сажени, а вертикальный 10 саженъ въ одной сотой сажени. На этомъ профилѣ показаны высоты выемокъ и насыпей, отмѣтки поверхности земли, длина отдѣльныхъ участковъ проектированной линіи съ показаніемъ уклона, напримѣръ, $\frac{7}{350}$, означаетъ, что длина 350 саженъ, а уклонъ равенъ 0,007. Затѣмъ имѣется графа съ отмѣтками проектной линіи, графа съ горизонтальными разстояніями, номера пикетовъ, углы поворотовъ, радіусы закругленій, тангенсы, длины кривыхъ и нумера верстъ.

Послѣ этого проектируютъ линію полотна дороги на маломъ профилѣ. При этомъ надо руководствоваться всѣмъ тѣмъ, что сказано о проектированіи полотна въ § 425-мъ. Запроектированную линію на сжатомъ профилѣ слѣдуетъ пересмотрѣть нѣсколько разъ, на немъ легче замѣтить несообразности въ проектировкѣ, чѣмъ на большомъ


0.22
1.28
1.23
5.91.
5.88
3.97
0.85.
Г.В.В. 25.97.
Г.М.В. 21.38.
Река Северный Донец
Проселочная дорога
1.97
3.66
3.99
4.28
3.53
0.89
40.00
30.60
30.60
30.64
30.99
31.34
31.69
32.04
32.39
32.74
32.92
33.09
0.
235.
45.00
5.00
7
355.
Пр. 288 14.
Уг. 108° R 230. T. 167.10. K 289.03.
Уг. 134° R 250.
30.81.
19.79.
19.84.
30.16
10.00
40.00
40.16
4.34
12.46

Черт. 509.

профилѣ. Послѣ такого пересмотра переносятъ линію на большой профиль и измѣняютъ ее на этомъ профилѣ для возможнаго сокращенія работъ.

Составивъ такимъ образомъ профиля, часто можно замѣтить мѣста, въ которыхъ лучше измѣнить направленіе дороги, для этого вновь надо обратиться къ плану въ горизонталяхъ и измѣнить на немъ, если окажется возможно, направленіе дороги и вновь пересоставить въ этихъ мѣстахъ профиля.

Послѣ того, какъ линія окончательно выбрана, ее разбиваютъ на землѣ и нивеллируютъ продольно, а также и поперечно, перпендикулярно къ оси дороги во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ поперечныя направленія имѣютъ уклоны большіе 0,25.

При назначеніи линіи въ полѣ, или, какъ говорятъ, при трассировкѣ, стремятся разбить линію такъ, чтобы она имѣла профиль настолько же хорошій, насколько хорошо онъ получился на бумагѣ, и, кромѣ того, необходимо вновь пронивеллировать съ большими подробностями, чѣмъ это было сдѣлано при составленіи профиля съ плана горизонталей.

При этомъ необходимо каждую кривую обозначать, по крайней мѣрѣ, пятью точками, такъ какъ исправленія придется сдѣлать почти при каждой кривой, потому что направленіе линіи почти всегда окажется назначеннымъ на бумагѣ или выше, или ниже, чѣмъ можно назначить ее въ дѣйствительности. Точно также можетъ оказаться необходимымъ назначить линію иначе и по другимъ соображеніямъ.

При трассировкѣ линіи въ ровной мѣстности, какъ сказано выше, нѣтъ надобности составлять планъ горизонталей, но необходимо сдѣлать поперечные профиля, чрезъ нѣкоторые промежутки, на разстояніи отъ 10 до 50 саж. другъ отъ друга, и во всякомъ случаѣ въ мѣстахъ, имѣющихъ по сторонамъ магистрали уклоны не менѣе 0,25 саж., и въ обѣ стороны отъ магистрали не менѣе, какъ на 5 саженъ, и не болѣе величины заложенія откосовъ проектируемаго въ данномъ мѣстѣ полотна дороги. Профиля эти можно нанести на планѣ въ совмѣщеніи, хотя бы одинъ изъ нихъ покрывалъ другой, отъ этого неудобства никакого не произойдетъ, или же можно нанести ихъ на отдѣльныхъ листкахъ клѣтчатой бумаги.

При производствѣ окончательныхъ изысканій, необходимо также собрать свѣдѣнія о высотѣ самаго высшаго весенняго горизонта водъ,

о высотѣ меженняго горизонта ихъ, о горизонтѣ ледохода и о количествѣ воды, протекающей въ рѣкахъ, пересѣкаемыхъ проектируемою дорогою, для того чтобы вычислить, какую величину надо придать отверстіямъ водопропускныхъ сооруженій.

Для нѣкоторыхъ большихъ нашихъ рѣкъ, какъ Волга, Кама, Ока, Сура, Днѣпръ, Днѣстръ, Сѣверная Двина, имѣются такія данныя въ изданіяхъ министерства путей сообщенія и въ архивѣ департамента шоссейныхъ и водяныхъ сообщеній, въ особенности богатыя въ этомъ отношеніи данныя имѣются для разныхъ мѣстъ Волги.

Но въ тѣхъ случаяхъ, когда такихъ собранныхъ уже данныхъ не имѣется, необходимо сдѣлать опредѣленія количества протекающей воды въ рѣкѣ, а для этого необходимо опредѣлить скорости теченія въ различныхъ точкахъ профиля, или живого сѣченія рѣки (§ 418). Если извѣстенъ расходъ воды, хотя бы во время лѣта, то по нему можно затѣмъ опредѣлить приблизительно расходъ воды во время половодья.

Каждая партія, производящая окончательныя изысканія, должна состоять изъ начальника партіи, обязанности котораго должны заключаться въ наблюденіи за всѣми работами. Онъ не долженъ самъ работать какимъ-либо отдѣльнымъ инструментомъ, а долженъ наблюдать за правильностью работы своихъ помощниковъ. Первый помощникъ имѣетъ при себѣ угломѣрный инструментъ для назначенія и провѣшиванія линіи, при немъ должно быть отъ 7 до 10 чел. рабочихъ, смотря по мѣстности. Одинъ изъ этихъ рабочихъ долженъ быть грамотнымъ, онъ измѣряетъ линію, или, какъ часто говорятъ, ведетъ пикеты, его обыкновенно называютъ десятникомъ или пикетажистомъ. Второй и третій помощники производятъ продольную нивеллировку. При каждомъ изъ нихъ должно быть отъ 3 до 5 чел. рабочихъ. Для производства поперечныхъ нивеллировокъ и для съемки нѣкоторыхъ участковъ горизонталями, должно имѣть нѣсколько съемщиковъ, число которыхъ зависитъ отъ большей или меньшей величины снимаемаго пространства.

При партіи долженъ быть обозъ, состоящій изъ нѣсколькихъ подводъ съ имуществомъ, съ запасными инструментами и продовольствіемъ партіи.

У насъ въ Россіи обходятся меньшимъ числомъ помощниковъ, потому что начальникъ партіи, обыкновенно, ведетъ линію самъ,

многія же чертежныя работы не выполняются въ полѣ, а откладываются до зимы.

На основаніи окончательныхъ изысканій долженъ быть составленъ подробный проектъ съ представленіемъ всѣхъ данныхъ, перечисляемыхъ въ инструкціяхъ.

Глава XLII.

КРАТКІЙ ИСТОРИЧЕСКІЙ ОЧЕРКЪ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХЪ РАБОТЪ ВЪ РОССІИ.

При собирателѣ земли Русской, царѣ Іоаннѣ Васильевичѣ III-мъ, съ цѣлями финансовыми, а также для рѣшенія споровъ о владѣніи, производились описанія земель, что лежало на обязанности *писцовъ*, составлявшихъ *писцовыя межевыя книги*. Въ книгахъ этихъ не означалось ни длины межъ, ни угловъ между границами владѣнія, поэтому описанія носили на себѣ характеръ крайне сбивчивый: многихъ селъ и мѣстностей въ нихъ совсѣмъ не значилось. Споры о владѣніи не прекращались, поэтому при царѣ Ѳедорѣ Алексѣевичѣ (1681 г.) были посланы валовые писцы для размежеванія земель во всемъ государствѣ. Валовые писцы, при своихъ работахъ, угловъ между границами не мѣрили, а въ описаніяхъ говорили, напримѣръ, такъ: линія идетъ направо, линія идетъ налѣво, плановъ не составляли, но уже употребляли при измѣреніяхъ веревку въ нѣсколько саженъ длины и мѣрную сажень.

Императоръ Петръ Великій посылалъ свѣдущихъ людей какъ русскихъ, такъ и иностранцевъ, для составленія картъ вновь открытыхъ или малоизвѣстныхъ частей имперіи. Тридцать молодыхъ людей, обученныхъ геодезіи и геометріи въ Морской Академіи, спеціально занимались измѣреніемъ земель, сочиненіемъ ландкартъ. Правительствующій Сенатъ имѣлъ строгій надзоръ за работами этихъ геодезистовъ. Карты, составленныя ими, по повелѣнію императрицы Екатерины I-й, въ 1726 году были доставлены въ Академію Наукъ.

Въ 1739 г. былъ учрежденъ при Академіи Географическій Департаментъ и, по предложенію Эйлера, знаменитаго математика, временно управлявшаго Департаментомъ, составлены сначала карты гу-

берній и областей, а потомъ въ 1745 г. появился атласъ, состоящій изъ девятнадцати спеціальныхъ картъ, представляющихъ имперію съ пограничными землями.

Одновременно съ этимъ военное вѣдомство начало собирать точныя географическія свѣдѣнія и составлять карты для потребностей войскъ. По военному уставу Петра Великаго, на обязанности генералъ-квартирмейстера лежало ближайшее знакомство съ мѣстностью, по которой войска должны были проходить, и всѣ распоряженія по устройству дорогъ. При императрицѣ Аннѣ Іоанновнѣ рекогносцировками и съемками занималось исключительно инженерное вѣдомство. Войны показали, что необходимо имѣть при войскахъ офицеровъ, спеціально предназначенныхъ къ производству съемки. Поэтому, въ 1763 г. утвержденъ былъ штатъ Генеральнаго Штаба, на чиновъ котораго, между прочимъ, возлагалась работа по составленію картъ.

При Аннѣ Іоанновнѣ были посланы для генеральнаго межеванія валовые межевщики. При Елизаветѣ Петровнѣ (1754 г.) дана была межевщикамъ межевая инструкція. Длину линій уже требовалось мѣрить 10-ти саженной цѣпью, а углы астролябіей. При генеральномъ межеваніи по инструкціи, данной при императрицѣ Екатеринѣ II-й, планы должны были составляться въ масштабѣ 100 саженъ въ одномъ дюймѣ.

Въ надписи плана, названной картушею, означалось названіе дачъ, имена владѣльцевъ и землемѣра, время межеванія и склоненіе магнитной стрѣлки. На основаніи такихъ плановъ составляли генеральный планъ уѣзда. Инструкція 1766 года даетъ подробныя правила для граничной съемки, или съемки обходомъ. Инструкція эта вошла въ приложеніе къ статьѣ 433-й X тома Свода законовъ, части III, изданія 1857 года. Одновременно съ генеральнымъ межеваніемъ производилось также и спеціальное для размежеванія черезъ-полосныхъ владѣній, и которое еще и по настоящее время не окончено.

При межевыхъ работахъ не обращалось надлежащаго вниманія на точное изображеніе контуровъ внутри межевыхъ границъ; объ изображеніи рельефа вовсе не заботились; а для сводки отдѣльныхъ участковъ не имѣлось никакихъ данныхъ. Обстоятельства эти уменьшали возможность пользоваться планами генеральнаго межеванія для составленія государственныхъ картъ.

Въ 1797 г. учреждено собственное Его Величества депо картъ. Въ 1800 г. къ депо картъ присоединенъ былъ Географическій Департаментъ, а въ 1812 г. депо картъ названо Военно-Топографическимъ депо. Въ 1822 г. обнародовано „Положеніе о Корпусѣ Топографовъ". До 1819 г. большія топографическія съемки основывались на геометрической сѣти или же на небольшомъ числѣ астрономическихъ пунктовъ. Обыкновенно же, все снимаемое пространство разбивали на участки, ограниченные рѣками, дорогами и проч. Въ этихъ участкахъ дѣлалась съемка обходомъ, причемъ разстоянія мѣрились цѣпью, а углы или алидадою на мензулѣ, или астролябіей. Граничныя линіи служили основаніемъ для нанесенія, нерѣдко на глазъ, контуровъ внутри участка. Съ 1816 г. начали измѣреніе дуги меридіана въ 25° отъ устья Торнео до устья Дуная. Съ 1819 г. началось производство, такъ называемыхъ, большихъ государственныхъ топографическихъ съемокъ, по губерніямъ. Для сокращенія времени и уменьшенія издержекъ, съ 1844 г. съемки дѣлались въ одноверстномъ масштабѣ, а вмѣстѣ съ тѣмъ снимались, инструментально, только пути, рѣки и границы, а все остальное изображалось на глазъ. Чтобы придать, однако, возможно большую точность такимъ съемкамъ, независимо отъ тригонометрическихъ пунктовъ, пролагали болѣе частую, чѣмъ это дѣлалось до 1844 г., тригонометрическую сѣть. Бусоль употреблялась только въ лѣсахъ при съемкѣ малыхъ дорогъ и прочихъ незначительныхъ предметовъ.

Почти одновременно съ введеніемъ одно-верстнаго масштаба, на всѣхъ топографическихъ съемкахъ стали мѣрить вертикальные углы, при помощи кипрегеля съ вертикальнымъ кругомъ; этимъ положено начало точнаго основанія для выраженія рельефа. Въ настоящее время въ складѣ картъ военно-топографическаго отдѣла главнаго штаба для 44 губ. Европейской Россіи, для Царства Польскаго и большей части Кавказа и Княжества Финляндскаго, имѣются брульоны, снятые въ одно-верстномъ масштабѣ, или приведенные въ этотъ масштабъ, со старыхъ 250- или 200-саженныхъ съемокъ.

Въ 1844 г. послѣдовало Высочайшее повелѣніе, вошедшее потомъ въ Сводъ законовъ (ст. 818, т. X, ч. III), которымъ дозволялось не считать невѣрными тѣхъ плановъ межевого вѣдомства, въ которыхъ, при повѣркѣ, окажется въ углѣ ошибка въ четверть градуса, а въ мѣрѣ линіи до 50 саженъ—$^1/_2$ сажени, отъ 50 до 100 са-

женъ—1 сажень, отъ 100 до 250 саженъ—2 сажени, а далѣе—полагая на каждую версту по $1^1/_2$ сажени.

Вслѣдъ за введеніемъ военныхъ съемокъ одно-верстнаго масштаба, производившихся подъ непосредственнымъ вѣдѣніемъ генеральнаго штаба, начато было въ 1848 году составленіе межевыхъ атласовъ по губерніямъ совокупными дѣйствіями топографовъ и землемѣровъ межевого вѣдомства. Съемки, по которымъ составлялись эти атласы, имѣли основаніемъ астрономическіе пункты. Отъ одного до другого такого пункта проходили инструментально, измѣряя линіи цѣпью и углы астролябіей. Главное вниманіе обращалось на опредѣленіе положенія границъ генеральнаго межеванія, чтобы впослѣдствіи можно было правильно оріентировать межевой планъ; для этого не только проходили по бокамъ трехъ астрономическихъ пунктовъ, образующихъ треугольникъ, но и поперекъ его, отъ одного бока до другого. Несмотря на это, несмыкаемость пройденныхъ линій между данными точками, равно какъ и всѣхъ поперечныхъ линій между собою, была неизбѣжна. На таковыхъ началахъ, съ 1849 по 1866 г., снято 8 губерній: Тверская, Ярославская, Владимірская, Нижегородская, Рязанская, Тамбовская, Пензенская и Симбирская.

Инструментальныя съемки военнаго вѣдомства дали возможность издать трехъ-верстную военно-топографическую карту, обнимающую значительную часть поверхности Европейской Россіи. Благодаря работамъ военнаго вѣдомства, $^2/_3$ Европейской Россіи покрыты первоклассною тріангуляціею. Географическія координаты ея пунктовъ, т. е. широта, долгота и высота, даны въ каталогѣ астрономическихъ и тригонометрическихъ пунктовъ, изданномъ въ 1863 г., и въ дополненіи къ нему 1866 г. Азимуты опредѣлялись на предметы, сохраняющіеся многіе десятки лѣтъ, а центры сигналовъ зарыты въ землю, такъ что и теперь, спустя 40 — 50 лѣтъ послѣ того, какъ проложена была тріангуляція, пользуются ею для дальнѣйшаго развитія непосредственныхъ основаній для съемокъ.

Въ 1854 г. учрежденъ былъ военно-топографическій отдѣлъ при генеральномъ штабѣ кавказскаго корпуса; одновременно съ обширными геодезическими и топографическими работами, исполненными на Кавказѣ, произведены военными топографами многочисленныя съемки въ Оренбургскомъ краѣ: хозяйственная съемка земель Уральскаго казачьяго войска, пригодная какъ для поземельнаго устройства

войска, такъ и для составленія картъ; съемка башкирской земли и Букеевской орды; рекогносцировка береговъ Каспійскаго и Аральскаго морей, Усть-Урта и другихъ мѣстностей; съемка всей Оренбургской губерніи въ одно-верстномъ масштабѣ и съемка Киргизской степи.

Благодаря всѣмъ съемкамъ, въ значительной части Европейской Россіи явилась возможность улучшить спеціальную карту десяти-верстнаго масштаба.

Въ послѣднія десятилѣтія, военное вѣдомство признало для своихъ цѣлей не вполнѣ удовлетворительною военно-топографическую карту. Поэтому установлены были новыя правила для производства съемокъ, и вслѣдъ за окончаніемъ войны 77 и 78 годовъ значительная часть военно-топографическаго корпуса направлена была къ переснятію всей западной пограничной полосы.

Масштабъ для новыхъ съемокъ принятъ 250 саж. въ дюймѣ; основаніемъ имъ служатъ геодезическіе пункты, предварительно опредѣленные тріангуляціями или нивеллиръ-теодолитными работами. На каждый съемочный планшетъ, обнимающій, въ среднемъ, менѣе 100 кв. верстъ, дается не менѣе 4 геодезическихъ пунктовъ, равномѣрно распредѣленныхъ по планшету. Съемка производится мензулою съ кипрегелемъ и рейками. Прежде начала съемки пролагается геометрическая сѣть по всему планшету. Смотря по мѣстности, на каждомъ планшетѣ опредѣляется отъ 30 до 60 дополнительныхъ геометрическихъ пунктовъ. Одновременно съ проложеніемъ геометрической сѣти опредѣляются высоты ея пунктовъ, исходя отъ высотъ тригонометрическихъ пунктовъ, нерѣдко повѣренныхъ геометрическими нивеллировками. Съемка подробностей производится инструментальными обходами (§ 362 и 363) отъ основного пункта до другихъ такихъ же, такъ же геометрическихъ пунктовъ, помощью послѣдовательнаго опредѣленія ряда промежуточныхъ переходныхъ точекъ, служащихъ связью съ остальными точками. Рельефъ выражается горизонталями чрезъ каждыя 2 сажени по высотѣ; на покатостяхъ не свыше 2° и 3° проводятся промежуточныя горизонтали. Горизонтали обязательно назначаются въ полѣ, а не дома. Послѣ отдѣлки съемочные брульоны служатъ оригиналами для изданія одно-верстной и трехверстной картъ геліогравюрнымъ способомъ. Въ Азіатской Россіи производятся съемки на тѣхъ же основаніяхъ, между прочимъ, и по направленію строющейся Сибирской желѣзной дороги.

Съемки прибрежныхъ пространствъ, производимыя морскимъ министерствомъ, тоже имѣютъ большое государственное значеніе, такъ какъ морское министерство не отставало въ съемочномъ дѣлѣ отъ военнаго министерства. Съемки министерства государственныхъ имуществъ не изданы и для общегосударственныхъ картъ мало дали матеріала.

Первыя серьезныя заботы правительства о путяхъ сообщенія Россіи относятся къ царствованію императора Петра I. Тогда были начаты работы по устройству Ладожскаго канала и Вышневолоцкой системы, и уже въ то время производилась съемка мѣстностей, сопредѣльныхъ съ этими водными путями, о чемъ свидѣтельствуетъ карта, исполненная въ 1743 году, а затѣмъ въ 1763 году, составленная въ масштабѣ двѣ версты въ дюймѣ.

Въ 1767 году было учреждено главное управленіе водяныхъ коммуникацій подъ начальствомъ главнаго директора. Въ 1786 году, кромѣ того, учреждена комиссія дорогъ въ государствѣ, переименованная въ 1796 году въ экспедицію устройства дорогъ. Экспедиція эта просуществовала до 1809 года. Такъ какъ кромѣ грунтовыхъ дорогъ, въ этотъ періодъ времени, имѣлись только водяные пути, главнымъ образомъ, естественные, то и геодезическія работы вѣдомства путей сообщенія, относящіяся къ этому времени, заключаются исключительно въ составленіи топографическихъ описаній водяныхъ путей.

Со времени учрежденія главнаго управленія водяныхъ коммуникацій, начали производить почти по всѣмъ рѣкамъ и искусственнымъ системамъ изысканія, и до тридцатыхъ годовъ этого вѣка эти изысканія были исполнены почти на всѣхъ внутреннихъ водяныхъ путяхъ.

Какъ производились собственно геодезическія работы этого времени по вѣдомству путей сообщенія, описаній нѣтъ, но изъ надписей нѣкоторыхъ атласовъ, и изъ того, что на нихъ имѣется, можно составить нѣкоторое понятіе, какъ производились эти работы.

Съ 1784 по 1786 годъ производилась съемка рѣки Днѣпра отъ Кіева до города Херсона. Заголовокъ атласа, составленнаго на основаніи этихъ работъ, таковъ: „Атласъ рѣки Днѣпра, сочиненный съ оккуратной съемки 1784 года, съ присоединеніемъ сплава на трешкоутѣ вице-адмирала Пущина. Промѣръ глубинъ чиненъ въ ме-

женнее время въ Августѣ мѣсяцѣ 1786 года". Масштабъ одна верста въ дюймѣ, глубины на планѣ показаны по фарватеру въ футахъ.

Съ 1804 по 1810 годъ производилось регулированіе р. Шары отъ озера Выгонскаго до города Слонима. Атласъ этого протяженія р. Шары составленъ въ масштабѣ 30 саженъ въ дюймѣ, глубины на этихъ планахъ показаны въ футахъ и дюймахъ, только по фарватеру. Озаглавленъ этотъ атласъ такъ: „Книга генеральныхъ и детальныхъ плановъ, производившихся по рѣкѣ Шарѣ (съ 1804 по 1810 г.) работахъ и прожектированныя разныя постройки къ совершенію судоходства".

Въ 1801 году производилась съемка рѣки Донца. Атласъ этихъ работъ озаглавленъ такъ: „Планъ рѣки Донца, антрально снятый въ 1801 г., съ показаніемъ, отъ какого мѣста чистка сей рѣки начата заваловъ, препятствующихъ судоходному ходу, и расчистку оныхъ по 1810 годъ. Также сколько еще слѣдуетъ очистить". Масштабъ одна верста въ дюймѣ. Глубинъ не показано, отмѣтокъ горизонта нѣтъ.

Съ 1807 г. составлены „Детальные планы рѣки Оки съ показаніемъ, по обѣ стороны ситуаціи, подводныхъ и наружныхъ мелей и поперечныхъ профилей". *Планы относятся къ части Оки* отъ г. Лихвина до села Кузминскаго, что между Коломной и Рязанью. Масштабъ 100 саженъ въ дюймѣ, глубина показана по фарватеру въ футахъ, черезъ три, а иногда и болѣе верстъ, помѣщены поперечные профиля, на нихъ нанесены горизонты: большой весенній, средній весенній и горизонтъ „песчаный" (т. е. низкій).

Другой атласъ р. Оки отъ Орла до устья рѣки Цны составленъ въ 1803—1807 г. Масштабъ 50 саж. въ дюймѣ; чрезъ нѣсколько верстъ поставлены отмѣтки горизонта воды, и на каждомъ листѣ плановъ помѣщено по два, по три профиля.

Въ 1799—1801 гг. производились работы на сибирскихъ рѣкахъ Ангарѣ, Ленѣ и Оби, послѣдняя рѣка была снята отъ устья рѣки Тыма до устья р. Иртыша, на планахъ показанъ фарватеръ, масштабъ плановъ 5 верстъ въ дюймѣ.

Къ этому же времени относится атласъ на 68 листахъ, на каждомъ листѣ котораго помѣщена такая надпись: „Детальный планъ съ продольными и поперечными профилями мѣстоположенію перешейка, раздѣляющаго воды, текущія къ рѣкамъ Оби и Печоры, состоящія

между источниками Самарухи и р. Соби, съ показаніемъ на оном озеръ". Масштабъ 50 саж. въ дюймѣ.

Въ 1809 году составленъ атласъ р. Волхова отъ устья р. Мсты до Ладожскаго озера, въ масштабѣ одна верста въ дюймѣ. На каждомъ листѣ этого атласа имѣется продольный профиль, соотвѣтствующій плану, съ показаніемъ горизонта воды, дна рѣки и горизонта Ладожскаго озера, вездѣ подписаны паденія рѣки, а также черезъ нѣсколько верстъ имѣются скорости теченія, выраженныя въ миляхъ въ одинъ часъ. Но къ какому онѣ горизонту относятся не сказано. Съемки и нивеллировки разлива нѣтъ. Заголовокъ этого атласа таковъ: „Атласъ рѣки Волхова отъ устья рѣки Мсты до Ладожскаго озера съ генеральной картой всей рѣки и географическими широтами, по астрономическимъ наблюденіямъ опредѣленными".

Изъ всѣхъ надписей на планахъ видно, что одни опредѣляли географическія широты по астрономическимъ наблюденіямъ; другіе дѣлали нивеллировку, третьи нѣтъ; четвертые снимали профиля и на нихъ означали различные горизонты, пятые упоминали, что промѣръ чиненъ въ меженнее время, но означали его лишь по фарватеру, шестые, и ихъ большинство, совсѣмъ не упоминали, когда производился промѣръ глубинъ, т. е. при какомъ горизонтѣ. Очень не многіе упоминаютъ о скоростяхъ рѣки и изображаютъ рельефъ береговъ рѣки. Масштабы съемокъ самые разнообразные. По всему этому можно заключить, что общей программы геодезическихъ работъ того времени не было, и что всякій производилъ изысканія такъ, какъ онъ самъ понималъ это дѣло.

Въ 1809 году главное управленіе водяныхъ коммуникацій преобразовано въ управленіе водяными и сухопутными сообщеніями, и вмѣстѣ съ тѣмъ открытъ Институтъ корпуса инженеровъ путей сообщенія, въ которомъ, между прочими предметами, положено преподавать геодезію и астрономію.

Въ томъ же 1809 году, на основаніи всѣхъ собранныхъ ранѣе свѣдѣній, издана гидрографическая карта Европейской Россіи въ масштабѣ 40 верстъ въ дюймѣ.

Въ 1811 году сочинена подробная гидрографическая карта Великаго княжества Финляндскаго, части Лапландіи, части Олонецкой и Архангельской губерніи.

Начиная съ 1809 года, предприняты были довольно значительныя

работы по улучшенію судоходства; такъ, ведутся работы по углубленію Волги между Тверью и Рыбинскомъ, въ порожистой части Днѣпра, Волхова, по соединенію рѣкъ Оби и Енисея (1806 г.), по рѣкамъ Сачурѣ, Большой и Малой Песчанкѣ и Кеми, а также по водораздѣлу между Сачурой и Малой Песчанкой. Подробные планы этихъ изысканій составлены въ масштабѣ 50 саженъ въ дюймѣ, на каждомъ листѣ этихъ плановъ имѣются профиля.

Въ 1816 году производились изысканія по р. Сейму, впадающей въ р. Десну. На основаніи этихъ изысканій составленъ атласъ этой рѣки на 258 листахъ ватманской бумаги, масштабъ для плановъ 50 саженъ въ дюймѣ; чрезъ 100 саженъ брались профиля и производилась продольная нивеллировка.

Въ 1829 году исполнены такія же изысканія по притоку Сейма,— Тускари.

Изысканія по Сейму и Тускари исполнены, насколько можно судить по планамъ, съ большою тщательностью.

На основаніи этихъ изслѣдованій былъ составленъ проектъ шлюзованія въ 1827 году инженеромъ Михайловымъ, приведенный, въ большей своей части, вскорѣ затѣмъ въ исполненіе.

Въ 1829 и 1830 годахъ дѣлались изысканія въ устьяхъ рѣки Двины при городѣ Ригѣ. Масштабъ плана 100 саж. въ дюймѣ, поперечные профиля брались чрезъ 50 саженъ, промѣры глубинъ назначены очень подробно, имѣется продольный профиль, на немъ показаны горизонты высокій, средній и низкій. Карта эта составлена необыкновенно отчетливо.

Въ 1820 году было испрошено Высочайшее повелѣніе о преобразованіи управленія водяныхъ и сухопутныхъ сообщеній въ главное управленіе путями сообщенія. И въ числѣ различныхъ учрежденій этого управленія встрѣчаемъ, между прочимъ, депо картъ и инструментовъ, а также и художественныя заведенія для печатанія картъ и плановъ.

Изысканія по воднымъ путямъ продолжались въ началѣ этого вѣка такъ же дѣятельно, какъ въ концѣ прошлаго. Благодаря всѣмъ этимъ изысканіямъ, въ 1832 году изданъ гидрографическій атласъ Россійской имперіи, исполненный въ художественныхъ заведеніяхъ главнаго управленія путей сообщенія. Въ этомъ атласѣ имѣются чертежи всѣхъ сооруженій искусственныхъ системъ на водяныхъ пу-

тяхъ, а также и карты, главнымъ образомъ, искусственныхъ системъ. Карты каждаго воднаго пути этого атласа составлены въ четырехъ масштабахъ: генеральныя карты—въ масштабѣ 20 верстъ въ дюймѣ и 10 верстъ въ дюймѣ, болѣе подробныя—двѣ версты въ дюймѣ и, наконецъ, планы отдѣльныхъ частей—въ масштабѣ 100 саженъ въ дюймѣ.

Несомнѣнно, что всѣ упомянутыя изысканія отвѣчали вполнѣ техническимъ цѣлямъ, такъ какъ на основаніи ихъ исполнены были не только улучшенія отдѣльныхъ частей водныхъ путей, но даже построены цѣлыя водныя системы.

Въ 1839 году были установлены правила храненія и пользованія геодезическими инструментами, выдаваемыми изъ депо картъ; правила эти отличаются большою подробностью: въ нихъ излагается даже, какъ укладывать инструменты при отправкѣ.

26-го ноября 1842 года комиссія проектовъ и смѣтъ преобразована въ департаментъ разсмотрѣнія проектовъ и смѣтъ, и при этомъ установлено было, что этотъ департаментъ обязанъ имѣть во всегдашней исправности полное и систематическое собраніе картъ всѣмъ путямъ сообщенія и соединительнымъ системамъ, для какой цѣли при департаментѣ состоитъ депо картъ, имѣющее задачей храненіе всѣхъ картъ, плановъ и проектовъ. Такимъ образомъ, съ этого времени депо картъ и инструментовъ перестало существовать, какъ самостоятельный отдѣлъ главнаго управленія, и ему приданъ характеръ скорѣе архива при департаментѣ проектовъ и смѣтъ.

Въ 1843 году были утверждены главноуправляющимъ гр. Клейнмихелемъ правила для составленія картъ, плановъ и чертежей. Всѣ карты и планы, соотвѣтствующіе сухопутнымъ и водянымъ сообщеніямъ, раздѣлены на генеральныя карты и топографическіе планы. Генеральныя карты путей сообщенія приказывалось наносить на спеціальныя столистовыя почтовыя и другія карты, изданныя военно-топографическимъ депо, различныхъ масштабовъ, что должно опредѣляться и особыми „повелѣніями“, и если таковыхъ не сдѣлано, то предоставлялось соображенію учрежденія или лица, распоряжавшагося составленіемъ карты. Что касается топографическихъ плановъ, то въ правилахъ подробно указаны всѣ предметы, какіе должны быть изображены на нихъ. Масштабъ предоставлялось брать въ 5, 2, 1 версту въ дюймѣ и даже, смотря по надобности, 250 саж.

въ дюймѣ. Условные знаки положено употреблять утвержденные для картъ и плановъ военно-топографическаго депо. Этими распоряженіями въ первый разъ устанавливалась связь картографическихъ работъ главнаго управленія путями сообщенія съ такими же работами военнаго министерства. Въ 1846 году издана новая гидрографическая карта Европейской Россіи, составленная департаментомъ проектовъ и смѣтъ главнаго управленія путей сообщенія, въ масштабѣ 60 верстъ въ дюймѣ.

Въ 1851 году приказано на всѣхъ генеральныхъ и топографическихъ планахъ означать всегда компасную стрѣлку. Въ 1856 году подтверждается приказъ 20 января 1835 года, коимъ постановлено за правило, чтобы стрѣлка, означающая сѣверъ, была сколь возможно параллельна вертикальной рамкѣ плана, а самый сѣверъ обращенъ былъ къ верхней, а не къ нижней сторонѣ рамки. Этотъ очень характерный приказъ, конечно, вызывался, неисполненіемъ столь обыкновеннаго правила.

Въ 1843 году графъ Клейнмихель писалъ: „по управленію путями сообщенія употреблены значительные капиталы на геодезическіе инструменты. Неисправныхъ инструментовъ весьма много, а отъ неисправности ихъ неосновательны многія изысканія, ими произведенныя“.

Учрежденъ былъ особый комитетъ, которому поручалось привести въ извѣстность, гдѣ и какіе именно по вѣдомству путей сообщенія имѣются геодезическіе инструменты, въ какой степени они исправны, и подробно опредѣлить порядокъ снабженія и пользованія этими инструментами.

Насколько важнымъ считалъ этотъ приказъ самъ графъ Клейнмихель, видно изъ того, что объ этомъ распоряженіи онъ доложилъ Государю Императору и оно удостоилось полнаго Его одобренія. Приказъ этотъ явно указываетъ, что хотя въ вѣдомствѣ того времени не было, въ сущности, никакой организаціи по части геодезическихъ инструментовъ, какъ это имѣетъ мѣсто и въ настоящее время, но все-таки это показываетъ, что уже 50 лѣтъ тому назадъ желали урегулировать это дѣло.

Въ 1857 и 1858 годахъ были произведены изысканія по р. Волгѣ отъ Твери до гор. Тетюшъ, а въ 1861 году отпечатаны планы Волги на всемъ этомъ протяженіи. На планахъ этихъ атласовъ имѣются

глубины по фарватеру, сказано, что планъ снятъ такого то года, мѣсяца и числа, при горизонтѣ выше или ниже меженняго на столько-то. Но каковы отмѣтки этого меженняго горизонта, не указано. Рельефъ русла не изображенъ. О скоростяхъ, расходахъ, качествѣ грунта, разливѣ — свѣдѣній нѣтъ. Карты мелей составлены болѣе подробно, на нихъ имѣются глубины какъ по направленію живыхъ сѣченій, такъ и по косымъ галсамъ. Описанія этихъ работъ не имѣется. О связи съ тригонометрическими пунктами нѣтъ и помину.

Въ 1861 году изданъ атласъ рѣки Сѣверной Двины по изысканіямъ, произведеннымъ въ 1858, 1859 и 1860 годахъ. Въ первой части атласа помѣщены карты въ масштабѣ одна верста въ дюймѣ съ показаніемъ глубинъ по фарватеру. Изображенія рельефа дна нѣтъ. Во 2-ой части находятся планы затруднительныхъ мѣстъ, съ показаніемъ глубинъ по всѣмъ промѣрнымъ профилямъ. Къ какому времени относится горизонтъ воды, на картахъ не обозначено. Описанія работъ также не имѣется.

Въ томъ же 1861 г. изданъ атласъ р. Днѣпра отъ Кременчуга до лимана, какъ результатъ изысканій, произведенныхъ инженерами путей сообщенія съ 1846 по 1854 годъ, въ масштабѣ 1 верста въ дюймѣ. На планахъ показанъ бичевникъ съ установленными на немъ столбами, существующій и проектированный. Но къ какому горизонту отнесена карта, не обозначено. Глубинъ нѣтъ до г. Александровска. Отъ города Александровска означены глубины по фарватеру. Изображенія рельефа русла рѣки не имѣется. Въ концѣ атласа приложено нѣсколько плановъ съ подробнымъ промѣромъ, но въ какомъ масштабѣ составлены эти подробные планы, не сказано. Описанія работъ никакого нѣтъ. О связи съ тригонометрическими пунктами не говорится.

Атласъ рѣки Вислы, исполненный на основаніи работъ, производившихся съ 1860 по 1866 г., носитъ на себѣ такой же характеръ, какъ и предыдущіе атласы. Но на основаніи этихъ изысканій, на Вислѣ производились, тѣмъ не менѣе, и выправительныя работы.

Съ 1856 го по 1858 годъ производились съемочныя работы по р. Дону отъ гор. Задонска до границъ Войска Донскаго. Планы этихъ работъ составлены въ масштабѣ 400 саж. въ дюймѣ. Рельефа дна нѣтъ. Къ какому горизонту отнесенъ горизонтъ карты, также неизвѣстно.

Необходимость водомѣрныхъ постовъ давно сознавалась въ вѣдомствѣ путей сообщенія, и нѣсколько водомѣрныхъ журналовъ, относящихся къ началу этого вѣка, имѣется въ нашемъ архивѣ, для Вышневолоцкой и Мариинской системъ, а также для р. Двины, начиная съ 1813 года. Въ 1818 году было предписано имѣть водомѣрныя рейки, или футштоки, на всѣхъ системахъ. Но наблюденія эти велись отрывочно, безъ всякой связи между собою.

Въ 1857 году было приказано устроить такіе водомѣрные посты на всѣхъ рѣкахъ при судоходныхъ дистанціяхъ; въ мартѣ 1858 г. утверждена главноуправляющимъ путями сообщенія инструкція для производства этихъ наблюденій, а также наблюденій за измѣненіемъ горизонта и ложа въ рѣкахъ. По этой инструкціи требовалось устраивать водомѣрные посты на всѣхъ главныхъ меляхъ, за каждымъ значительнымъ притокомъ. Нули всѣхъ водомѣрныхъ постовъ требовалось связать продольною нивеллировкой и съ реперами, имѣющимися вблизи постовъ. Но какимъ образомъ должна была производиться нивеллировка,—объ этомъ не сказано. Инструкція эта, можно сказать, была первообразомъ инструкцій, утвержденныхъ впослѣдствіи въ концѣ 70-хъ годовъ. Въ ней особенно подробно объяснено, какого рода и какъ слѣдуетъ дѣлать наблюденія за измѣненіемъ ложа въ рѣкахъ, какъ результаты этихъ наблюденій сравнивать между собою. Но, повидимому, такія наблюденія дѣлались не вездѣ, такъ какъ они требовали довольно сложныхъ работъ по съемкамъ, нивеллировкамъ и промѣрамъ рѣкъ и весной, и въ меженное время. Средствъ же на исполненіе этихъ работъ не отпускалось.

Что же касается наблюденій надъ горизонтомъ воды, то, такъ какъ для такого рода наблюденій требовалась затрата меньшихъ денегъ, и такъ какъ въ нихъ была насущная потребность, они были организованы, главнымъ образомъ, тамъ, гдѣ находились начальники судоходныхъ дистанцій. Наблюденія были начаты, но въ центральное управленіе не представлялись, и изъ нихъ не дѣлалось сводокъ и различнаго рода выводовъ. Этимъ, вѣроятно, можно объяснить, почему на трехъ атласахъ рѣкъ Волги, Днѣпра и Сѣверной Двины нѣтъ надлежащихъ указаній о горизонтѣ воды, принятомъ на картѣ. Главнымъ же образомъ происходило это потому, что при главномъ управленіи не было такого учрежденія, которое могло бы надлежащимъ образомъ наблюдать за изданіемъ такого рода атласовъ. Эти три

атласа могли бы служить для сравненія измѣненія руслъ рѣкъ съ послѣдующими съемками, но такихъ сравненій нѣтъ возможности дѣлать, такъ какъ нѣтъ никакихъ указаній о связи съ тригонометрическими пунктами, и сравненія могутъ только привести къ невѣрнымъ выводамъ. На основаніи этихъ атласовъ были составлены предварительные общіе проекты улучшенія судоходнаго состоянія рѣкъ, къ которымъ они относятся, только для Вислы и части Волги отъ Твери до Рыбинска, гдѣ, на основаніи сдѣланныхъ изысканій, производились затѣмъ выправительныя работы. Что касается общей картографіи Россіи, то для нея эти три атласа, по выше сказаннымъ причинамъ, могли принести только не большую пользу.

Хотя при главномъ управленіи и существовало депо картъ и инструментовъ, но это учрежденіе состояло при департаментѣ проектовъ и смѣтъ, а не какъ самостоятельное учрежденіе; оно скорѣе представляло собой лишь архивъ, начальникъ котораго не могъ вліять на направленіе и развитіе геодезическихъ работъ, производимыхъ главнымъ управленіемъ. Департаментъ-же проектовъ и смѣтъ, обремененный массою прямыхъ своихъ текущихъ дѣлъ, не считалъ, повидимому, себя обязаннымъ вѣдать съемочное дѣло въ главномъ управленіи путей сообщенія.

Въ 1865 г. состоялось преобразованіе главнаго управленія путями сообщенія въ министерство путей сообщенія, и между прочими центральными учрежденіями, подчиненными непосредственно министру, учрежденъ былъ ученый комитетъ, на обязанность котораго, между прочимъ, возлагалось: разсматривать инструкціи для инженеровъ, отправляемыхъ въ командировки съ ученою цѣлью, и отчеты о занятіяхъ лицъ, возвращающихся изъ подобныхъ командировокъ. Ученому комитету было подчинено состоящее при министерствѣ депо картъ, управляемое особымъ начальникомъ.

Можно было бы подумать, что, наконецъ, вѣдомство путей сообщенія, съ этого времени, получило учрежденіе, которое возьметъ въ свои руки, между прочимъ, и геодезическія работы министерства. Но вышло иначе: середина 60-хъ годовъ была разгаромъ желѣзнодорожныхъ построекъ, при сравнительно маломъ числѣ инженеровъ путей сообщенія, и членамъ комитета, занятымъ другими работами, не могла приходить мысль заняться съемочными дѣлами министерства путей сообщенія.

Въ 1870 году должность начальника депо картъ и инструментовъ и помощника его упразднены на томъ основаніи, что „въ нихъ надобности не представляется“. Всѣ дѣла депо картъ были переданы въ вѣдѣніе, такъ называемыхъ, чертежныхъ при департаментахъ шоссейныхъ и водяныхъ сообщеній и желѣзныхъ дорогъ. Такимъ образомъ, депо картъ и инструментовъ было уничтожено, какъ ненужное, и въ министерствѣ путей сообщенія не осталось никакого учрежденія, которое давало бы хотя какой-либо намекъ на то, что о геодезическихъ работахъ министерства есть кому заботиться.

Въ 1816 г. началась постройка 1-й шоссейной дороги въ Россіи отъ Москвы до Петербурга, и, конечно, ранѣе этого времени начинаютъ дѣлать изысканія для шоссейныхъ дорогъ, т. е. дѣлается съемка и нивеллировка. Всякій разъ, когда возникалъ вопросъ о постройкѣ того или другого шоссе, поручалось сдѣлать изысканія, указывались техническія условія предполагаемаго шоссе, но никакихъ не дѣлалось распоряженій, какъ должны производиться геодезическія работы.

Въ 1885 году утверждены министромъ путей сообщенія правила по изысканіямъ и по сооруженію шоссейныхъ дорогъ. По этимъ правиламъ требовалось при отчетахъ объ изысканіяхъ представлять: 1) общій планъ, составленный въ масштабѣ имѣющихся топографическихъ картъ, причемъ на планѣ должны быть нанесены всѣ дорожныя линіи, главныя точки пикетажа оси проектируемой дороги и точки примыканія послѣдней къ существующимъ дорогамъ, и 2) спеціальные планы, составленные въ масштабѣ существующихъ межевыхъ плановъ, или, въ случаѣ отсутствія послѣднихъ, въ масштабѣ $\frac{1}{1000}$. Эти планы полагалось составлять только по участкамъ дороги, требующимъ отчужденія земель или пролегающимъ по городамъ и селамъ, или заключающимъ въ себѣ значительные мосты, дорожныя зданія и т. п. Особую съемку предметовъ мѣстности, имѣющихъ значеніе при проектировкѣ, каковы дороги, рѣки, каменоломни, границы, города, полагалось производить для изготовленія этихъ плановъ только въ такомъ случаѣ, когда не имѣется готовыхъ плановъ. При этомъ также требовалось представленіе профилей по оси дороги и поперечныхъ съ указаніемъ масштаба.

Но какимъ образомъ должна производиться съемка и нивелли-

ровка,—объ этомъ въ инструкціи не говорится ни слова. Не требуется также связывать съемку съ *тригонометрическими пунктами, опредѣленными другими вѣдомствами.*

Съ окончаніемъ постройки Николаевской желѣзной дороги начинаютъ дѣлать, по разнымъ направленіямъ и въ большомъ числѣ, изысканія для желѣзныхъ дорогъ. Какихъ либо инструкцій для производства этихъ изысканій до 1873 года не было. Каждый изыскатель производилъ съемочныя и нивеллировочныя работы такъ, какъ онъ самъ понималъ это дѣло, инструменты употреблялись тѣ, какіе могли быть предложены петербургскими торговцами этихъ инструментовъ. По скорость производства работъ бывала поразительная: проходили въ день 12, 15 и даже 18 верстъ. Нивеллировали, большею частью, *въ одинъ нивеллиръ.*

Въ 1873 г. утверждена была министромъ путей сообщенія первая инструкція для производства правительственныхъ предварительныхъ изысканій и составленія предварительныхъ проектовъ для линій желѣзныхъ дорогъ. По этой инструкціи, работа изысканій должна заключаться: въ выборѣ и обозначеніи какъ на мѣстѣ, такъ и на картахъ, наивыгоднѣйшаго направленія, въ точномъ измѣреніи на мѣстѣ длины линіи и ея вѣтвей, въ производствѣ нивеллировки, продольной и поперечной, въ собраніи всѣхъ техническихъ данныхъ, необходимыхъ для полнаго проекта, и, наконецъ, въ подробномъ описаніи мѣстности и направленія проектированной линіи. На основаніи всѣхъ собранныхъ данныхъ долженъ быть составленъ проектъ.

При проектѣ требовалось представлять: общій планъ направленія линіи желѣзной дороги въ масштабѣ 10 верстъ въ дюймѣ и подробный планъ направленія ея въ масштабѣ три версты въ дюймѣ для мѣстностей, для которыхъ существуютъ соотвѣтственныя топографическія карты, или въ иномъ болѣе крупномъ масштабѣ для мѣстностей, для которыхъ не имѣется топографическихъ карт, и для которыхъ поэтому производителемъ изысканій должны быть составлены заново планы въ видѣ полосы, шириной *достаточной* для точнаго сужденія о правильности выбора линіи желѣзной дороги. Кромѣ того, требовалось представленіе детальныхъ *плановъ городовъ, при которыхъ располагаются станціи желѣзныхъ* дорогъ, и планы отдѣльныхъ частей линіи въ пересѣченіи съ существующими или строющимися желѣзными дорогами. Планы подоб-

ныхъ мѣстъ требовалось составлять въ масштабѣ 50 саж. въ 0,01 саж. Такіе же планы должны составляться въ точкахъ отдѣленія соединительныхъ вѣтвей отъ *проектируемой дороги* къ станціямъ существующихъ или строющихся дорогъ, а также въ пунктахъ отдѣленія предполагаемыхъ боковыхъ вѣтвей и къ пристанямъ. Всѣ эти мѣста должны быть опредѣлены съемкою тщательно и подробно.

При этомъ требовалось обращать особенное вниманіе на точное обозначеніе на картахъ и планахъ границъ губерній, владѣній, принадлежащихъ разнымъ вѣдомствамъ, на положеніе рѣкъ, дорогъ и, вообще, всѣхъ предметовъ, *необходимыхъ для полнаго уясненія проекта*. Существующіе планы городовъ, при которыхъ располагаются станціи, требовалось дополнять подробною съемкою мѣстности, на которой назначается станція.

Въ дополненіяхъ къ инструкціямъ, утвержденнымъ впослѣдствіи, требовалось, чтобы направленіе линіи было опредѣлено относительно странъ свѣта. Но какимъ образомъ это должно быть сдѣлано, объ этомъ не говорится ни слова, даже и въ дополненіяхъ къ инструкціи послѣднихъ лѣтъ. Опредѣлять ли положеніе линіи относительно магнитнаго меридіана, или же опредѣлять черезъ нѣкоторые промежутки азимуты линій астрономически, или же, наконецъ, связывать ли линію съ пунктами, опредѣленными тригонометрически, значащимися въ *изданіяхъ военно-топографическаго отдѣла, все это предоставляется* рѣшать каждому изыскателю по своему усмотрѣнію. И большинство понимаетъ это такъ, что надо брать только магнитные азимуты частей дороги, а потому положеніе на планѣ всѣхъ желѣзныхъ дорогъ нельзя считать одинаково вѣрнымъ.

Что касается продольной нивеллировки, то ее требовалось производить въ два нивеллира; это требованіе оффиціально вводится въ первый разъ. *При этомъ разница между соотвѣтственными нивеллировочными* отмѣтками крайнихъ точекъ линіи, по обѣимъ нивеллировкамъ, по инструкціи, не должна превосходить, въ предѣлахъ до 20 верстъ, 0,01 саж. на версту, а въ предѣлахъ длины линіи свыше 50 верстъ—въ 0,005 саж. на версту.

По словамъ г. Тилло, производившаго сводку всѣхъ нивеллировокъ Россіи: „вѣроятная ошибка желѣзнодорожныхъ профилей доходитъ до 3 саж., *но нѣкоторыя изъ нихъ гораздо точнѣе*“.

Для изысканій черезъ главный Кавказскій перевалъ допускалась

разность по двумъ нивеллировкамъ на одну версту въ 0,01 безъ опредѣленія числа верстъ, а въ инструкціи начальникамъ экспедиціи для сибирской дороги эта предѣльная разность на версту опредѣлена въ 0,05, также безъ указанія предѣла длины.

Какая расходимость получалась въ дѣйствительности между двумя нивеллировками при различныхъ желѣзнодорожныхъ изысканіяхъ, добыть должныхъ свѣдѣній невозможно, такъ какъ относительно этого обстоятельства никогда не считалось нужнымъ говорить въ пояснительныхъ запискахъ. Но если принять допускаемую первоначально инструкціей расходимость, то вѣроятная ошибка на версту можетъ быть очень разнообразна и увеличиваться въ зависимости отъ числа верстъ; такъ, если взять участокъ въ 25 верстъ и въ 450, то въ первомъ случаѣ вѣроятная ошибка на версту равна:

$$\frac{25.0{,}005}{\pm\sqrt{2.25}} = \pm 0{,}021,$$ а во второмъ: $$\frac{450.0{,}005}{\pm\sqrt{2.450}} = \pm 0{,}075.$$

Такое, слишкомъ легкое, требованіе для нивеллировки со стороны инструкціи для желѣзнодорожныхъ изысканій объясняется тѣмъ, что для техническихъ цѣлей ошибка на версту даже въ 0,01 саж. отзывается на количествѣ земляныхъ работъ и на уклонѣ самымъ ничтожнымъ образомъ. Цѣлей же обще-географическихъ при желѣзнодорожныхъ изысканіяхъ никогда не преслѣдовалось. Но все-таки надо признать, что, въ рядѣ другихъ распоряженій, инструкція эта была шагомъ впередъ, такъ какъ она была первой инструкціей, въ которой геодезическія работы министерства путей сообщенія подчинены нѣкоторой регламентаціи.

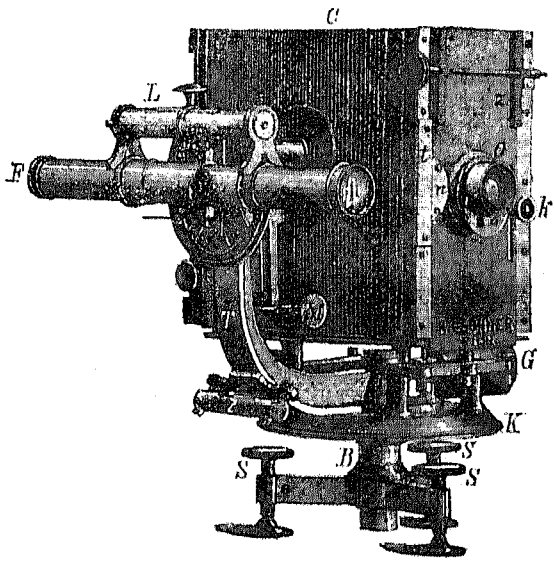
Въ пересѣченныхъ мѣстахъ, какъ, напр., на Кавказѣ, Уралѣ, при желѣзнодорожныхъ изысканіяхъ составлялись планы въ горизонталяхъ крупнаго масштаба, 20, 25 саж. въ дюймѣ. Причемъ на Кавказѣ, начиная съ 1873 года, начали употреблять при съемкахъ тахеометръ.

Въ послѣдній десятокъ лѣтъ подрядный способъ изысканій для желѣзныхъ дорогъ оставленъ, и эти изысканія получили возможность производиться болѣе тщательно.

При производствѣ изысканій для Сурамскаго тоннеля, а также при изысканіяхъ Владикавказко-Тифлисской ж. дороги, производились тригонометрическія тріангуляціи, при которыхъ употреблялся, между

прочимъ, въ 1892 году, базисный приборъ Эдерина, для измѣренія двухъ базисовъ: одного въ 2 версты, другого въ 250 саженъ.

Въ инструкціяхъ для Сибирской желѣзной дороги помѣщена, между прочимъ, инструкція для барометрическаго нивеллированія, а также инструкція для укладки пути; въ этой послѣдней имѣются таблицы для разбивки кривыхъ со вставками кубической параболы. При этомъ элементы, необходимые для разбивки переходныхъ кривыхъ, вычислены для радіусовъ отъ 1000 до 120 саженъ, и для скоростей поѣзда 35, 40 и 45 верстъ въ часъ.



Черт. 510.

Въ 1897 году, при изысканіяхъ сибирской желѣзной дороги, будетъ производиться, особой экспедиціей, съемка и нивеллировка фото-теодолитомъ Налакка, изображеннымъ на чертежѣ 510-мъ. Здѣсь K лимбъ теодолита, B его втулка, придѣланная къ трехъконечнику съ подъемными винтами S, S и S. Къ алидадѣ прикрѣплены фотографическая камера и внѣ-центренная труба съ вертикальнымъ кругомъ и уровнемъ L. Фотографическая камера отличается отъ обыкновенныхъ тѣмъ, что разстояніе отъ ея объектива до матовой пластинки неизмѣняемое.

Объективъ можетъ быть перемѣщаемъ вверхъ и внизъ при помощи винта k. Внутри камеры, въ величину фотографической пластинки, помѣщена особая *пе*-образная рамка съ треугольными вырѣзами на вертикальныхъ и горизонтальныхъ ея сторонахъ. Благодаря такому устройству, на фотографическомъ снимкѣ получаются изображенія этихъ вырѣзовъ, служащія для назначенія, при ихъ помощи, перпендикулярныхъ линій на фотографическомъ изображеніи. Двѣ изъ этихъ линій, проходящія чрезъ вершины большихъ вырѣзовъ, соотвѣтствуютъ горизонтальной и вертикальной нитямъ объектива, другія линіи проводятся на фотографическомъ изображеніи, въ

томъ случаѣ, когда надо уничтожить ошибку, происходящую отъ растяженія фотографической пластинки. При каждомъ снимкѣ долженъ дѣлаться отсчетъ по лимбу. Работа будетъ производиться на основаніи правилъ, указанныхъ въ главѣ XXIII.

Въ 1875 году учреждена была навигаціонно-описная комиссія.

Къ обязанностямъ комиссіи были отнесены распоряженія по описанію и изслѣдованію внутреннихъ водяныхъ сообщеній, составленіе инструкцій описнымъ партіямъ, контроль надъ работами описныхъ партій, заготовленіе паровыхъ судовъ, необходимыхъ какъ для производства описанія рѣкъ, такъ и для надзора за порядкомъ по судоходству и за существующими предостерегательными знаками, опредѣленіе способовъ углубленія и расчистки руслъ рѣкъ, и принятіе всѣхъ временныхъ мѣръ, могущихъ служить къ облегченію прохода судовъ до осуществленія окончательныхъ проектовъ по улучшенію нашихъ рѣкъ, озеръ и каналовъ. Изъ этого перечисленія видно, что на комиссію возложены были обязанности довольно сложныя, и потому контролю и направленію геодезическихъ работъ партій комиссія имѣла возможность удѣлять лишь малую часть своего времени.

Навигаціонно-описная комиссія приняла на себя заготовленіе геодезическихъ инструментовъ для партій. Были получены немногіе, очень несовершенные инструменты отъ технически-инспекторскихъ комитетовъ желѣзныхъ дорогъ и шоссейныхъ и водяныхъ сообщеній. Кромѣ того, былъ пріобрѣтенъ одинъ универсальный инструментъ отъ извѣстнаго художника-механика Брауера, предназначавшійся для астрономическихъ наблюденій, и проволочный базисный приборъ. Изъ мастерской военно-топографическаго отдѣла было пріобрѣтено нѣсколько мензулъ съ кипрегелями и нормальныхъ мѣръ. Главными же поставщиками инструментовъ для навигаціонно-описной комиссіи явились петербургскіе оптики и механики, которые и снабдили партіи инструментами такими же, какіе употреблялись при желѣзнодорожныхъ изысканіяхъ, т. е., такъ называемыми, англійскими теодолитами, французскими нивеллирами, пантометрами неизвѣстныхъ фабрикъ съ малыми увеличеніями трубъ, съ уровнями самыхъ разнообразныхъ чувствительностей, а также рейками, оказавшимися впослѣдствіи имѣющими длины, разнящіяся на значительныя величины. Это, конечно, произошло и отъ той поспѣшности, съ которой

совершалась организація описныхъ партій, главнымъ же образомъ отъ того, что въ министерствѣ путей сообщенія, кромѣ тѣхъ отрывочныхъ распоряженій, о которыхъ упомянуто выше, относительно заготовки, храненія и вывѣрки инструментовъ, никакихъ хорошихъ традицій не было, такъ какъ не было и учрежденія, которое, путемъ преемственности, могло бы преподать въ 1875 году свою опытность, накопленную ранѣе.

По инструкціи 1875 г., изслѣдованіе рѣкъ въ техническомъ отношеніи должно заключать въ себѣ слѣдующія работы: 1) съемку мѣстности, 2) измѣреніе глубинъ рѣкъ, 3) опредѣленіе нормальнаго уровня воды съ отнесеніемъ къ нему всѣхъ прочихъ горизонтовъ, 4) опредѣленіе общаго и частнаго уклона рѣкъ посредствомъ продольной нивеллировки и 5) опредѣленіе скорости теченія и расхода воды.

Основаніемъ всѣхъ топографическихъ и нивеллировочныхъ работъ должна была служить тригонометрическая сѣть и магистральная линія. За основные пункты полагалось принимать тригонометрическія точки, опредѣленныя военно-топографическимъ отдѣломъ главнаго штаба. Прежде чѣмъ приступить къ работамъ, точки эти требовалось наносить на планшеты, затѣмъ всѣ топографическія работы связывать съ тригонометрическими точками такъ, чтобы погрѣшность не могла распространяться за предѣлы двухъ ближайшихъ изъ нанесенныхъ тригонометрическихъ точекъ.

Если же гдѣ-нибудь точекъ изъ каталога Бларамберга окажется недостаточно, то, необходимое для вѣрности съемки, число точекъ требовалось дополнять непосредственнымъ опредѣленіемъ при работахъ.

Неопредѣленность редакціи инструкціи относительно числа тригонометрическихъ точекъ дѣлала то, что дополнительной тріангуляціи многія партіи не считали необходимымъ дѣлать, такъ какъ всякое число точекъ могло быть признано за достаточное. Дѣйствительно, для съемочныхъ работъ описныхъ партій установленъ былъ масштабъ 50 саж. въ одной сотой саженн; при такомъ масштабѣ на одной сторонѣ планшета помѣщается около 2 верстъ, слѣдовательно, если бы имѣлись даже сплошь тригонометрическіе пункты 3-го разряда, отстоящіе другъ отъ друга на 2—3 версты, то они не могли бы играть роли пунктовъ опорныхъ, такъ какъ нѣкоторые планшеты были бы совершенно безъ тригонометрическихъ пунктовъ, другіе же планшеты могли имѣть только одинъ такой пунктъ.

Вотъ поэтому партіи могли считать всякое число пунктовъ каталога за достаточное. Кромѣ того, если бы какая-либо партія вздумала дѣлать дополнительную тріангуляцію, то, до окончанія производства ея и всѣхъ вычисленій, требующихъ много времени, нельзя было бы приступить тѣмъ же лѣтомъ къ проложенію магистрали на планшеты, а слѣдовательно, и къ производству съемки, начальники же партій получили предписаніе сдѣлать въ первомъ же году изслѣдованіе каждой рѣки на протяженіи 200 верстъ, поэтому имъ тѣмъ болѣе приходилось признать, что число пунктовъ, имѣющихся въ каталогѣ, вполнѣ достаточно. И ко всему этому надо прибавить, что не всѣ партіи были снабжены такими теодолитами, чтобы стоило дѣлать ими тригонометрическую тріангуляцію. Но нѣкоторыя партіи, не дѣлавшія дополнительной тріангуляціи, желая избѣжать накопленія ошибокъ въ вычисляемыхъ азимутахъ, опредѣляли, черезъ нѣсколько десятковъ верстъ, азимуты магистрали астрономически, хотя инструкція этого и не требовала.

Нѣкоторыя же партіи исполняли геометрическую тріангуляцію на основаніи опредѣленныхъ уже тригонометрическихъ и астрономическихъ пунктовъ съ тѣмъ, чтобы получить для каждаго планшета не менѣе 3 или 4 геометрическихъ опорныхъ пунктовъ.

Предѣлъ допускаемой невязки между двумя тригонометрическими пунктами не былъ опредѣленъ инструкціей, въ виду неувѣренности, что координаты всѣхъ пунктовъ каталога военно-техническаго отдѣла вполнѣ вѣрны. Инструкція не указывала, какимъ способомъ должно уничтожить невязку, т. е. измѣненіемъ ли угловъ и длинъ магистрали, или же измѣненіемъ направленій и разстояній между рамками планшетовъ. Поэтому—однѣ партіи дѣлали увязку, измѣняя рамки планшетовъ, а другія—измѣняя углы и длину магистрали, слѣдовательно, измѣняя и всѣ контуры, связанные съ магистралью, а потому и очертанія урѣзовъ воды.

Но распоряженіе о связи съемочныхъ работъ министерства путей сообщенія съ тригонометрическими пунктами, значущимися въ изданіяхъ военно-топографическаго отдѣла, дѣлалось первый разъ нашимъ министерствомъ, и этимъ навигаціонно-описная комиссіи положила начало соединенія работъ министерства путей сообщенія съ работами другихъ вѣдомствъ.

Съемку, по инструкціи, полагалось дѣлать на $^1/_2$ версты въ одну

и $^1/_2$ версты въ другую сторону отъ рѣки въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ весеннія воды не выходятъ изъ береговъ; въ тѣхъ же мѣстахъ, гдѣ весенній разливъ выходитъ изъ береговъ, до той черты, на которой прекращается разливъ. Всѣ притоки, впадающіе въ снимаемую рѣку, требовалось снимать на версту отъ ихъ устьевъ, за исключеніемъ тѣхъ притоковъ, подробная съемка которыхъ назначалась по всему ихъ протяженію, или когда протяженіе притока въ предѣлахъ разлива главной рѣки тянулось болѣе, чѣмъ на версту.

При производствѣ съемокъ полагалось снимать подробно деревни, помѣщичьи усадьбы, церкви, часовни, дороги, лѣса, пашни, сѣнокосы, огороды и особенно всѣ встрѣчающіяся на этомъ пространствѣ примѣчательности, могущія служить въ пользу или во вредъ для судоходства.

Магистральную линію полагалось точно проннивеллировать двумя нивеллирами и къ ней отнести какъ поперечную нивеллировку, такъ и нивеллировку уровня воды. Въ дальнѣйшія подробности инструкція не входила, она не указывала ни предѣла точности нивеллировки, ни самаго способа нивеллированія, т. е. не требовала, напр., чтобы нивеллировалась магистраль впередъ и назадъ отдѣльными нивеллировщиками, не указывала, на какомъ разстояніи нивеллиръ долженъ находиться отъ реекъ, сколько взглядовъ слѣдуетъ брать на каждую рейку и въ какомъ порядкѣ, слѣдуетъ ли перекладывать трубу нивеллира въ лагеряхъ, или нѣтъ. Инструкція навигаціонно-описной комиссіи не имѣла, въ этомъ отношеніи, той опредѣленности, какая была придана, напр., инструкціямъ для точныхъ нивеллировокъ другихъ странъ, а также инструкціи военно-топографическаго отдѣла, изданной въ 1873-мъ году, она отставала, въ этомъ отношеніи, и отъ инструкціи для желѣзно-дорожныхъ изысканій, въ которой, какъ видѣли выше, были все же указаны предѣлы допускаемыхъ ошибокъ.

Въ томъ, что касается измѣренія глубинъ рѣкъ, поперечной нивеллировки, связи ея съ реперами, опредѣленія грунта ложа, инструкція носитъ на себѣ большую опредѣленность, не оставлявшую никакихъ сомнѣній.

Поперечные профиля разлива полагалось брать въ однохарактерныхъ мѣстностяхъ, на разстояніи 250 саж. одинъ отъ другого, въ случаѣ же разнороднаго состава береговъ, на разстояніяхъ меньшихъ полуверсты, смотря по надобности. Вмѣстѣ съ тѣмъ начальникамъ

партій разрѣшалось брать, по ихъ усмотрѣнію, разстоянія между профилями разлива и болѣе версты, лишь бы общій характеръ разлива при этомъ былъ изображенъ ближе къ дѣйствительности.

Мензулой снимали только контуры, и, главнымъ образомъ, контуры урѣзовъ воды; высотъ при мензульной съемкѣ не опредѣляли и горизонталей въ полѣ съ натуры не наносили.

Съемка же, сдѣланная лѣтомъ, наносилась на бумагу впродолженіи зимы, и на основаніи профилей проводились на картахъ горизонтали. Такъ какъ профиля разлива брались рѣдко черезъ 250 саж., чаще же черезъ версту и иногда черезъ 3 и 5 верстъ, то, очевидно, въ промежуткахъ между профилями горизонтали должны были не соотвѣтствовать дѣйствительности въ значительной мѣрѣ.

Пойма рѣки почти совершенно горизонтальна, берега же круты, а подмываемые берега почти отвѣсны, горизонтали же положено было проводить по высотѣ черезъ одну сажень, поэтому въ разливѣ онѣ отстояли другъ отъ друга на большихъ разстояніяхъ, а по берегамъ сливались между собою и совершенно затемняли карту. Главное же, горизонталямъ нельзя было придавать большого значенія, разъ онѣ проводились не въ полѣ, а въ кабинетѣ, поэтому впослѣдствіи горизонтали на картахъ перестали наносить, а надписывали лишь отмѣтки черезъ полсажени и цѣлую сажень.

Для опредѣленія скорости и расхода воды, въ 1879 г. были выписаны отъ Амслера-Лафона вертушки его устройства, снабженныя электрическими замыкателями и лебедками со счетчиками глубины, на какую опускалась вертушка.

Что касается опредѣленія нормальнаго уровня воды съ отнесеніемъ къ нему всѣхъ прочихъ горизонтовъ, то инструкція не давала собственно никакихъ указаній, какъ должна быть исполнена эта часть работы; поэтому приведеніе работъ къ нормальному горизонту въ разныхъ партіяхъ дѣлалось различнымъ образомъ. Въ однѣхъ, за горизонтъ, къ которому относились всѣ работы, принимался самый низкій горизонтъ, бывшій на всѣхъ водомѣрныхъ постахъ участка рѣки, изслѣдованнаго въ данное лѣто, иногда его брали однодневнымъ, иногда послѣдовательнымъ; другія партіи брали не самый низкій горизонтъ, но одинъ изъ низкихъ горизонтовъ, при которомъ возможно еще судоходство. Одинѣ партіи, выбравъ тотъ или другой горизонтъ по наблюденіямъ водомѣрныхъ постовъ и нанеся его на продольномъ

профилѣ у мѣстъ расположенія постовъ, соединяли полученныя высоты прямой линіей, другія же партіи опредѣляли отмѣтки горизонта воды между водомѣрными постами пропорціонально разстоянію между ними, а третьи пропорціонально уклону, полученному нивеллировкой.

Всѣ вышеупомянутыя маленькія неопредѣленности вводились въ инструкціи, конечно, съ цѣлью не стѣснять производителей работъ узкими рамками и предоставить имъ самимъ выработать наилучшія правила, такъ какъ предшествовавшія этому времени работы не научили никакой опытности въ этомъ отношеніи.

Всѣ съемочные планшеты, по инструкціи, должны были исполняться въ масштабѣ 50 саженъ въ одной сотой сажени, или въ $\frac{1}{5.000}$; для профилей установленъ былъ масштабъ: для горизонтальныхъ разстояній 50 саженъ въ одной сотой сажени, а для вертикальныхъ 1 сажень въ одной сотой сажени. Такимъ образомъ, теперь министерство путей сообщенія отступило отъ масштаба дюймоваго, чѣмъ было положено начало перехода къ масштабамъ въ метрической мѣрѣ.

Въ маѣ 1875 г. были сформированы описныя партіи на Волгу, Днѣпръ, Донъ, Сѣверную Двину, Вислу и Принять и экспедиціи на р. Ангару и Обь-Енисейское сообщеніе.

На картахъ, исполненныхъ описными партіями, ложе рѣки обозначается линіями равныхъ глубинъ, а пространства между смежными линіями закрашены синею краскою различной густоты, чѣмъ глубже, тѣмъ гуще. На подробныхъ планахъ русло рѣки изображено четырьмя тонами, соотвѣтственно глубинамъ. Самый слабый тонъ выражаетъ глубины меньшія 0,33 сажени, 2-ой—глубины меньшія 0,66 сажени; 3-й тонъ—меньшія 1 сажени и 4-й—глубины большія одной сажени. Впослѣдствіи, рельефъ русла Волги изображался 5-ю тонами на подробныхъ картахъ и 3 тонами на сокращенныхъ, исполненныхъ въ масштабѣ 1 верста въ сотой сажени.

На продольномъ профилѣ вычерчивался горизонтъ рѣки, какой былъ во время производства нивеллировки, или рабочій горизонтъ, горизонтъ высокихъ водъ и горизонтъ ледохода, а также горизонтъ нормальный, профиль магистральной линіи и профиля бровокъ, или гребней обоихъ береговъ.

Въ 1876 году утверждена новая инструкція, ни чѣмъ, впрочемъ, существеннымъ не отличавшаяся отъ инструкціи 1875 года.

Хотя всѣ почти партіи исполнили свой урокъ и проходили по 350 верстъ въ лѣто, но предстояло описать еще очень много рѣкъ, къ отпуску же достаточныхъ на то средствъ всегда являлись препятствія, не зависящія отъ министерства путей сообщенія, поэтому зародилась идея ускорить описаніе второстепенныхъ рѣкъ, сокративъ личный составъ новыхъ партій, сокративъ вмѣстѣ съ тѣмъ нѣкоторыя геодезическія работы и понизивъ, такъ сказать, требованія при исполненіи ихъ. Была выработана сокращенная инструкція, утвержденная министромъ въ 1878 году, по которой позволялось дѣлать съемку только на сто саженъ отъ урѣзовъ воды; магистраль полагалось связывать съ существующими тригонометрическими пунктами, но вмѣстѣ съ тѣмъ разрѣшалось измѣрять одни лишь магнитные азимуты прямыхъ, составляющихъ магистраль, хотя и не возбранялось мѣрить углы поворотовъ между ними; поперечная нивеллировка разлива исключалась совершенно, нивеллировку магистрали и паденія рѣки дозволялось вести однимъ нивеллиромъ, съ постановкою его на каждой стоянкѣ въ двухъ мѣстахъ, а въ случаѣ значительной расходимости въ двухъ разностяхъ высотъ—повторять нивеллировку вновь. Скорости разрѣшалось опредѣлять поплавками. Инструкція эта дана была въ руководство съ 1878 года начальникамъ партій на рѣкахъ Вяткѣ, Бѣлой и Днѣпровско-Бугской системы, а въ 1879 году на рѣкахъ Камѣ и Окѣ.

Но начальники нѣкоторыхъ изъ этихъ партій, зная, къ какимъ ошибкамъ можетъ повести съемка безъ опредѣленія астрономическимъ путемъ азимутовъ линіи магистрали или безъ геометрической тріангуляціи, а также нивеллировка въ одинъ нивеллиръ, рѣшили превысить свою власть и вели порученныя имъ работы во многихъ отношеніяхъ болѣе подробно, чѣмъ то требовалось не только сокращенной инструкціей, но и инструкціей для главныхъ рѣкъ. Такъ они поступили не только относительно нивеллировки и промѣровъ рѣки, но и относительно опредѣленія скоростей воды и расходовъ ея; одно, что они исключили изъ своей программы—это поперечную нивеллировку разлива.

Въ 1879 году была выработана инструкція для собиранія гидрометрическихъ данныхъ, вполнѣ опредѣленная, и въ 1879 году были учреждены гидрометрическія станціи на Волгѣ, Днѣпрѣ, Сѣверной Двинѣ, Камѣ и Окѣ, на которыхъ и начаты гидрометрическія измѣ-

ренія, по программѣ сказанной инструкціи. По мѣрѣ открытія описныхъ работъ на другихъ рѣкахъ устраивались и тамъ такія же станціи. Но по окончаніи съемочныхъ работъ партій гидрометрическія станціи закончили свое существованіе на всѣхъ рѣкахъ. Гидрометрическія станціи собрали очень богатый матеріалъ, до сихъ поръ еще неизданный: на одной Волгѣ опредѣлено до 1.000 расходовъ воды на девяти ея гидрометрическихъ станціяхъ. На всѣхъ же рѣкахъ, считая и Волгу, было устроено 20 гидрометрическихъ станцій. При нихъ устраивались также метеорологическія станціи.

Послѣ 1881 года было разрѣшено для нивеллировокъ описныхъ партій пріобрѣсти отъ Керна изъ Ларау нивеллиры той системы, какая употреблялась для точныхъ швейцарскихъ нивеллировокъ, и которые у насъ уже были испытаны при нивеллировкахъ между Аральскимъ и Каспійскимъ морями, а также въ Сибири. Это было приведено въ исполненіе Волжской описной партіей и Аму-Дарьинской экспедиціей. Выписали 17 нивеллировъ отмѣнно тонкой конструкціи, заставлявшей производителей нивеллировокъ относиться къ своей работѣ тщательно: теперь уже имъ нельзя было приписывать свои ошибки плохому устройству инструментовъ. Нивеллировки рѣкъ начали производиться съ большею аккуратностью.

Въ 1884 году навигаціонно-описная комиссія прекратила свое существованіе, она слилась съ департаментомъ шоссейныхъ и водяныхъ сообщеній.

Въ 1884 году были выработаны правила для изданія картъ и профилей навигаціонно-описной комиссіи, и изданы карты рѣкъ Сухоны, Сѣверной Двины, Днѣпра, Оки, Камы, Суры и Волхова, на протяженіи болѣе семи тысячъ верстъ.

На всемъ судоходномъ протяженіи этихъ рѣкъ, вездѣ отмѣченъ грунтъ береговъ и русла рѣки. Рельефъ ложа изображенъ двумя тонами и четырьмя линіями равныхъ глубинъ, на каждомъ планшетѣ имѣются въ нѣсколькихъ мѣстахъ отмѣтки горизонтовъ воды.

Кромѣ подробныхъ картъ, изданы еще сокращенныя въ масштабѣ 1 вер. въ 0,01 саж., на нихъ изображены рѣки съ ихъ разливами. Рельефъ ложа рѣки изображенъ двумя тонами. Также изданы продольные профиля рѣкъ, на нихъ изображенъ горизонтъ, принятый на картѣ, горизонтъ высокихъ водъ, дно по фарватеру, всѣ водо-

мѣрные посты съ отмѣтками ихъ нулей и, наконецъ, показаны расходы и скорости рѣки въ различныхъ мѣстахъ.

Къ атласамъ приложены краткія описанія способовъ изслѣдованія каждой рѣки съ приложеніемъ списка тригонометрическихъ пунктовъ, съ указаніемъ невязки и способа ея разложенія, списокъ реперовъ съ ихъ отмѣтками, результаты наблюденій и вычисленій на гидрометрическихъ станціяхъ и, наконецъ, перечень названій рѣкъ, ручьевъ, впадающихъ въ главную, перекатовъ, острововъ, озеръ и населенныхъ мѣстъ по берегамъ рѣки.

Атласы рѣкъ оказались пригодными не только для тѣхъ цѣлей, которыя ставились при ихъ исполненіи, т. е. для возможности составленія проектовъ улучшенія, для обстановки фарватера и инспекторскаго надзора; но, кромѣ того, они оказались пригодными для другихъ цѣлей, напримѣръ, для выбора лучшаго мѣста пересѣченія дороги съ рѣкою.

Они дали возможность имѣть болѣе точную длину рѣкъ, что, при рѣшеніи различныхъ вопросовъ, сопряженныхъ съ судоходствомъ, имѣетъ очень часто немаловажное значеніе.

Карты эти дали богатый матеріалъ при составленіи гипсометрической карты Россіи, исполненной А. А. Тилло.

Карты рѣкъ, изданныя министерствомъ путей сообщенія, могли бы служить для исправленія брульоновъ военно-топографическаго отдѣла. Эти брульоны могли бы быть дополнены глубинами и указаніемъ мѣстъ перекатовъ, мелей, или бродовъ, что имѣетъ, конечно, большое значеніе въ военномъ отношеніи.

Для брульоновъ военно-топографическаго отдѣла, исполняемыхъ въ болѣе мелкомъ масштабѣ, чѣмъ карты рѣкъ, изданныя министерствомъ путей сообщенія, атласы должны считаться драгоцѣннымъ матеріаломъ для исправленій брульоновъ во всемъ томъ, что касается рельефа береговъ и контуровъ нашихъ судоходныхъ рѣкъ, и притомъ болѣе драгоцѣнные, чѣмъ, напримѣръ, межевые планы для пополненія подробностей.

Для геодезическихъ работъ комиссіи по устройству коммерческихъ портовъ общей инструкціи не было выработано, хотя, впрочемъ, былъ составленъ проектъ такой инструкціи, но признано за лучшее не утверждать ея, а всякій разъ давать отдѣльныя программы работъ. По нимъ изъ этихъ программъ, требуется даже точное опредѣле-

ніе широтъ и долготъ оконечныхъ точекъ съемки, производимой у порта.

Портовая комиссія предприняла рядъ изданій подъ заглавіемъ: „Матеріалы для описанія русскихъ портовъ и исторіи ихъ сооруженія". Изданія эти снабжены превосходно исполненными планами портовъ. Въ описаніяхъ изложены всѣ выводы изъ производившихся изысканій, но не въ одномъ изъ нихъ не упоминается, какъ именно производились геодезическія работы.

Итакъ, вѣдомствомъ путей сообщенія производятся геодезическія работы уже болѣе ста лѣтъ, работы эти во многихъ частяхъ постепенно улучшались, но улучшенія эти носятъ на себѣ характеръ случайный, потому что при министерствѣ путей сообщенія нѣтъ органа, наблюдающаго за всѣми геодезическими и картографическими работами министерства, которое объединяло бы эти работы въ смыслѣ пріемовъ и инструментовъ, употребляемыхъ при этихъ работахъ, и въ смыслѣ согласованія этихъ работъ съ работами другихъ вѣдомствъ.

КОНЕЦЪ.

ПРИБАВЛЕНІЕ.

На страницѣ 789-й я упомянулъ, что въ инструкціяхъ для постройки сибирской желѣзной дороги помѣщены таблицы для разбивки кривыхъ со вставками кубической параболы.

Считаю не безполезнымъ привести здѣсь часть этихъ таблицъ, именно для радіусовъ отъ 500 до 120 саженъ, такъ какъ при большихъ радіусахъ, чѣмъ 500 саженъ, теряется практическое значеніе переходной кривой.

Элементы приведенные въ таблицахъ относятся къ кубической параболѣ, касающейся круга съ наружной его стороны (черт. 483).

ТАБЛИЦА I.

Элементовъ сопрягающей кривой при скорости 45 верстъ въ часъ.

r.	x_0.	y_0.	$\frac{y_0}{4}$.	$\frac{y_0}{8}$.	$\frac{2}{3}x_0$.	$tg\alpha$.	$\frac{x_0}{2}$.	$r+\frac{y_0}{4}$.
1.000	3,032	0,0015	0,0004	0,0002	2,021	0,0014	1,516	1000,00
500	6,064	0,0123	0,0031	0,0016	4,042	0,0061	0,032	500,00
450	6,738	0,0168	0,0042	0,0021	4,492	0,0075	3,369	450,00
400	7,580	0,0240	0,0060	0,0030	5,053	0,0095	3,790	400,00
379	8,000	0,0281	0,0070	0,0035	5,333	0,0105	4,000	379,00
350	8,663	0,0357	0,0089	0,0045	5,775	0,0124	4,332	350,01
303	10,000	0,0550	0,0138	0,0069	6,667	0,0165	5,000	303,01
300	10,107	0,0568	0,0142	0,0071	6,738	0,0169	5,053	300,01
253	12,000	0,0950	0,0238	0,0119	8,000	0,0238	6,000	253,02
250	12,128	0,0980	0,0245	0,0123	8,085	0,0242	6,064	250,02
217	14,000	0,1508	0,0377	0,0189	9,333	0,0323	7,000	217,04
200	15,160	0,1915	0,0479	0,0240	10,107	0,0379	7,580	200,05
189	16,000	0,2252	0,0563	0,0282	10,667	0,0422	8,000	190,06
168	18,000	0,3206	0,0802	0,0401	12,000	0,0534	9,000	168,08
152	20,000	0,4400	0,1100	0,0550	13,333	0,0660	10,000	152,11
150	20,213	0,4564	0,1141	0,0571	13,142	0,0677	10,106	150,11
138	22,000	0,5845	0,1461	0,0731	14,667	0,0798	11,000	138,15
126	24,063	0,7659	0,1915	0,0958	16,042	0,0955	12,032	126,19
120	25,267	0,8867	0,2217	0,1109	16,845	0,1053	12,634	120,22

ТАБЛИЦА II.

Элементовъ сопрягающей кривой при скорости 40 верстъ въ часъ.

r.	x_0.	y_0.	$\frac{y_0}{4}$.	$\frac{y_0}{8}$.	$\frac{2}{3}x_0$.	$tg\alpha$.	$\frac{x_0}{2}$.	$r+\frac{y_0}{4}$.
1.000	2,396	0,0009	0,0002	0,0001	1,597	0,0012	1,198	1000,00
500	4,791	0,0076	0,0019	0,0010	3,194	0,0048	2,396	500,00
450	5,324	0,0105	0,0026	0,0013	3,549	0,0059	2,662	450,00
400	5,989	0,0149	0,0037	0,0019	3,993	0,0075	2,995	400,00
399	6,000	0,0150	0,0038	0,0019	4,000	0,0075	3,000	399,00
350	6,845	0,0223	0,0056	0,0028	4,563	0,0098	3,423	350,01
300	7,986	0,0354	0,0089	0,0045	5,324	0,0133	3,993	300,01
299	8,000	0,0357	0,0089	0,0045	5,333	0,0134	4,000	299,01
250	9,583	0,0612	0,0153	0,0077	6,389	0,0191	4,792	250,02
240	10,000	0,0685	0,0171	0,0086	6,667	0,0208	5,000	240,02
200	11,975	0.1195	0,0299	0,0150	7,983	0,0299	5.988	200,03
199	12,000	0,1206	0,0302	0,0151	8,000	0,0301	6,000	199,03
171	14,000	0,1910	0,0478	0,0239	9,333	0,0409	7,000	171,05
150	15,971	0,2834	0,0709	0,0355	10,647	0,0532	7,986	150,07
149	16,000	0,2863	0,0716	0,0358	10,667	0,0534	8,000	149,07
133	18,000	0,4060	0,1015	0,0508	12,000	0,0676	9,000	133,10
120	19,964	0,5534	0,1384	0,0692	13,309	0,0831	9,982	120,14

ТАБЛИЦА III.

Элементовъ сопрягающей кривой при скорости 35 верстъ въ часъ.

r.	x_0.	y_0.	$\frac{y_0}{4}$.	$\frac{y_0}{8}$.	$\frac{2}{3}x_0$.	$tg\alpha$.	$\frac{x_0}{2}$.	$r+\frac{y_0}{4}$.
1.000	1,834	0,00056	0,00014	0,00007	1,223	0,0009	0,917	1000,00
500	3,668	0,0045	0,0011	0,0005	2,445	0,0037	1,834	500,00
458	4,000	0,0058	0,0014	0,0007	2,667	0,0044	2,000	458,00
450	4,075	0,0061	0,0015	0,00075	2,717	0,0045	2,037	450,00
400	4,584	0,0088	0,0022	0,0011	3,056	0,0057	2,292	400,00
350	5,239	0,0133	0,0033	0,0016	3,493	0,0075	2,619	350,00
306	6,000	0,0199	0,0045	0,0022	4,000	0,0098	3,000	306,00
300	6,113	0,0211	0,0053	0,0026	4,075	0,0100	3,056	300,00
250	7,335	0,0366	0,0092	0,0046	4,890	0,0147	3,667	250,01
229	8,000	0,0475	0,0119	0,0059	5,333	0,0174	4,000	229,01
200	9,169	0,0713	0,0178	0,0089	6,113	0,0229	4,584	200,02
183	10,000	0,0931	0,0233	0,0116	6,667	0,0273	5,000	183,02
153	12,000	0,1593	0,0398	0,0199	8,000	0,0393	6,000	153,04
150	12,225	0,1690	0,0422	0,0211	8,510	0,0408	6,112	150,04
131	14,000	0,2494	0,0624	0,0312	9,333	0,0534	7,000	131,06
120	15,283	0,3244	0,0811	0,0406	10,189	0,0637	7,642	120,32

ТАБЛИЦА IV.

Возвышеній наружнаго рельса въ кривыхъ, въ тысячныхъ сажени.

	Величина возвышеній при скоростяхъ:						
	$V=20.$	$V=25.$	$V=30.$	$V=35.$	$V=40.$	$V=45.$	$V=50.$
120	10,00	15,63	22,50	30,63	40,00	50,63	62,50
150	8,00	12,50	18,00	24,50	32,00	40,50	50,00
160	7,50	11,72	16,87	22,97	30,00	37,97	46,87
170	7,06	11,03	15,88	21,62	28,24	35,73	44,12
180	6,66	10,42	15,00	20,42	26,66	33,75	41,66
190	6,32	9,87	14,21	19,34	25,26	31,97	39,47
200	6,00	9,37	13,50	18,37	24,00	30,37	37,50
225	5,33	8,33	12,00	16,33	21,33	27,00	33,33
250	4,80	7,50	10,80	14,70	19,20	24,30	30,00
275	4,36	6,82	9,82	13,37	17,46	22,09	27,27
300	4,00	6,25	9,00	12,25	16,00	20,25	25,00
350	3,43	5,36	7,71	10,50	13,71	17,36	21,43
400	3,00	4,69	6,75	9,19	12,00	15,19	18,75
450	2,66	4,16	6,00	8,16	10,66	13,50	16,66
500	2,40	3,75	5,40	7,35	9,60	12,15	15,00

Для того чтобы знать направленіе касательной LG (черт. 483), надо знать положеніе двухъ точекъ D и L. Положеніе точки D опредѣляется по x_0 и y_0, а положеніе точки L длиною B_1L. Изъ чертежа 483-го видно, что

$$LK = KD : tg\,\alpha,$$

или

$$LK = y_0 : \frac{x_0^2}{2kn} = \frac{x_0^3}{6kn} : \frac{x_0^2}{2kn} = \frac{x_0}{3},$$

слѣдовательно $B_1L = \frac{2}{3}\,x_0$. Поэтому въ таблицахъ I, II и III даны величины $\frac{2}{3}\,x_0$.

Сочиненія, бывшія въ пользованіи автора.

Болотовъ. Руководство къ производству хозяйственной съемки, межеванія и нивеллировки. 1842.

— Курсъ Высшей Геодезіи I и II ч. 1845.

Мейенъ. Курсъ Низшей Геодезіи. 1854.

Павловичъ. Лѣсная съемка. 1872.

Смирновъ. Геодезія.

Петрушевскій. Курсъ наблюдательной физики. 1874.

М. Андреевъ. Низшая Геодезія или руководство для производства съемокъ и нивеллированія. 1875.

Менделѣевъ. О барометрическомъ нивеллированіи и примѣненіи для него высотомѣра. 1876.

Травинъ. Руководство къ Низшей Геодезіи. 1880.

Штукенбергъ. Барометрическое измѣреніе высотъ. 1873.

Муравицъ. Таблицы для разбивки кривыхъ.

Маккавѣевъ и Даниловскій. Курсъ топографіи. 1877.

Винклеръ. Лекціи о сооруженіи желѣзныхъ дорогъ. 1879.

Шимковъ. Курсъ опытной физики. 1884.

Бѣликовъ. Полный курсъ военной топографіи. 1888.

Дмитріевъ. Сферическая Тригонометрія.

Кларкъ. Геодезія. Переводъ Витковскаго. 1890.

Савельевъ. Барометрическія наблюденія на удаленныхъ метеорологическихъ станціяхъ и во время путешествій. 1888.

Бутовичъ. Правила, соблюдаемыя при предварительномъ упражненіи въ ситуаціонномъ черченіи. 1890.

Егоровъ. Руководство топографическаго черченія.

П. Н. Андреевъ. Геодезія. Руководство для техниковъ путей сообщенія. 1888.

Шидловскій. Руководство къ сферической астрономіи. 1866.

Ф. Г. Струве. Дуга меридіана въ 25°20′ между Дунаемъ и Ледовитымъ моремъ, измѣренныя съ 1816 по 1855 годъ. 1861.

М. Л. Пѣвцовъ. О барометрическомъ нивеллированіи. 1895.

Извѣстія Императорскаго Русскаго Географическаго Общества.

Записки Военно-Топографическаго Отдѣла Главнаго Штаба до LIII части включительно.

Журналъ Министерства Путей Сообщенія за 1857, 1858, 1868.

Инструкція для опредѣленія высотъ помощью барометрическихъ наблюденій. Сост. Б. Срезневскій. Изд. подъ ред. А. Тилло. 1891.

J. François. Traité pratique de nivellement. 1890.

Fr. Schrader. Note sur l'orographe. 1885. *Leber.*

Salneuve. Cours de topographie et de géodésie; quatrième édition modifiée. 1869.

Bauernfeind. Elemente der Vermessungskunde. 1879.

Bohn. Die Landmessung. 1886.

La tachéométrie par I. Parro. Paris. 1861.

Moignot. Levés de plans à la Stadia. 1865.

Zeitschrift des oesterreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins. Starke's Tachymeter von Pr. W. Tinter. 1875.

Weelingnton. The economic theory of locotions of railways. 1888.

Les Annales des Travaux Publics. 1889. № 111.

Kröhnke. Handbuch zum abstecken von Curven auf Eisenbahn und Wegelinien. 1882.

A. Vogler. Abbildungen Geodätscher Instrumente. 1892.

A. Vogler. Graphische Barometertafeln. 1880.

M. Leber. Calcul des racordements paraboliques dans les tracés de chmins de fer... 1892.

Dr. E. R. Helmert. Die mathematichen und physikalischen theorien der Höheren Geodäsie. 1884.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Стр.

ПРЕДИСЛОВІЕ III
ОПЕЧАТКИ VI

ГЛАВА I.

Предварительныя понятія.

1. Предметъ геодезіи и раздѣленіе ея на высшую и низшую 1
2. Общія понятія о фигурѣ земли . . . . . .
3. Названія частей земной поверхности 5
4 Части земной поверхности, измѣряемыя пріемами низшей геодезіи 6
5. Заложеніе, или проекція линіи, взятой на земной поверхности 7
6 Плоскость проекцій для частей земной поверхности, изображаемыхъ на бумагѣ по правиламъ низшей геодезіи 7
7 Понятіе о планѣ части земной поверхности 8
8 Что надо измѣрить въ полѣ, чтобы составить планъ мѣстности 8
9. Что такое масштабъ 9
10. Какъ отъ дробнаго или численнаго масштаба перейти къ линейному . . . 10
11. Переходъ отъ одного линейнаго масштаба къ другому линейному, выраженному въ другихъ единицахъ мѣры 11
12 Въ какомъ масштабѣ исполняются карты и планы въ Россіи и какъ велики ошибки въ измѣреніи разстояній по картѣ въ зависимости отъ масштаба 11
13. Что надо измѣрить въ полѣ, чтобы получить возвышеніе одной точки надъ другою 13
14. Что надо сдѣлать въ полѣ, чтобы произвести съемку мѣстности и составить планъ 14

ГЛАВА II.

Объ условныхъ знакахъ картъ и плановъ.

15. Общія основанія для условныхъ знаковъ 14
16. Условные знаки для военно-топографической карты 16

ГЛАВА III.

Изображеніе неровностей земной поверхности отмѣтками и горизонталями.

17. Общія понятія о горизонталяхъ 20
18. Сходство различныхъ неровностей земной поверхности съ поверхностями геометрическихъ тѣлъ 22

Стр.

19. Горизонтали, соотвѣтствующія разнымъ геометрическимъ тѣламъ 22
20. Какъ по данному на планѣ положенію заложенія линіи, имѣющей одинъ данный скатъ, отмѣтки концовъ которой извѣстны, найти точки, чрезъ которыя проходятъ горизонтали, отстоящія другъ отъ друга по высотѣ на опредѣленную величину 23
21. Основныя свойства горизонталей 24
22. Линія наибольшаго ската 26
23. Отчего зависитъ тотъ или другой промежутокъ по высотѣ между горизонталями 27
24. Какъ можно пользоваться табличкой заложеній 28
25. Масштабъ заложеній, или масштабъ крутостей 28
26. Типы неровностей земной поверхности 30
27. Горизонтали, соотвѣтствующія неровностямъ земной поверхности 33
28. Правила, коими надо руководствоваться при составленіи плана въ горизонталяхъ, а также при чтеніи плана горизонталей 35
29. Задачи, рѣшаемыя при помощи плана въ горизонталяхъ 37
30. Достоинства и недостатки выраженія неровностей земли горизонталями . 42

ГЛАВА IV.

Изображеніе неровностей земной поверхности растушевкою, отмывкою и штрихами.

31. Общія понятія о растушевкѣ и отмывкѣ 44
32. Изображеніе штрихами по способу Лемана 44
33. Шкала штриховъ Болотова 46
34. Шкалы штриховъ военно-топографическаго отдѣла главнаго штаба 48
35. Правила необходимыя при чтеніи плана въ штрихахъ и при изображеніи неровностей штрихами или при ситуаціонномъ черченіи 49
36. Правила, коими надо руководствоваться при чтеніи плановъ и картъ въ штрихахъ 60
37. Опредѣленіе угловъ наклоненія линій, назначенныхъ на планѣ или картѣ въ штрихахъ 63
38. Опредѣленіе разности высотъ точекъ, или командованія по плану въ штрихахъ 64
39. Какъ построить профиль по данному направленію, назначенному на планѣ въ штрихахъ 64
40. Достоинства и недостатки способа штриховъ сравнительно со способами горизонталей 66

ГЛАВА V.

Сферическая тригонометрія.

41. Введеніе 67
42. Опредѣленіе сферическаго угла и сферическаго треугольника 68
43. Свойства сферическихъ треугольниковъ 69
44. Выводъ основной формулы, выражающей зависимость между тремя сторонами и однимъ угломъ сферическаго треугольника 72
45. Выводъ формулы, выражающей связь между двумя сторонами и двумя углами 74

Стр.

46. Выводъ формулы, выражающей зависимость между тремя сторонами и двумя углами сферическаго треугольника 75
47. Выводъ формулы, выражающей связь между двумя сторонами и двумя углами, изъ которыхъ одинъ прилежащій, а другой противолежащій, или между четырьмя рядомъ стоящими частями 77
48. Выводъ формулы, выражающей связь между тремя углами и двумя сторонами . 77
49. Другой выводъ предыдущей формулы 78
50. Выводъ формулы, выражающей связь между двумя углами и двумя сторолами, изъ которыхъ одна прилежащая, а другая противолежащая . . . 79
51. Выводъ формулы, выражающей связь между тремя углами и одной стороной сферическаго косоугольнаго треугольника 79
52. Общія замѣчанія о рѣшеніи сферическаго треугольника 80
53. Общія правила, коимъ надо слѣдовать при вычисленіи сторонъ и угловъ сферическихъ треугольниковъ 81
54. Выводъ формулъ удобныхъ для логариѳмированія 84
55. Выводъ формулъ для синуса, косинуса и тангенса половиннаго угла въ сторонахъ сферическаго треугольника 85
56. Выводъ формулъ Даламбера, извѣстныхъ подъ именемъ Гаусовыхъ формулъ и дающихъ косинусы, полусуммы и полуразности двухъ угловъ . . 88
57. Выводъ формулъ, называемыхъ Неперовыми аномаліями 91
58. Выводъ формулы для величины площади сферическаго треугольника . . . 93
59. Выраженіе сферическаго избытка въ функціи площади сферическаго треугольника 95
60. Другія формулы для выраженія сферическаго избытка 96
61. Выводъ формулъ, служащихъ для рѣшенія прямоугольныхъ сферическихъ треугольниковъ 100
62. Мнемоническія правила Непера или Медюи для формулъ прямоугольнаго сферическаго треугольника 102
63. Выводъ болѣе удобныхъ формулъ для рѣшенія прямоугольнаго сферическаго треугольника 103
64. Разборъ сомнительныхъ рѣшеній 104
65. Рѣшеніе сферическихъ треугольниковъ малаго изгиба 110

ГЛАВА VI.

О провѣшиваніи линій.

66. Что значитъ провѣшить линію 115
67. Вѣшеніе линіи на ровной мѣстности 117
68. Вѣшеніе линіи чрезъ оврагъ 117
69. Вѣшеніе линіи, проходящей изъ возвышенной мѣстности въ низменную или, обратно, изъ низменной мѣстности въ возвышенную 118
70. Продолженіе вѣшенія линіи, проходящей черезъ лѣсъ 119
71. Вѣшеніе линіи между двумя поставленными вѣхами 119

ГЛАВА VII.

Измѣреніе линіи и инструменты, служащіе для непосредственнаго измѣренія линій.

72. Общее понятіе о непосредственномъ измѣреніи линіи 122
73. Мѣрная цѣпь 122

Стр.

74. Измѣреніе линій на землѣ цѣпью 124
75. Повѣрка длины цѣпи и измѣреніе линія невѣрной цѣпью 125
76. Стальная десятисаженная лента 126
77. Мѣрный шнуръ 126
78. Мѣрная тесьма, или рулетка 127
79. Измѣреніе разстояній шагами 128
80. Опредѣленіе разстояній глазомѣромъ 129
81. Опредѣленіе разстояній по времени 129

ГЛАВА VIII.

Главныя составныя части геодезическихъ инструментовъ, служащихъ для измѣренія угловъ.

82. Общее понятіе объ угломѣрномъ геодезическомъ инструментѣ 130
83. Лимбъ 131
84. Алидада 132
85. Нониусъ 133
86. Общее правило нахожденія точности нониуса 133
87. Какъ при помощи нониуса измѣряются части меньшія одного дѣленія лимба. 134
88. Практическое правило для нахожденія точности нониуса 137
89. Правило чтенія по лимбу и нониусу 137
90. Уровень 138
91. Условіе необходимое для горизонтальности оси уровня 140
92. Измѣреніе угловъ наклоненія оси уровня съ горизонтомъ 141
93. Цѣна одного дѣленія уровня 143
94. Повѣрительный винтъ уровня 143
95. Подъемные, или уравнительные, винты 144
96. Приведеніе оси уровня въ горизонтальное положеніе подъемными винтами . 145
97. Діоптры и ихъ употребленіе 146
98. Величина ошибокъ визированія діоптрами 148
99. Микрометренные винты 150

ГЛАВА IX.

Краткія свѣдѣнія о свойствахъ оптическихъ приборовъ, употребляемыхъ въ геодезическихъ инструментахъ.

100. Объ отраженіи лучей свѣта отъ зеркальныхъ поверхностей 152
101. На какомъ разстояніи отъ зеркала получается изображеніе свѣтящейся или освѣщенной точки 153
102. О преломленіи лучей свѣта 155
103. Какое направленіе получитъ лучъ свѣта по выходѣ изъ стекла, ограниченнаго параллельными плоскостями 156
104. Полное внутреннее отраженіе въ стеклахъ 156
105. Какое направленіе получитъ лучъ свѣта по выходѣ изъ стеклянной треугольной призмы, если онъ падаетъ перпендикулярно къ катету призмы. 158
106. Общія понятія о вогнутыхъ стеклахъ 159
107. Преломленіе лучей свѣта въ сферическомъ двояко-выпукломъ стеклѣ . . 159

Стр.

108. Выводъ основной формулы для сферическихъ стеколъ 160
109. Изслѣдованіе формулы, относящейся къ сферическимъ стекламъ, и вытекающія изъ этого изслѣдованія важныя свойства этихъ стеколъ 162
110. Измѣненіе разстоянія отъ изображенія до стекла съ измѣненіемъ разстоянія отъ предмета до стекла 164
111. Какъ получаются изображенія въ выпуклыхъ стеклахъ 165
112. Величина изображенія въ выпуклыхъ стеклахъ 166
113. Сферическая аберація стеколъ 166
114. Общее понятіе о свѣторазсѣяніи, или хромагизмѣ 168
115. Хроматическая аберація 168
116. Аберація формы 169
117. Устройство апланатическихъ объективовъ въ геодезическихъ инструментахъ 169
118. О глазѣ человѣка 170
119. Общее понятіе объ углѣ зрѣнія, или полѣ зрѣнія 172

ГЛАВА X.

О трубахъ геодезическихъ инструментовъ.

120. Общее понятіе о зрительной трубѣ 174
121. Подробное описаніе сѣтки трубы 176
122. Ходъ лучей, падающихъ отъ предмета на объективъ трубы 178
123. Увеличеніе трубы 179
124. Практическіе пріемы для опредѣленія увеличенія трубы 180
125. Поле зрѣнія трубы 182
126. Ясность трубы 183
127. Лупа, или простой микроскопъ 185
128. Сложный микроскопъ 188
129. Сложные окуляторы 189
130. Сложный окуляръ Гюгенса или Кампана 190
131. Сложный окуляръ Рамсдена 191
132. Ортоскопическій окуляръ 191
133. Земная труба 191
134. Астрономическая труба съ собирательнымъ стекломъ 192
135. Галилеева труба, или бинокль 193
136. Параллаксъ нитей трубы 193
137. Установка трубы геодезическихъ инструментовъ 194
138. Испытаніе трубы 194
139. Употребленіе стеклянной призмы при трубахъ геодезическихъ инструментовъ 195

ГЛАВА XI.

Описаніе и употребленіе геодезическихъ угломѣрныхъ инструментовъ, называемыхъ эккерами.

140. Раздѣленіе угломѣрныхъ инструментовъ на три группы 197
141. Крестообразный эккеръ 197
142. Цилиндрическій, восьмигранный и коническій эккеръ 198

Стр.

143. Употребленіе эккеровъ 199
144. Повѣрка эккеровъ 200

ГЛАВА XII.

О буссоляхъ.

145. Общее понятіе о буссоли 201
146. Магнитная стрѣлка 202
147. Буссоль съ діоптрами 206
148. Магнитные азимуты 209
149. Какъ измѣрить по буссоли величину азимута 210
150. Румбическіе углы 212
151. Какъ по буссоли измѣрить величину румба 212
152. Вычисленіе румбовъ по азимутамъ 214
153. Какъ вычислить величину азимута данной линіи, когда непосредственно измѣрена величина румба этой линіи 215
154. Какъ опредѣлить величину угла, заключеннаго между двумя линіями, если извѣстны азимуты обѣихъ линій у ихъ началъ или у ихъ концовъ . . . 215
155. Какъ опредѣлить величину астролябическаго угла по румбамъ линій, его составляющихъ, прочтенныхъ въ началѣ или концѣ линій 218
156. Какъ по румбу данной линіи найти румбъ линіи ей параллельной или перпендикулярной 221
157. Какъ опредѣлить склоненіе магнитной стрѣлки 222
158. Какимъ условіямъ должна удовлетворять буссоль 223
159. Какъ узнать, не содержитъ ли коробка буссоли желѣза 224
160. Какъ узнать, вѣрны ли дѣленія кольца буссоли 224
161. Какъ узнать, достаточно ли остеръ шпиль буссоли 224
162. Какъ узнать, чувствительна ли стрѣлка буссоли 225
163. Какъ узнать, совпадаетъ ли линія пулей буссоли съ коллимаціонной плоскостью діоптровъ 225
164. Буссоль Шмалькальдера 225
165. Употребленіе буссоли Шмалькальдера 227

ГЛАВА XIII.

О повѣркахъ геодезическихъ инструментовъ.

166. Общій пріемъ, употребляемый для повѣрокъ геодезическихъ инструментовъ 228
167. Повѣрка совпаденія двухъ линій 228
168. Повѣрка перпендикулярности двухъ линій 229
169. Повѣрка параллельности двухъ линій 230

ГЛАВА XIV.

Объ астролябіяхъ.

170. Описаніе астролябій 232
171. Употребленіе астролябія 236
172. Какимъ условіямъ должна удовлетворять вѣрная астролябія 237

Стр.

173. Какъ узнать, вѣрны ли дѣленія лимба и нонiуса астролябіи, т. е. 12 дѣленій нонiуса равны ли 11 или 13 дѣленіямъ лимба 238
174. Проходитъ ли ось вращенія алидады чрезъ центръ лимба астролябіи . . 238
175. Параллельна ли ось уровня плоскости лимба астролябіи 239
176. Перпендикулярна ли визирная плоскость діоптровъ, подвижныхъ и неподвижныхъ, къ плоскости лимба астролябіи 239
177. Совпадаютъ ли визирныя плоскости подвижныхъ и неподвижныхъ діоптровъ, при совмѣщеніи нулевой черты нонiуса съ нулевой чертой лимба астролябіи 240
178. Совпадаетъ ли визирная плоскость подвижныхъ діоптровъ астролябіи съ линіей нулей буссоли 240

ГЛАВА XV.

О пантометрахъ.

179. Описаніе пантометра 241
180. Употребленіе пантометра для измѣренія угловъ въ горизонтальной плоскости 244
181. Измѣреніе пантометромъ угловъ наклоненія линій къ горизонту 245
182. Рейка и измѣреніе угла наклоненія пантометромъ при помощи рейки . . 247
183. Условія, коимъ долженъ удовлетворять пантометръ 249
184. Какъ узнать, параллельна ли ось уровня пантометра плоскости лимба . . 249
185. Какъ узнать, описываетъ ли визирная ось пантометра, при вращеніи трубы, плоскость, и притомъ плоскость отвѣсную, когда лимбъ установленъ горизонтально 250
186. Какъ узнать, совпадаетъ ли плоскость, описываемая визирною осью трубы пантометра, съ визирною плоскостью діоптровъ верхняго цилиндра . . . 253
187. Какъ узнать, имѣетъ ли визирная ось трубы пантометра горизонтальное положеніе при совпаденіи нуля вертикальнаго сектора или круга съ нулемъ нонiуса, когда ось уровня приведена въ горизонтальное положеніе 254

ГЛАВА XVI.

О теодолитахъ.

188. Описаніе теодолитовъ разныхъ устройствъ 258
189. Измѣреніе теодолитомъ горизонтальныхъ угловъ 275
190. Измѣреніе теодолитомъ вертикальныхъ угловъ 277
191. Назначеніе на земной поверхности линіи даннаго уклона при помощи теодолита и рейки 277
192. Условія, коимъ долженъ удовлетворять вѣрный теодолитъ 279
193. Повѣрка параллельности оси уровня теодолита плоскости лимба или перпендикулярности оси вращенія алидады 280
194. Повѣрка перпендикулярности оси уровня къ оси вращенія лимба 281
195. Повѣрка въ теодолитѣ перпендикулярности визирной оси къ оси вращенія, или повѣрка колимаціонной ошибки 282
196. Повѣрка параллельности оси вращенія трубы горизонтальному лимбу . . 284
197. Повѣрка горизонтальности визирной оси теодолита при совпаденіи линіи нулей нонiусовъ и вертикальнаго круга или сектора, или нахожденіе мѣста нуля лимба 286

ГЛАВА XVII.

О дальномѣрахъ съ разстояніемъ между волосками неизмѣняемымъ.

Стр.

198. Дальномѣръ Рейхенбаха и Эртеля 289
199. Опредѣленіе коэффиціентовъ дальномѣра 291
200. Опредѣленіе дальномѣромъ горизонтальнаго разстоянія, когда визирная ось наклонна 292
201. Величина разстоянія, опредѣляемаго дальномѣромъ 296
202. Объ ошибкахъ при измѣреніи разстояній дальномѣромъ 297
203. Примѣчаніе о дальномѣрахъ 298
204. Дальномѣръ Парро 298

ГЛАВА XVIII.

О высотомѣрахъ и топографическомъ нивеллированіи.

205. Общее описаніе высотомѣра 302
206. Опредѣленіе разности высотъ точекъ помощью высотомѣра 303
207. Ошибки въ высотахъ, опредѣленныхъ высотомѣромъ-дальномѣромъ . . . 306
208. Ошибка въ разности высотъ двухъ точекъ, зависящая отъ сферичности земли 306
209. Поправка въ разности высотъ двухъ точекъ, зависящая отъ преломленія свѣта въ атмосферѣ, или отъ рефракціи 308
210. Опредѣленіе горизонтальнаго разстоянія при помощи высотомѣра, труба котораго не имѣетъ дальномѣра 309
211. Опредѣленіе при помощи высотомѣра разстоянія до неприступнаго предмета 310
212. Опредѣленіе разности высотъ между приступной и неприступной точкою и точкою стоянія высотомѣра 312

ГЛАВА XIX.

Вычисленіе разстояній и высотъ, опредѣленныхъ дальномѣрами и высотомѣрами.

213. Вспомогательныя таблицы, служащія для опредѣленія разстояній и высотъ . 313
214. Масштабъ высотъ 314
215. Описаніе логариѳмической линейки 315
216. Скала чиселъ 318
217. Скалы квадратовъ синусовъ и косинусовъ 321
218. Скала тангенсовъ и котангенсовъ 323
219. Скала синусовъ и косинусовъ 326
220. Скалы, служащія для возвышенія въ степень и извлеченія корней 329

ГЛАВА XX.

О дальномѣрѣ-высотомѣрѣ съ перемѣннымъ разстояніемъ между волосками сѣтки.

221. Теорія дальномѣра Тиши-Старке 331

Стр.

223. Описаніе высотомѣра-дальномѣра Тиши съ волосками, разстояніе между которыми можетъ измѣняться 333
223. Употребленіе дальномѣра-высотомѣра Тиши-Старке 335

ГЛАВА XXI.

Инструменты для графическаго опредѣленія угловъ, или мензулы.

224. Общее описаніе и назначеніе мензулъ 337
225. Мюнхенская мензула Рейсига, усовершенствованная нашимъ военно-топографическимъ отдѣломъ главнаго штаба 338
226. Мензула Баурнфейндта 340
227. Вилка 342
228. Алидада съ діоптрами 342
229. Уровень 343
230. Измѣреніе угла при помощи мензулы и алидады 344
231. Кипрегель 344
232. Условія, которымъ долженъ удовлетворять вѣрный кипрегель 347
233. Какъ узнать, параллельна ли ось уровня алидады или кипрегеля плоскости планшета 348
234. Какъ узнать, совпадаетъ ли скошенный край линейки кипрегеля съ плоскостью, описываемою визирною осью трубы 348
235. Какъ узнать, описываетъ ли визирная, или колимаціонная, ось кипрегеля плоскость, т. е. перпендикулярна ли визирная ось къ оси вращенія трубы 349
236. Какъ узнать, горизонтальна ли ось вращенія трубы кипрегеля, когда мензула установлена, или какъ узнать, описываетъ ли визирная ось при вращеніи плоскость отвѣсную, а не наклонную 350
237. Описаніе тахеометрическаго кипрегеля Тиши 350
238. Рейка, употребляемая при тахеометрическомъ кипрегелѣ 352
239. Употребленіе тахеометрическаго кипрегеля 353
240. Повѣрка тахеометрическаго кипрегеля 354
241. Оріентиръ-буссоль 357
242. Какъ установить мензулу по странамъ свѣта, или какъ оріентировать ее по странамъ свѣта 358
243. Какъ оріентировать мензулу по данной линіи 359
244. Опредѣленіе положенія точекъ прямою засѣчкою по точкамъ, уже опредѣленнымъ и имѣющимся на мензулѣ 359
245. Опредѣленіе положенія точки обратною засѣчкою по двумъ и большему числу точекъ, уже нанесенныхъ на мензулѣ 361
246. Опредѣленіе положенія точки, въ которой находится наблюдатель, по тремъ даннымъ точкамъ 363

ГЛАВА XXII.

О тахеографометрахъ и тахеометрахъ.

247. Тахеографометръ Вагнера 366
248. Описаніе тахеографометра Вагнера 367
249. Опредѣленіе горизонтальныхъ разстояній помощью тахеографометра . . . 376

Стр.

250. Опредѣленіе отмѣтокъ точекъ земной поверхности помощью тахеографометра 378
251. Употребленіе тахеографометра Вагнера. Повѣрка тахеографометра . . . 380
252. Описаніе тахеометра Шарпо 385
253. Теорія тахеометра Шарпо 388

ГЛАВА XXIII.

Фотографическій планшетъ.

254. Описаніе фотографическаго планшета 390
255. Употребленіе фотографическаго планшета 392

ГЛАВА XXIV.

Объ орографѣ Шрадера.

256. Описаніе и повѣрка орографа Шрадера 394
257. Употребленіе орографа 398

ГЛАВА XXV.

Отражательные угломѣрные инструменты.

258. Общее понятіе объ отражательныхъ инструментахъ 403
259. Описаніе секстанта 403
260. Теорія секстанта 405
261. Какимъ условіямъ долженъ удовлетворять секстантъ, чтобы возможно было вѣрно измѣрять имъ углы 406
262. Какъ узнать, перпендикулярно ли подвижное зеркало секстанта къ плоскости лимба 407
263. Какъ узнать, перпендикулярно ли малое зеркало секстанта плоскости лимба и параллельно ли оно плоскости большого зеркала 408
264. Какъ опредѣлить коллимаціонную ошибку секстанта 409
265. Какъ произвести повѣрку совпаденія центра лимба съ осью вращенія алидады 411
266. Какъ произвести повѣрку параллельности плоскостей цвѣтныхъ стеколъ . 411
267. Кругъ Пистора 411
268. Измѣреніе угловъ въ плоскостяхъ наклонной и горизонтальной секстантомъ и кругомъ 413
269. Измѣреніе угловъ секстантомъ или Писторовымъ кругомъ въ отвѣсной плоскости 415
270. Двузеркальный эккеръ 417
271. Употребленіе двузеркальнаго эккера 419
272. Повѣрка двузеркальнаго эккера 420
273. Однозеркальный эккеръ 421
274. Призматическій эккеръ 422
275. Употребленіе призматическаго эккера 423
276. Двупризменный эккеръ, или призматическій крестъ, и его употребленіе . 424
277. Повѣрка однопризменнаго и двупризменнаго эккеровъ 425

ГЛАВА XXVI.

Общія начала, на которыхъ основано производство геометрическаго нивеллированія.

Стр.

278. О геометрическомъ нивеллированіи изъ середины 427
279. Нивеллированіе впередъ 432

ГЛАВА XXVII.

Простѣйшіе инструменты, служащіе для геометрическаго нивеллированія,—ватерпасы.

280. Плотничій ватерпасъ 433
281. Употребленіе ватерпаса 434
282. Повѣрка ватерпаса 436

ГЛАВА XXVIII.

О нивеллирахъ.

283. Общія понятія о нивеллирахъ 437
284. Водяной уровень 437
285. Нивеллиръ съ діоптрами 438
286. Нивеллиры съ зрительными трубами 439
287. Описаніе нивеллира, называемаго глухимъ 440
288. Нивеллиры съ перекладными трубами въ обоймицахъ и уровнями, перекладываемыми на трубѣ 444
289. Нивеллиры съ перекладными трубами въ обоймицахъ и уровнями, прикрѣпленными наглухо къ трубѣ 448
290. Нивеллиры съ перекладными трубами и уровнями, скрѣпленными съ коромысломъ 450
291. Нивеллиры съ однимъ или двумя секторами, или нивеллиръ-теодолиты . . 451
292. Общія замѣчанія о нивеллирахъ 452
293. Установка нивеллира съ зрительною трубою 453
294. Условія, которымъ долженъ удовлетворять вѣрный глухой нивеллиръ съ зрительною трубою 453
295. Какъ повѣрить въ глухомъ нивеллирѣ, перпендикулярна ли ось уровня къ оси вращенія, или какъ повѣрить мѣсто нуля уровня 455
296. Какъ узнать, параллельна ли ось уровня визирной оси въ глухомъ нивеллирѣ 455
297. Другой способъ опредѣленія величины вліянія ошибки отъ непараллельности оси уровня визирной оси въ глухомъ нивеллирѣ 457
298. Условія, какимъ долженъ удовлетворять вѣрный нивеллиръ съ перекладною зрительною трубою 459
299. Какъ повѣрить, перпендикулярна ли ось уровня нивеллира къ вертикальной оси вращенія, или какъ повѣрить мѣсто нуля уровня въ нивеллирѣ съ перекладною трубою 461
300. Какъ повѣрить, параллельна ли ось уровня производящей трубы нивеллира или производящей цапфъ трубы нивеллира, въ которомъ труба перекладывается въ обоймицахъ, или лагеряхъ 461

Стр.

301. Какъ повѣрить, совпадаетъ ли въ нивеллирѣ центръ сѣтки съ визирною линіею трубы, которая перекладывается въ лагеряхъ и въ нихъ поворачивается на 180°, или какъ вывѣрить колимаціонную ошибку въ трубѣ нивеллира съ перекладною трубою 464
302. Какъ узнать, представляетъ ли труба нивеллира конусъ или цилиндръ . 465
303. Какъ уничтожить вліяніе коничности трубы 467
304. Какъ узнать, находится ли ось уровня и ось геометрическая трубы въ одной плоскости 468
305. Общія замѣчанія о повѣркахъ глухихъ нивеллировъ и нивеллировъ съ перекладными трубами 469
306. Повѣрка нивеллиръ-теодолита 470
307. Сводъ всѣхъ повѣрокъ въ различныхъ нивеллирахъ въ одну таблицу . . 470
308. О рейкахъ, употребляемыхъ при нивеллированіи 471
309. Марки, употребляемыя при точныхъ нивеллировкахъ 474

ГЛАВА XXIX.

Производство геометрическаго нивеллированія.

310. Производство нивеллировки на короткихъ разстояніяхъ 475
311. Производство нивеллированія на большихъ протяженіяхъ 476
312. Производство нивеллировки болѣе точной 481
313. О нивеллированіи при наклонномъ визированіи 484
314. Производство точнаго нивеллированія по правиламъ, принятымъ въ нашемъ военно-топографическомъ отдѣлѣ 486
315. О вѣроятныхъ ошибкахъ въ нивеллировкахъ 491

ГЛАВА XXX.

О барометрическомъ нивеллированіи.

316. *Общее понятіе о барометрическомъ нивеллированіи* 491
317. О барометрическихъ формулахъ 493
318. Барометрическая формула Бабине 495
319. Другое выраженіе для барометрической формулы Бабине 497
320. Барометрическая формула Лапласа 498
321. Нѣкоторыя замѣчанія о ртутныхъ барометрахъ, употребляемыхъ съ цѣлью опредѣленія высотъ, и указанія, какъ пользоваться ими 500
322. Описаніе пружиннаго барометра, или анероида Ноде 505
323. Анероидъ Гютенгера 507
324. Общія замѣчанія объ анероидахъ 508
325. Правила, которымъ надо слѣдовать при употребленіи анероидовъ для нивеллированія 509
326. Производство нивеллированія анероидами 511
327. О таблицахъ, служащихъ для опредѣленія разности высотъ при барометрическомъ нивеллированіи 513

ГЛАВА XXXI.

О нивеллированіи при помощи гипсотермометровъ.

328. Опредѣленіе давленія атмосферы гипсотермометрами 520
329. Гипсотермометръ Бодэна и его употребленіе 523

ГЛАВА XXXII.

Стр.

Производство тригонометрической тріангуляціи.

330 Общія понятія о тригонометрической тріангуляціи 525
331 Чѣмъ надо руководствоваться, отступая отъ равносторонней формы треугольниковъ 528
332. Осмотръ мѣстности, предназначенной для тригонометрической тріангуляціи . 532
333. О тригонометрическихъ сигналахъ и о центрахъ 534
334. Нѣкоторыя замѣчанія объ угломѣрныхъ инструментахъ, употребляемыхъ при тріангуляціи 537
335. Какое правило надо соблюдать при измѣреніи угловъ тріангуляціи? . . . 540
336. О геліотропѣ 543
337. Приведеніе угловъ, измѣренныхъ внѣ центра сигнала, къ центру сигнала. 544
338. Нахожденіе элементовъ центрировки графическимъ путемъ 547
339. Нахожденіе элементовъ центрировки непосредственнымъ измѣреніемъ . . 549
340. Нахожденіе элементовъ центрировки помощью вспомогательныхъ измѣреній и вычисленій 550
341. Общія понятія о нормальныхъ мѣрахъ и базисныхъ приборахъ 552
342. Базисный приборъ Струве 553
343. Измѣреніе базиса приборомъ Струве 553
344. Вычисленіе длины базиса 556
345. Измѣреніе базиса при помощи бичевки 558
346. Вычисленіе базиса, измѣреннаго при помощи бичевки 560
347. Базисный приборъ Едерина 562
348. О вѣроятнѣйшихъ поправкахъ измѣренныхъ угловъ сѣти 564
349. Уравновѣшеніе наблюденій тріангуляціи 565
350. Условное уравненіе угловъ 566
351. Условное уравненіе синусовъ 566
352 Условное уравненіе боковъ 568
353. Условное уравненіе базисовъ 569
354. Общій методъ рѣшенія условныхъ уравненій тригонометрической сѣти . . 570
355. Вычисленіе сторонъ и угловъ треугольниковъ сѣти 575
356. О геодезическомъ нивеллированіи, производимомъ при тригонометрической съемкѣ 577

ГЛАВА XXXIII.

Нивеллиръ-теодолитная съемка.

357 Производство нивеллиръ-теодолитной съемки 581

ГЛАВА XXXIV.

Геометрическая тріангуляція, производимая при помощи мензульной съемки засѣчками.

358. Производство геометрической тріангуляціи, когда положеніе основныхъ пунктовъ опредѣлено 585
359. Производство геометрической тріангуляціи, когда положеніе основныхъ пунктовъ не опредѣлялось 586

Стр.

360. Какова должна быть длина базиса при мензульной съемкѣ 586
361. Предѣлы мензульной съемки съ одного базиса 587
362. Съемка подробностей при геометрической тріангуляціи 593
363. Изображеніе неровностей мѣстности горизонталями при геометрической тріангуляціи 591

ГЛАВА XXXV.

Съемка ординатами.

364. Производство съемки ординатами 596
365. Нанесеніе вершинъ магистральной линіи при съемкѣ ординатами 599

ГЛАВА XXXVI.

Съемка обходомъ.

366. Производство съемки обходомъ 601
367. Повѣрка журнала съемки обходомъ 607
368. Нанесеніе на бумагу съемки 608
369. Увязка несмыкаемости границъ при съемкѣ обходомъ 609
370. О пріемахъ, употребляемыхъ при производствѣ съемки обходомъ, необходимыхъ для того, чтобы избѣжать несмыкаемости 614
371. Съемка обходомъ при помощи эккера 616
372. Съемка обходомъ помощью мензулы 617
373. Съемка квадратами или кварталами 619
374. Глазомѣрная съемка 621

ГЛАВА XXXVII.

О тахеометрической съемкѣ.

375. Производство тахеометрической съемки 623
376. Веденіе журнала при тахеометрической съемкѣ 629
377. Нанесеніе на бумагу результатовъ съемки тахеометромъ 634

ГЛАВА XXXVIII.

Объ измѣреніи площадей участковъ, снятыхъ на планъ и объ уменьшеніи плановъ.

378. Планиметръ Амслера 638
379. Теорія планиметра Амслера 639
380. Употребленіе планиметра Амслера 646
381. Пантографъ 649

ГЛАВА XXXIX.

О разбивкѣ на земной поверхности прямыхъ и кривыхъ линій.

382. О разбивкѣ прямыхъ линій 653
383. О разбивкѣ кривыхъ по касательнымъ и бисектрисамъ 654

Стр.

384. Разбивка закругленій по координатамъ 657
385. Удобства и неудобства разбивки кривыхъ по касательнымъ и координатамъ 660
386. О таблицахъ, служащихъ для разбивки кривыхъ 660
387. Таблицы Кренке 661
388. Примѣръ разбивки закругленій по первымъ двумъ таблицамъ Кренке . . 663
389. Опредѣленіе однѣхъ величинъ, находящихся въ таблицахъ Кренке, по другимъ 665
390. Формулы, выражающія зависимость между различными величинами, служащими для разбивки кривыхъ 666
391. О разбивкѣ закругленій по хордамъ или по полярнымъ координатамъ . . 669
392. Таблицы для разбивки кривыхъ по хордамъ 671
393. О разбивкѣ закругленій по равнымъ угламъ 672
394. О разбивкѣ закругленій по координатамъ отъ хорды 673
395. О разбивкѣ закругленій по координатамъ отъ касательной и отъ хорды . 674
396. Употребленіе различныхъ способовъ разбивки закругленій 676
397. Существенный недостатокъ закругленій по дугѣ круга для желѣзныхъ дорогъ 675
398. Закругленія со вставками кубической параболы 675
399. Производство разбивки закругленія со вставкою кубической параболы . . 680
400. Выводъ формулъ, служащихъ для разбивки закругленія съ прямою вставкою между двумя непараллельными направленіями 684
401. Производство разбивки закругленія съ прямою вставкою между двумя направленіями параллельными другъ къ другу 687
402. Выводъ формулъ для разбивки закругленія съ прямою вставкою между двумя параллельными направленіями 688

ГЛАВА XL.

Объ изслѣдованіи рѣкъ, какъ путей сообщенія.

403. Цѣль изслѣдованія рѣкъ 690
404. Полевыя работы 692
405. О водомѣрныхъ постахъ 692
406. О реперахъ 700
407. Магистральная линія 701
408. О разбивкѣ и измѣреніи магистральной линіи 702
409. Съемка мѣстности, прилегающей къ берегамъ рѣки 703
410. Нивеллировка 704
411. Нивеллировка урѣзовъ воды, или горизонта воды 704
412. Нивеллировка поперѣчныхъ профилей береговъ рѣки 705
413. Профиля разлива 705
414 Производство промѣровъ глубинъ рѣки 707
415. О скоростяхъ теченія и количествѣ воды, протекающей въ рѣкѣ 712
416. Формула, служащая для опредѣленія скоростей рѣки въ зависимости отъ числа оборотовъ колеса вертушки 715
417. Опредѣленіе коэффиціентовъ вертушки 715
418. Опредѣленіе скоростей теченія и расхода воды на станціяхъ 718
419. Изслѣдованіе перекатовъ 727

Стр.

420. О приведеніи всѣхъ полевыхъ работъ къ условной поверхности, или условному горизонту 730

ГЛАВА XLI.

О геодезическихъ изысканіяхъ для сухопутныхъ путей сообщенія.

421. Общія понятія 734
422. Назначеніе направленія дороги по генеральной картѣ 735
423. Назначеніе точекъ дороги на спеціальной и топографической картахъ . . 736
424. Перечень полевыхъ геодезическихъ работъ при изысканіяхъ желѣзнодорожныхъ путей 745
425. Рекогносцировочныя изысканія 746
426. Развѣдочныя, или летучія изысканія 754
427. Предварительныя изысканія 755
428. Поперечныя изысканія 759
429. Окончательныя изысканія 760

ГЛАВА XLII.

Краткій историческій очеркъ геодезическихъ работъ въ Россіи 770

ПРИБАВЛЕНІЕ.

Таблицы элементовъ, сопрягающей кривой при скоростяхъ 35, 40 и 45 верстъ въ часъ 799
Таблица возвышеній наружнаго рельса въ кривыхъ 802
Сочиненія, бывшія въ пользованіи автора 803