С. М. Соловьевъ.

СОКРАЩЕННЫЙ КУРСЪ

Низшей Геодезіи

Часть I.

ТИПО-ЛИТОГРАФІЯ
Ю. ВЕНЕРЪ
ПРЕЕМН. О. ФАЛЬКЪ
МОСКВА, ПЕТРОВКА,
РАХМАНОВСКІЙ ПЕР.,
СОБСТВ. ТРАКТИРА. №

1909 г.

Предисловіе.

Участвуя въ прошломъ 1908 году въ преподаваніи Низшей Геодезіи лицамъ, готовящимся на должности землемѣровъ Землеустроительныхъ Комиссій, большинство которыхъ мало еще знакомо даже съ элементарной математикой въ объёмѣ гимназическаго курса, я пришелъ къ заключенію, что успѣхъ преподаванія сильно тормазится отсутствіемъ подходящаго, доступнаго пониманію учащихся, источника, что и побудило меня къ составленію настоящаго сокращеннаго курса Низшей Геодезіи.

Спѣшность составленія курса невольно породила нѣкоторыя шероховатости при изложеніи, но желаніе удовлетворить насущную потребность учащихся заставляетъ меня выпустить курсъ въ настоящемъ его видѣ.

ОПЕЧАТКИ.

Стр.	*Строка.*	*Напечатано.*	*Должно быть.*
89	6 св.	114	115.
90	21 св.	113 и 114	114 и 115.
92	13 сн.	и параллельной	и въ свою очередь параллельной.
93	12 св.	винтами V	винтами.
96	13 св.	для опредѣленія разстоянія непосредственнаго	для непосредственнаго опредѣленія разстояній.
124	19 сн.	чертежѣ 176	чертежѣ 159.
211	18 сн.	226	244.
177	23 сн.	201	218.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Введеніе.

§§ *Стр.*

1. Предметъ геодезіи, его цѣль, значеніе и названіе 1
2. Понятіе о видѣ и величинѣ земной поверхности, на которой производятся геодезическія дѣйствія 2
3. *Основныя точки, линіи, плоскости и углы земной поверхности и небеснаго свода 3
4. Горизонтальное проложеніе 5
5. *Случай, когда можно сферическое горизонтальное проложеніе считать за плоское 6
6. Построеніе плоскаго горизонтальнаго проложенія 7
7. Относительная высота точекъ земной поверхности или разность ихъ уровней 8
8. Элементы измѣренія на земной поверхности 9
9. Съемка и ея виды 10
10. Раздѣленіе геодезіи 10
11. Планъ, карта и профиль 10
12. Накладка плановъ. Инструменты и ихъ раздѣленіе 11
13. Единицы мѣры линій, площадей и угловъ 12

ГЛАВА I.

Обозначеніе точекъ на земной поверхности и измѣреніе линій на мѣстности.

14. Вѣхи 14
15. Вѣшеніе линіи 14
16. Простѣйшіе 2 случая вѣшенія линій. Пересѣченіе двухъ прямыхъ. Вѣшеніе черезъ мѣстное препятствіе . . . . . 15—17
17. Вѣшеніе линіи съ недоступными концами 19
18. Вѣшеніе черезъ гору тремя вѣхами 19
19. Вѣшеніе линіи черезъ оврагъ 20
20. Непосредственное измѣреніе длинъ линій на мѣстности. Мѣрные брусья 22
21. Мѣрная стальная лента 23
22. Мѣрная цѣпь 24
23. Принадлежности ленты 24
24. Повѣрка длины ленты и мѣрныхъ брусьевъ 25
25. Употребленіе ленты (цѣпи) и мѣрныхъ брусьевъ 26
26. Введеніе поправки за невѣрность длины мѣрнаго снаряда, напр., ленты 28
27. Исправительные приборы или хранители цѣпи 29
28. Мѣрная тесьма (рулетка) 30
29. Мѣрный шнуръ 30
30. Поправка за наклонъ линіи 30
Таблица поправокъ 32
31. Эклиметръ 33
32. Употребленіе эклиметра 33
33. Повѣрка эклиметра 34
34. Непосредственное измѣреніе горизонтальныхъ проложеній . 35
35. Точность измѣренія линій 37
36. Измѣреніе линій шагами 38

ГЛАВА II.

Построеніе отрѣзковъ прямыхъ линій на бумагѣ въ заданномъ уменьшеніи.

§§ *Стр.*

37. Основные пріемы построенія прямыхъ линій на бумагѣ и общее понятіе о составленіи плановъ 39
38. Линейка и треугольникъ 39
39. Циркуль 41
40. Масштабъ. Численный масштабъ 42
41. Линейный масштабъ. Переходъ отъ численнаго масштаба къ линейному и обратно: отъ линейнаго къ численному . . . 43
42. Поперечный линейный масштабъ, его теорія 45
43. Точность поперечнаго масштаба 46
44. Переходъ отъ одного масшт. къ другому, имѣющемуся на лицо 47
45. Пріемъ раздѣленія основанія масшт. на заданное число частей 48
46. Повѣрка изготовленнаго поперечнаго линейнаго масштаба . . 49

ГЛАВА III.

Съемка экеромъ и построеніе на бумагѣ кривыхъ и ломанныхъ линій.

47. Съемка кривыхъ линій и понятіе объ экерѣ. Абрисъ 50
48. Простѣйшіе экеры и ихъ устройство. Діоптры 50
49. Повѣрка простыхъ экеровъ 52
50. Употребленіе простыхъ экеровъ 54
51. Употребленіе невѣрнаго экера 55
52. Отражательные экеры. Двузеркальный экеръ 56
53. Сравненіе достоинствъ различныхъ экеровъ 59
54. Значеніе экера при съемкахъ. Задачи 59
55. Съемка экеромъ ломанныхъ линій 61

ГЛАВА IV.

Угломѣрные инструменты, ихъ составныя части и принадлежности. Съемка угломѣрными инструментами.

56. Раздѣленіе инструментовъ для опредѣленія угловъ на три вида 65
57. Углы, измѣряемые въ геодезіи 65
58. *А.* Лимбъ и алидада 65
59. *Б.* Діоптры 66
60. Старшная астролябія или графометръ 67
61. *В.* Алидадный кругъ и мѣсто индекса 67
62. *В.* Подставка лимба 68
63. *Г.* Штативы. Штативъ съ цапфою 68
64. Ориентированіе линій мѣстности. Понятіе объ азимутѣ . . . 69
65. Понятіе о румбахъ 70
66. Соотношеніе между азимутами и румбами 70
67. Буссоль съ діоптрами 71
68. Магнитная стрѣлка 72
69. Магнитные азимуты и румбы 74
70. Чтеніе азимута по буссоли 76
71. Чтеніе румбовъ данныхъ направленій по буссоли 76
72. Переводъ магнитныхъ румбовъ на истинные 77
73. Повѣрки буссоли съ діоптрами 77
74. Астролябія 81
75. Употребленіе астролябіи 84
76. Д. Верньеръ 84
77. Употребленіе верньера 85
78. Поднесь верньера 87
79. Е. Отвѣсъ 88
80. *Д.* Уровни. Два вида уровней 88
81. Математическая форма внутренней поверхности цилиндрическаго уровня 89

§§ Стр.
82. Ось цилиндрическаго уровня . . . 89
83. Внутренняя поверхность круглаго уровня . . . 89
84. Признакъ горизонтальности (вертикальности) оси цилиндрическаго (круглаго) уровня . . . 90
85. Оправа уровня . . . 90
86. Повѣрка уровня . . . 91
87. Чувствительность уровня . . . 93
88. Недостатки астролябіи на баксѣ . . . 94
89. Теодолитъ . . . 95
90. Раздѣленіе теодолитовъ на простые и повторительные . . . 96
91. Составныя части теодолита . . . 96
92. Отдѣльные виды теодолитовъ. Малый (простой) теодолитъ нѣмецкаго механика Бамберга . . . 96
93. Малый (простой) теодолитъ русскаго механика Герляха . . . 100
94. Недостатки діоптровъ. Зрительныя трубы геодезическихъ инструментовъ, ихъ устройство . . . 102
95. Сѣтка нитей трубы и визирная ось трубы . . . 105
96. *Увеличеніе трубы . . . 107
97. Пріемы нахожденія увеличенія трубы . . . 108
98. *Поле зрѣнія. Діафрагма . . . 110
99. *Яркость трубы . . . 111
100. *Сферическая и хроматическая аберрація . . . 111
101. Сложные окуляры . . . 112
102. Установка трубы для наблюденія . . . 113
103. Простой микроскопъ или луна . . . 114
104. Испытаніе трубы . . . 115
105. Окулярная призма . . . 117
106. Дальномѣры, общее понятіе . . . 117
107. Общая идея дальномѣра съ постояннымъ угломъ. Устройство дальномѣра съ постояннымъ угломъ. Дальномѣръ Эртеля . 118
108. Рейка, употребляющаяся при дальномѣрахъ . . . 120
109. Теорія дальномѣра Рейхенбаха . . . 120
110. Опредѣленіе постоянныхъ величинъ k и c дальномѣра съ постояннымъ угломъ . . . 122
111. Заготовка рейки къ дальномѣру съ постоянными нитями . . 123
112. Установка подвижныхъ дальномѣрныхъ нитей по рейкѣ . . . 124
113. Употребленіе дальномѣра . . . 125
114. Опредѣленіе горизонтальныхъ проложеній наклонныхъ разстояній дальномѣромъ съ постояннымъ угломъ . . . 126
115. Повѣрка астролябіи съ діоптрами . . . 127
116. Повѣрки малыхъ теодолитовъ . . . 128
117. Повѣрка дѣленій лимба . . . 129
118. Вѣрность дѣленій верньера . . . 129
119. Вицентренность алидады . . . 130
120. Повѣрка перпендикулярности оси цилиндрическаго уровня . 131
Приведеніе лимба въ горизонтальное положеніе . . . 132
121. Коллимаціонная ошибка трубы и ея исправленіе . . . 132
122. Повѣрка параллельности горизонтальной оси вращенія зрительной трубы плоскости лимба . . . 135
123. Измѣреніе горизонтальныхъ проложеній угловъ простымъ теодолитомъ . . . 137
Геодезическій журналъ . . . 138
124. Повторительные и осложненные по устройству теодолиты . 139
125. Повѣрки повторительнаго и осложненныхъ по устройству теодолитовъ. Повѣрка уровня, посаженнаго на горизонтальную ось вращенія трубы . . . 140
126. Повѣрка совпаденія вертикальныхъ осей повторительнаго теодолита . . . 143
127. Измѣреніе угловъ повторительнымъ теодолитомъ. Непосредственное чтеніе величины угла по лимбу . . . 143
128. Назначеніе вертикальнаго круга и сектора въ теодолитѣ . . 144
129. Теодолиты съ буссолью . . . 148
Типъ теодолита, принятаго въ Межевомъ Вѣдомствѣ . . . 149
130. Повѣрки буссоли у теодолита . . . 153

§§ Стр.
131. Соотношеніе между румбическими и астролябическими углами 154
132. Чтеніе азимута по лимбу угломѣрнаго инструмента 155
133. Буссольная съемка 156

Горизонтальная съемка угломѣрнымъ инструментомъ.

134. Четыре основныхъ способа съемки 158
135. Способъ обхода 159
Съемка короткихъ линій границы участка 160
Повѣрочныя діагонали 161
Абрисная книжка . . . . . 163—165
136. Полярный способъ съемки 166
137. Способъ засѣчекъ. Засѣчка впередъ и обратная засѣчка . . 166
138. Способъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху 167
139. Обходъ границъ участка угломѣрнымъ инструментомъ съ буссолью 167
140. Опредѣленіе склоненія магнитной стрѣлки 169
141. О съемкѣ контуровъ въ общей связи 171
142. Вычисленіе азимутовъ полигона 173

ГЛАВА V.

Составленіе плана горизонтальной съемки и вычисленіе площадей.

143. Основные пріемы построенія угловъ на бумагѣ 174
144. Транспортиръ, его устройство и повѣрка 174
145. Употребленіе транспортира. Накладка по румбамъ 175
146. Повѣрка суммы измѣренныхъ угловъ полигона 177
147. Числовой примѣръ 179
148. Накладка фигуры транспортиромъ 182
149. Преимущество накладки по румбамъ 184
150. Обнаруженіе угла и линіи, въ которыхъ сдѣлана грубая ошибка 185
151. Увязка наложенной транспортиромъ фигуры 186
152. Накладка внутренней ситуаціи 188
153. Условные знаки на планахъ и картахъ 191

Вичисленіе площадей.

154. Три способа вычисленія площадей 193
155. Графическій способъ 193
Аграметръ Бибикова 195
Арфа и формула Симпсона 197
165. Вычисленіе площадей фигуръ по плану планиметрами. 198
157. Полярный планиметръ Амслера 198
158. Опредѣленіе постояннаго числа планиметра Амслера. 203
159. Усовершенствованные планиметры Амслера системы Коради . 203
160. Преобразованія формулъ $\Pi = RU + Q$ и $\Pi_1 = RU_1$ для употребленія планиметра Амслера 207
161. Геометрическое значеніе цѣны одного дѣленія планиметра. Абсолютная и относительная цѣна одного дѣленія планиметра и ихъ измѣненіе. Измѣненіе длины рычага R съ измѣненіемъ масштаба плана. 208
162. Употребленіе полярнаго планиметра и уходъ за нимъ. 211
163. Вычисленіе площадей внутреннихъ контуровъ. 215
164. Вычисленіе координатъ вершинъ полигона. 217
165. Невязка въ координатахъ 222
166. Уничтоженіе невязки въ координатахъ 224
Числовой примѣръ вычисленія координатъ 225
Контроль вычисленія приращеній координатъ 229
167. Накладка плана по координатамъ 229
168. Преимущества накладки полигона по координатамъ. 233
169. Вычисленіе площади полигона по координатамъ его вершинъ. 235

ВВЕДЕНІЕ.

§ 1. Предметъ геодезіи, его цѣль, значеніе и названіе. *Геодезія* относится къ числу прикладныхъ математическихъ наукъ и занимается измѣреніями на земной поверхности. Эти измѣренія имѣютъ цѣлью опредѣлить видъ и размѣры того участка земли, на которомъ они произведены, а иногда даютъ средства вычислить размѣры и опредѣлить видъ *всей земной поверхности*. Къ предмету геодезіи относится также изображеніе земной поверхности какъ по частямъ, такъ и въ цѣломъ.

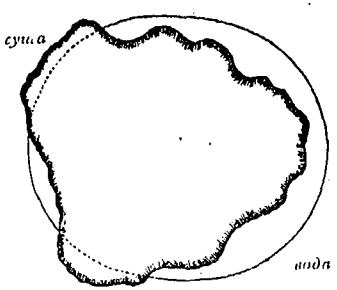
Въ жизни не только землемѣра-спеціалиста, но и каждаго техника-строителя геодезія имѣетъ большое значеніе, ему необходимо приходится сталкиваться съ рѣшеніемъ геодезическихъ задачъ. Дѣйствительно, передъ составленіемъ проекта какого-либо сооруженія или зданія,—всегда является надобность ознакомиться съ размѣрами и характеромъ поверхности того участка мѣстности, на которомъ въ будущемъ долженъ осуществиться проектъ. Опредѣлить же размѣры и характеръ поверхности земного участка—значитъ измѣрить его, поэтому-то геодезію и называютъ иногда *практическою геометріею,* что вполнѣ согласно съ основной ея задачей объ измѣреніяхъ на земной поверхности. Слово „геометрія" въ переводѣ съ греческаго означаетъ „землеизмѣреніе". Практическая геометрія, по свидѣтельству историковъ, получила свое начало въ Египтѣ и возникла при встрѣтившейся надобности раздѣлить египетскую землю на равные участки. Искусство землераздѣленія было перенесено изъ Египта въ Грецію, гдѣ и получило названіе геодезіи. Слово „геодезія" значитъ въ переводѣ на русскій языкъ „землераздѣленіе". Названіе „геодезія" или „топографія", что въ переводѣ означаетъ „землеизображеніе" или „землеописаніе", удержано и на русскомъ языкѣ для обозначенія практической геометріи.

Итакъ, геодезія имѣетъ своимъ предметомъ измѣренія. Измѣрить же значитъ найти отношеніе между неизвѣстной

величиной и однородной съ нею, принятой за единицу. Отношеніе это, выраженное числомъ, называется *результатомъ измѣренія*, напр., результатъ измѣренія линіи будетъ ея длина [1]).

Измѣреніе называется *непосредственнымъ*, когда результатъ его получается черезъ непосредственное сравненіе или наложеніе на измѣряемую величину единицы мѣры, и—*посредственнымъ*, когда результатъ получается помощью математической комбинаціи неизвѣстной величины съ другими извѣстными величинами; напр., опредѣленіе величины угла или стороны треугольника помощью трехъ данныхъ его элементовъ посредствомъ вычисленій, или при помощи построеній, будетъ посредственнымъ измѣреніемъ. Такъ какъ результатъ измѣренія можетъ выражаться числомъ несоизмѣримымъ, то на практикѣ приходится довольствоваться *приближеннымъ* результатомъ, содержащимъ *неизбѣжную* для практики и малоуловимую *погрѣшность*.

§ 2. Понятіе о видѣ и величинѣ земной поверхности, на которой производятся геодезическія дѣйствія. Первыя свѣдѣнія о фигурѣ земли мы получаемъ на урокахъ географіи, затѣмъ болѣе подробныя при изученіи космографіи. Исторія намъ отмѣчаетъ, что трудно установить, кто первый обратилъ вниманіе на *общую* кривизну земной поверхности, въ большей своей части состоящей изъ воды и лишь на $^1/_4$ покрытой сушей (черт. 1) [2]). Эта кривизна, такъ легко наблюдаемая на уровнѣ моря по удаляющимся и приближающимся предметамъ, не могла долго оставаться незамѣченною. Обыкновенно принимаютъ, что Пиѳагоръ [3]) былъ первый, который въ этомъ убѣдился и отсюда заключилъ, что земля есть шаръ. Первый, давшій размѣры земного шара, былъ Эратосѳенъ (александріецъ); въ 230 году до Р. Х. онъ далъ длину земной окружности въ 50 тысячъ стадій [4]) или около $11^1/_2$ милліоновъ метровъ. Съ тѣхъ поръ фигуру земли продолжали считать за шаръ до конца XVI столѣтія.



Черт. 1.

Открытія конца XVI и начала XVII столѣтій, связанныя съ именами Коперника, Галилея, Гюйгенса, Ньютона, Тихо-де-Браге и друг. не могли остаться безъ вліянія и на вопросъ о фигурѣ земли. Высказанное Ньютономъ пред-

---

[1]) Практики вмѣсто „длина линіи" говорятъ „мѣра линіи".

[2]) Въ 510 милліонахъ кв. километровъ всей земной поверхности заключается всего 136 милліоновъ кв. километровъ суши. Километръ около 0,9 версты.

[3]) Есть также предположеніе, что Ѳилолай—ученикъ Пиѳагора.

[4]) Стадія равна почти 185 метрамъ.

положеніе о томъ, что земля должна имѣть видъ эллипсоида вращенія или сфероида [1]) было подтверждено въ 1734—1741 годахъ двумя большими градусными измѣреніями дугъ земныхъ меридіановъ: Лапландскимъ у сѣвернаго полюса и Перуанскимъ у экватора [2]).

Чтобы дать нѣкоторое понятіе объ общей формѣ и размѣрахъ земного сфероида, возьмемъ (черт. 2) эллипсисъ $QPQ'P'$ съ большою осью $QQ' = 2a$ и малою $PP' = 2b$, и положимъ, что эллипсисъ вращается около малой оси PP', тогда получимъ тѣло вращенія, которое и назовемъ *сфероидомъ* въ отличіе отъ эллипсоида, могущаго получиться отъ вращенія эллипсиса около большой оси его QQ'. По вычисленіямъ Бесселя въ 1841 году оказалось

$$a = 6377397 \text{ mtr.}$$
$$b = 6356079 \text{ mtr.}$$

въ русскихъ мѣрахъ приблизительно:

$$a = 2989000 \text{ саж.}$$
$$b = 2979000 \text{ саж.}$$

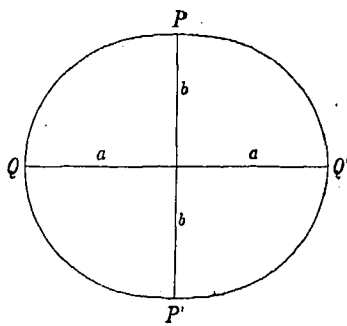
разность ихъ:

$$a - b = 10.000 \text{ саж.} = 20 \text{ верстъ},$$

что примѣрно составитъ $\frac{1}{300}$ долю отъ большой полуоси a, т. е. даетъ

$$a - b = \frac{1}{300}\, a$$

Отношеніе $\mu = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{300}$ называется *сжатіемъ* (у полюсовъ) земли.



Черт. 2.

Незначительность сжатія $\mu = 0{,}003$ *позволяетъ во многихъ случаяхъ принимать землю за шаръ.*

Шаръ, равновеликій земному сфероиду, имѣетъ радіусъ около 6000 верстъ, а именно круглымъ цѣлымъ числомъ—5972 версты.

§ 3. Основныя точки, линіи, плоскости и углы земной поверхности и небеснаго свода. Ось вращенія PP' земного сфероида называютъ *осью земли*, концы ея P и P' *полюсами*. Эллипсы, плоскости которыхъ проходятъ черезъ ось земли, носятъ названіе *меридіановъ*. Окружности круговъ, образуемыхъ сѣченіями сфероида плоскостями, перпендикулярными къ оси вращенія сфероида, называютъ параллельными кругами или короче *параллелями*. Параллель круга, проходящаго черезъ центръ земли, т. е. равноотстоящая отъ обоихъ полюсовъ, называется *экваторомъ*. Одна девяностая доля длины четверти земного меридіана называется *градусомъ эллиптическимъ*.

Линія, по направленію которой дѣйствуетъ сила тяжести, называется *отвѣсною* или *вертикальною* линіей. Направленіе этой линіи дается *отвѣсомъ* (черт. 3) послѣ укрѣпленія въ неподвижной точкѣ одного конца нити, имѣющей на другомъ (нижнемъ) своемъ концѣ — грузъ.

Плоскость, проходящая черезъ отвѣсную линію, называется *отвѣсною* или *вертикальною*. Плоскость, перпендикулярная къ отвѣсной линіи, носитъ названіе *горизонтальной* плоскости.

Упомянутый выше сфероидъ вращенія (черт. 2) есть та поверхность, которую имѣла бы земля, если бы она повсюду была покрыта

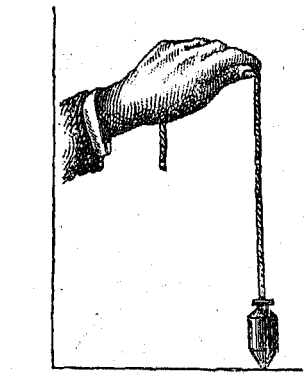
---

[1]) Напоминающаго приплюснутый у полюсовъ шаръ.

[2]) См. историческій обзоръ градусныхъ измѣреній въ „Handbuch der Vermessungskunde" von Dr. W. Iordan, пер. А. Викъ. Москва, 1881 г.

водой (или жидкостью), находящеюся въ равновѣсіи. Въ каждой своей точкѣ поверхность океана перпендикулярна къ отвѣсной линіи; ее считаютъ горизонтальною поверхностью, близко подходящею къ поверхности сфероида.

Геометрическою нормалью какой-либо точки земной поверхности называется линія, перпендикулярная къ касательной линіи меридіана, проходящей черезъ эту точку; эта прямая для сфероида вообще не проходитъ черезъ центръ земли.



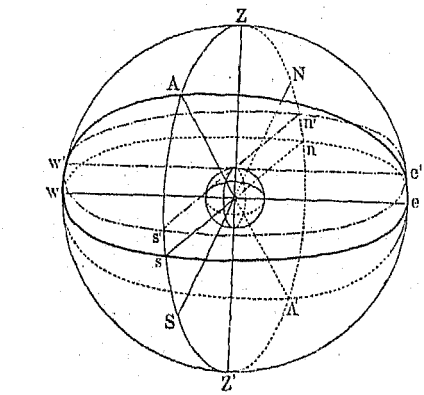
черт. 3.

Географическою *широтою* точки земной поверхности называется уголъ $\varphi < 90^0$, составляемый нормалью съ плоскостью экватора.

Уголъ между меридіаномъ данной точки и меридіаномъ, условно принятымъ за первый, называется *долготою* λ этой точки.

Географическая широта φ и долгота λ опредѣляютъ положеніе данной точки на земной поверхности и называются *географическими координатами* данной точки.

Поверхность шара, описанную произвольно большимъ радіусомъ, на которую мысленно переносятъ всѣ небесныя свѣтила и происходящее видимое ихъ движеніе, называютъ небеснымъ сводомъ или *небесною сферою*. Продолженную земную ось принято называть *осью міра*, а точки N и S (черт. 4) пересѣченія ея съ небесною сферою—сѣвернымъ и южнымъ *полюсами міра*. Въ Европѣ виденъ сѣверный полюсъ, его мѣсто опредѣляется послѣднею свѣтлою звѣздою въ хвостѣ созвѣздія *малой медвѣдицы* (polaris, α ursae minoris), отъ которой онъ находится въ разстояніи $1^1|_2{}^0$. Большой кругъ, сливающійся съ плоскостью земного экватора, носитъ названіе *небеснаго экватора*.



Черт. 4.

Отвѣсная линія данной точки земной поверхности при своемъ продолженіи пересѣкаетъ небесный сводъ въ двухъ точкахъ Z и Z'. Первая изъ нихъ, приходящаяся надъ головой наблюдателя называется *зенитомъ* даннаго мѣста. Діаметрально противоположная ей точка Z' называется *надиромъ*. Плоскость большого круга *sww*, перпендикулярная къ отвѣсной линіи, называется *истиннымъ астрономическимъ горизонтомъ*. Она проходитъ черезъ центръ земли.

Плоскость круга $s'w'n'e'$, параллельная истинному горизонту и содержащая данную точку на земной поверхности, называется *видимымъ горизонтомъ*. Въ геодезіи подъ словомъ *истинный горизонтъ* понимаютъ нерѣдко продолженную поверхность уровня океана, проходящую черезъ данную точку.

Всѣ большіе круги небесной сферы, проходящіе черезъ зенитъ, принято называть *вертикальными* кругами или просто *вертикалами*. Вертикальная плоскость, раздѣляющая *суточный путь* всякой звѣзды на двѣ совершенно симметричныя части, называется *меридіаномъ*, линія пересѣченія ея съ горизонтомъ называется *меридіанною* или *полуденною* (потому что въ полдень вертикальный шестъ даетъ на горизонтальной плоскости тѣнь по ея направленію). Продолженная пло-

скость земного меридіана сливается на небесной сферѣ съ большимъ кругомъ $ZAS...$, который и есть *нѣбесный меридіанъ*, проходящій черезъ зенитъ Z и полюсы N и S. Вертикалъ $ZeZ'w$, перпендикулярный къ меридіану, называется *первымъ вертикаломъ*.

Пересѣченіе истиннаго горизонта съ меридіаномъ опредѣляетъ точки сѣвера и юга (n, s), а съ первымъ вертикаломъ — точки запада и востока (w, e). Направленія линій сѣверъ-югъ и востокъ-западъ получаются также отъ пересѣченія видимаго горизонта съ плоскостями меридіана и перваго вертикала.

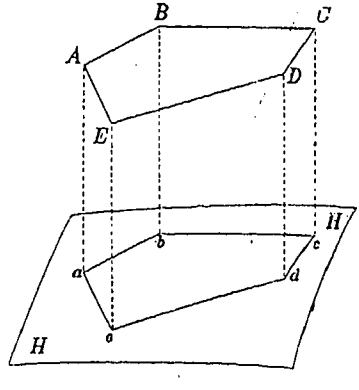
Уголъ между двумя вертикалами, разсматриваемый и измѣряемый въ плоскости горизонта, называютъ *горизонтальнымъ* угломъ. Уголъ между вертикаломъ и меридіаномъ называютъ *азимутомъ* этого вертикала. Азимуты считаются отъ сѣвера черезъ востокъ и югъ къ западу (или отъ юга черезъ западъ и сѣверъ къ востоку). Дуга Nn большого круга, равная AZ, географической широтѣ даннаго мѣста на земной поверхности, называется истинною высотою полюса. Дуга большого круга, дополняющая истинную высоту (надъ горизонтомъ) какого-либо свѣтила до 90°, называется истиннымъ *зенитнымъ разстояніемъ* свѣтила.

Для цѣлей практики вполнѣ достаточны видимое зенитное разстояніе свѣтила ξ, а также видимая его высота h, дополняющія другъ друга до 90° ($\xi = 60^0 - h$); они образуются: первое—отвѣсною линіей и направленіемъ на свѣтило и вторая — тѣмъ же направленіемъ съ плоскостью видимаго горизонта.

Истинное и видимое зенитныя разстоянія различаются другъ отъ друга на такъ называемый суточный *параллаксъ*, т. е. на тотъ уголъ, подъ которымъ виденъ радіусъ земли со свѣтила. Параллаксъ есть слѣдствіе несовпаденія мѣста наблюденія съ центромъ земли.

§ 4. Горизонтальное проложеніе. Хотя *въ общемъ* земную поверхность и можно считать за поверхность шара или сфероида, но отдѣльные участки на земной поверхности уклоняются отъ этой поверхности въ большей или меньшей степени, представляя собою цѣлую совокупность поверхностей, образующихъ горы, долины, рѣки и т. п.

Если бы понадобилось изобразить поверхность земного участка въ подобномъ и уменьшенномъ видѣ на плоскости, напр., на бумагѣ, то встрѣтилось бы затрудненіе, такъ какъ только коническія и цилиндрическія поверхности, притомъ каждая въ отдѣльности, а не въ любой ихъ комбинаціи, могутъ быть развернуты на плоскости. Такимъ образомъ, *вслѣдствіе неровностей земной поверхности, нельзя на плоскости изобразить фигуру, находящуюся на мѣстности, въ подобномъ и уменьшенномъ видѣ.* Для изображенія ея на бумагѣ прибѣгаютъ къ слѣдующему искусственному пріему: вообразимъ себѣ подъ поверхностью земного участка $ABCDEA$ (черт. 5), продолженную поверхность моря или вообще поверхность HH воды какого-либо водохранилища, находящейся въ равновѣсіи, иначе говоря, вообразимъ себѣ

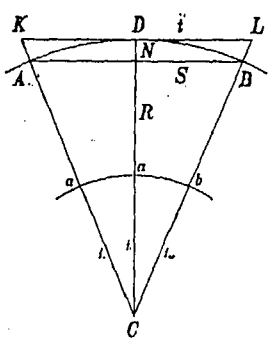


Черт. 5.

подъ нашимъ участкомъ *горизонтальную поверхность* и примемъ для простоты разсужденій границу участка прямолинейною, а землю—за шаръ. Затѣмъ изъ каждой точки контура [1]) нашего участка *ABCDE* вообразимъ отвѣсныя линіи, пересѣкающія горизонтальную поверхность *HH* въ точкахъ *a*, *b*, *c*, *d*, *e* или, что то же самое, вообразимъ черезъ каждую прямую ломаннаго, не лежащаго на земной поверхности въ одной плоскости, контура *ABCDE* отвѣсныя плоскости; эти отвѣсныя плоскости вырѣжутъ на горизонтальной сферической поверхности *HH* фигуру *abcdea*, которую принято называть *сферическимъ горизонтальнымъ проложеніемъ* контура мѣстности или *горизонтальною его проекціей*.

При незначительныхъ размѣрахъ участка на мѣстности горизонтальное его проложеніе будетъ имѣть незначительную кривизну. Въ тѣхъ случаяхъ, когда этою кривизною поверхности *H* можно пренебречь и, слѣдовательно, принять её за плоскость, а горизонтальное проложеніе—за плоское, горизонтальное проложеніе легко построить на бумагѣ въ подобномъ и уменьшенномъ видѣ. Такое изображеніе проекціи участка мѣстности на горизонтальную плоскость называется *планомъ*.

§ 5. **Случай, когда можно сферическое горизонтальное проложеніе считать за плоское.** Пусть *D* (черт. 6) середина горизонтальнаго сферическаго проложенія участка мѣстности и *ADB* есть дуга круга, получающаяся отъ сѣченія его отвѣсною плоскостью *ACB* въ точкѣ *D*. Для простоты разсужденій допустимъ, что сферическое горизонтальное проложеніе имѣетъ видъ сферическаго сегмента *ADB*, получающагося отъ вращенія дуги *AB* около оси *DC*, проходящей черезъ середину *D* дуги *AB* и центръ *C* земли. Пусть *KDL*—касательная линія къ дугѣ *ADB*, образующая при вращеніи касательный кругъ въ точкѣ *D* къ сферическому сегменту. Прямая *AB* — хорда, дающая при вращеніи также площадь круга. Установить *въ числахъ* какова должна быть длина дуги *AB* для того, чтобы поверхность сегмента можно было *безъ чувствительной погрѣшности* принять за плоскость того или другого круга или, что то же самое, когда дугу *AB* можно принять за прямую, очевидно равносильно этотъ вопросъ свести къ опредѣленію въ числахъ разности между поверхностью *P* сферическаго сегмента и площадью *O* круга, напримѣръ, радіуса *NB*, или длиною касательной и дугою, или длиною дуги и ея хордой.



Черт. 6.

Если наложить условіе на разность *x* между поверхностью сферическаго сегмента и площадью круга, что она не должна превышать 1 □ саж., то длина дуги *AB* окажется изъ вычисленій равно 6,6 версты [2]).

Изъ того же понятія о разности *x* (или погрѣшности), которую

[1]) Контуромъ будемъ называть непрерывную линію, составляющую границу участка.

[2]) См. полный „Курсъ Низшей Геодезіи" С. М. Соловьева.

можно допустить между касательною KL и длиною дуги AB, или длиной дуги AB и хордой AB, можно вывести длину дуги AB. Дѣйствительно, пользуясь плоской тригонометріею можно показать, что при z, напр. = 0,01 сажени [1]), получаемъ длину дугъ $AB = d = 20$ вер. = = 10000 саж.

$$\text{и } \frac{z}{d} < \frac{1}{1000000}.$$

Стремленіе сдѣлать разность x или z возможно меньшей приводитъ къ меньшей длинѣ d дуги AB или иначе вопросъ о томъ,— какое сферическое горизонтальное проложеніе можно засчитать за плоское, равносиленъ вопросу,—какую ошибку мы желаемъ допустить отъ замѣны длины дуги длиною хорды или отъ замѣны поверхности сегмента площадью круга.

§ **6. Построеніе плоскаго горизонтальнаго проложенія.** Контуры земной поверхности проектируются на горизонтальную, а не на иную какую-либо поверхность, потому что общій видъ земли, какъ мы видѣли, близко подходитъ къ горизонтальной поверхности и, слѣдовательно, въ площади участка при такомъ проектированіи произойдетъ наименьшее искаженіе (измѣненіе).

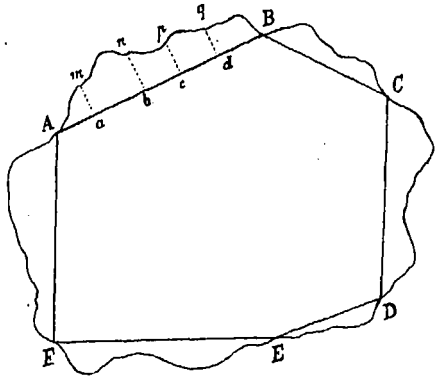
Изъ предыдущаго (см. § 4) легко было усмотрѣть, какимъ путемъ можно получить *плоское горизонтальное проложеніе участка мѣстности*. Дѣйствительно, для составленія его достаточно поверхность HH (черт. 5) считать за плоскость; тогда дуги *ab*, *bc*... будутъ прямыми линіями и *abcdea* будетъ плоскимъ горизонтальнымъ проложеніемъ участка $ABCDEA$.

Составными элементами горизонтальнаго проложенія контура участка мѣстности служатъ:

1) горизонтальныя проложенія длинъ линій мѣстности и

2) горизонтальныя проложенія угловъ поворотовъ линій на мѣстности, т. е. образуемыхъ отрѣзками прямыхъ на мѣстности.

Для построенія горизонтальнаго проложенія криволинейнаго контура $ABCDEFA$ (черт. 7) мѣстности достаточно вписать (или описать) въ данный криволинейный контуръ прямолинейный многоугольникъ $ABCDEFA$ и получить его горизонтальное проложеніе, а затѣмъ каждую изъ кривыхъ AB, BC..... FA разбить на такія части, которыя можно безъ чувствительной погрѣшности

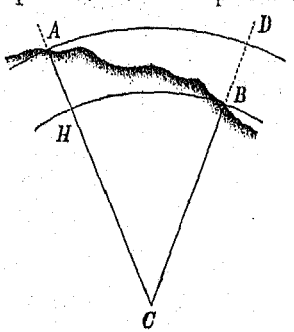


Черт. 7.

[1]) 0,01 саж. есть $\frac{1}{10}$ отъ наименьшаго дѣленія стальной ленты, т. е. той величины, которая оцѣнивается на глазъ при измѣреніи линій стальной лентой.

считать за прямыя линіи, какъ, напримѣръ, для кривой AB части: Am, mn, np, pq и qB. При измѣреніи на мѣстности длины линіи AB опускаютъ перпендикуляры ma, nb, pc, qd и опредѣляютъ горизонтальныя проложенія абсциссъ Aa, Ab...., Ad, AB и ординатъ ma, nb, pc и qd. Поступая подобнымъ же образомъ съ каждой изъ кривыхъ BC, CD...,FA, наносятъ на бумагу по абсциссамъ и ординатамъ отдѣльныя точки криволинейнаго контура, соединяя которыя непрерывною линіей *въ той же послѣдовательности, въ которой онѣ находятся на мѣстности*, получаютъ горизонтальное проложеніе криволинейнаго контура.

§ 7. Относительная высота точекъ земной поверхности или разность ихъ уровней. Одно горизонтальное проложеніе не даетъ *полнаго* понятія о взаимномъ расположеніи точекъ земной поверхности или, какъ говорятъ, о характерѣ мѣстности, на которой расположенъ обмѣряемый участокъ: изъ изображенія одного горизонтальнаго проложенія не видно еще лежитъ ли участокъ въ лощинѣ или на горѣ, гдѣ самое высокое и гдѣ самое низкое мѣсто на поверхности участка, т.-е. горизонтальное проложеніе хотя и *необходимо*, но *недостаточно* для полнаго опредѣленія относительнаго положенія точекъ земной поверхности. Поэтому, кромѣ горизонтальнаго проложенія необходимо еще знать, насколько одна точка мѣстности лежитъ выше или ниже сосѣднихъ съ нею,—другими словами, нужно знать относительныя высоты точекъ мѣстности. *Относительною высотою* двухъ точекъ мѣстности будемъ называть превышеніе или пониженіе одной изъ нихъ надъ горизонтальной поверхностью, проходящей черезъ другую точку. Если A и B (черт. 8) двѣ точки земной поверхности, то разстояніе $AH = DB$, считаемое по вертикальной линіи и заключающееся между двумя горизонтальными поверхностями, мысленно проведенными черезъ каждую изъ двухъ данныхъ точекъ, принято называть относительною высотою точки A надъ точкой B или *разностью ихъ уровней*. Наибольшія высоты надъ уровнемъ океана и наибольшія глубины дна океана надъ его поверхностью (см. черт. 1) достигаютъ почти $\frac{1}{800}$ доли радіуса земного шара, т.-е. около 7 вер. (См. Justus Perthes Taschen Atlas).



Черт. 8.

Если AD и BH считать за плоскости, то треугольникъ AHB даетъ:

1) $HB = AB\ Cos\ ABH$ и
2) $AH = HB\ tng\ ABH$,

т.-е. даетъ: 1) проекцію разстоянія AB на горизонтальную плоскость или *заложеніе* HB линіи AB и 2) проекцію того-же разстоянія AB на вертикальную плоскость или *относительную высоту* AH точки A надъ B по горизонтальному проложенію HB длины AB и *углу наклоненія* ABH линіи AB къ горизонтальной плоскости.

Посмотримъ, когда возможна замѣна дуги HB касательною въ точкѣ B къ кривой BH.

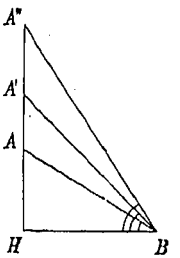
Замѣна кривой HB касательной въ точкѣ B на чертежѣ 8-мъ равносильна замѣнѣ дуги DB на чертежѣ 6-мъ касательной DL. Но такая замѣна, какъ это видно изъ § 5 и чертежа 6-го, влечетъ за собой замѣну вертикальной BC черезъ LC, т. е. къ ошибкѣ $v = LB = LC - BC$. Ошибка эта найдется, если къ касательной $DL = \frac{t}{2}$ примѣнимъ теорему о средней пропорціональной величинѣ, т. е. напишемъ ($2CB + BL$ = сѣкущая)

$$\frac{2CB + BL}{DL} = \frac{DL}{BL} \text{ или } (2R + v) \cdot v = DL^2.$$

Откуда $v = \frac{DL^2}{2R + v}$ или $v = \frac{DL^2}{2R\left(1 + \frac{v}{2R}\right)}$. Приближенно, отбрасывая въ скобкахъ членъ $\frac{v}{2R}$ по его незначительности, $v = \frac{DL^2}{2R}$, т. е. ошибка будетъ прямо пропорціональна *квадрату* разстоянія d, такъ какъ $t = d + \frac{d^3}{12R^2} = d\left(1 + \frac{d^2}{12R^2}\right)$ или приближенно $t = d$. Изъ выраженія $v = \frac{DL^2}{2R}$ слѣдуетъ, что $DL = \sqrt{2R \cdot v}$. Если $v = 0{,}001$ саж., [1]) то $DL = 75$ саж.

Такимъ образомъ при вертикальной проекціи еще скорѣе и замѣтнѣе для насъ сказывается ошибка отъ замѣны дуги линіею, касательной къ ней.

Такъ какъ разныя по длинѣ линіи AB, $A'B$, $A''B$... мѣстности (черт. 9) съ разными соотвѣтствующими имъ углами наклоненія могутъ имѣть одно и то же заложеніе HB,—то это насъ еще болѣе убѣждаетъ въ недостаточности одного горизонтальнаго проложенія для полнаго представленія объ изслѣдуемомъ нами (измѣряемомъ) участкѣ земной поверхности.



Черт. 9.

§ 8. Элементы измѣренія на земной поверхности. Изъ предыдущаго видимъ, что для *полнаго представленія* о размѣрахъ участка мѣстности и характерѣ его поверхности нужно умѣть находить въ полѣ: 1) длины линій, 2) величину угловъ наклоненія линій мѣстности къ горизонтальной плоскости, 3) горизонтальныя проложенія угловъ поворотовъ линій, т. е. угловъ между отрѣзками прямыхъ

[1]) 0.001 саж. величина, оцѣниваемая на глазъ, при отсчетахъ на рейкѣ во время вертикальной съемки (нивеллированія).

линій на данной мѣстности и 4) относительныя высоты одной точки надъ другой.

§ 9. Съемка и ея виды. Совокупность полевыхъ дѣйствій, которыя нужно произвести, чтобы получить полное представленіе объ относительномъ положеніи точекъ (а слѣдовательно и линій) мѣстности, называется *съемкой этой мѣстности*.

Съемку раздѣляютъ на два вида: *горизонтальную*, если опредѣляется относительное положеніе точекъ земной поверхности по ихъ проекціямъ въ горизонтальной плоскости и *вертикальную*, если положеніе точекъ мѣстности опредѣляется по ихъ проекціямъ въ вертикальной плоскости. Очевидно, что полное представленіе о мѣстности требуетъ одновременно какъ горизонтальной съемки, такъ и вертикальной. Поэтому нельзя ограничиваться изученіемъ одной изъ нихъ.

Съемки, смотря по цѣли, съ которой онѣ предприняты, носятъ названія кадастровыхъ, межевыхъ, военныхъ, лѣсныхъ и т. п. Главною задачею кадастровыхъ съемокъ служитъ опредѣленіе площадей и границъ контуровъ, имѣющихъ значеніе для распредѣленія поземельнаго налога; межевыя съемки занимаются преимущественно съемкою границъ отдѣльныхъ владѣній, а также административныхъ границъ (волостей, уѣздовъ, губерній); военныя съемки стремятся выразить характеръ поверхности мѣстности и называются также топографическими; онѣ отмѣчаютъ также съ большою заботою взаимное расположеніе предметовъ, имѣющихъ значеніе въ стратегическомъ отношеніи, каковы дороги, селенія, рѣки, мосты, переправы, болота, пески и т. п.; лѣсная съемка производится съ цѣлью опредѣленія границъ лѣса, густоты его насажденія, указанія породъ и возраста деревьевъ и т. п. Съемка совершается при помощи особыхъ приборовъ—такъ называемыхъ *полевыхъ* геодезическихъ инструментовъ.

§ 10. Раздѣленіе геодезіи. Та часть геодезіи, которая занимается измѣреніемъ частей земной поверхности и изображеніемъ ихъ проложеній, принимая ихъ за плоскія, называется *низшей геодезіей* или практической геометріей. Другая же часть геодезіи, содержащая въ себѣ указанія на пріемы измѣренія и изображенія большихъ частей земной поверхности, для проложеній которыхъ принимается во вниманіе *общая кривизна земли*, а также излагающая пріемы изслѣдованія общаго вида и величины земли, называется *высшей геодезіей*.

§ 11. Планъ, карта и профиль. Изображеніе горизонтальнаго проложенія участка мѣстности на бумагѣ въ уменьшенномъ и подобномъ видѣ называютъ *планомъ*, когда горизонтальное проложеніе принято за плоскость. Если же принята во вниманіе сферичность горизонтальнаго прило-

женія, то изобразить такое горизонтальное проложеніе въ подобномъ и уменьшенномъ видѣ на бумагѣ, какъ уже раньше было сказано, нельзя, и необходимо прибѣгнуть къ искусственнымъ пріемамъ изображенія. Пріемы эти должны удовлетворять *заранѣе выраженнымъ желаніямъ* или условіямъ, которыя имѣется въ виду предъявить къ изображеніямъ сферическаго проложенія. Такъ, напр., можно потребовать: 1) чтобы въ изображеніи сохранилось поверхностное содержаніе горизонтальнаго проложенія участка, и 2) чтобы углы между дугами сферическаго проложенія имѣли бы ту же самую величину и на бумагѣ, не заботясь при этомъ о поверхностномъ содержаніи и т. п. Такія изображенія на плоскости сферическаго горизонтальнаго проложенія участка мѣстности, при которомъ принята во вниманіе общая кривизна земли, называются *картами*.

Планъ можно считать результатомъ съемокъ, излагаемыхъ въ низшей геодезіи. Цѣль его составленія—дать заочно возможно полное представленіе о мѣстности, не видя ея въ натурѣ.

Разрѣзъ земной поверхности вертикальною плоскостью называется *профилемъ*. По профилю можно судить о глубинѣ долинъ и высотѣ горъ [1]).

Планъ, на которомъ показаны относительныя высоты точекъ мѣстности, называется *нивеллирнымъ* планомъ.

Планы, получающіеся какъ результаты спеціальныхъ съемокъ, носятъ различныя названія, смотря по цѣли съемки; такъ: планы бываютъ *межевые*, на которыхъ обозначены границы владѣній, *гидрографическіе*, на которыхъ особенно точно обозначены берега водъ, ихъ глубина, быстрота теченія, острова, мели, водяныя сооруженія и тому подобное.

§ 12. **Накладка плановъ. Инструменты и ихъ раздѣленіе.** Изображеніе на бумагѣ плоскаго горизонтальнаго проложенія участка мѣстности въ подобномъ и уменьшенномъ видѣ достигается рядомъ отдѣльныхъ дѣйствій, касающихся изображенія проекцій линій, а также и проекцій угловъ; совокупность этихъ дѣйствій носитъ названіе *накладки плановъ*. Накладка плановъ совершается помощью такъ называемыхъ чертежныхъ инструментовъ. Поэтому всѣ инструменты, употребляющіеся въ геодезіи, принято дѣлить на двѣ группы—*полевые* и *чертежные*.

Всѣ инструменты, сообразно съ ихъ назначеніемъ, имѣютъ особое устройство. Техникъ помимо знанія устройства инструмента долженъ умѣть произвести *повѣрку ин-*

---

[1]) Результаты съемокъ, какъ результаты измѣреній, могутъ быть выражены одними числами, какъ это, напр., принято въ географіи и статистикѣ, а также и планами или картами, составленными на основаніи числовыхъ данныхъ.

струмента, т. е. сдѣлать рядъ пріемовъ, убѣждающихъ его какъ въ томъ, что условія, вытекающія изъ назначенія инструмента, приняты механикомъ во вниманіе при его изготовленіи, такъ и въ томъ, что отдѣльныя его части могутъ быть поставлены самимъ техникомъ *передъ употребленіемъ инструмента* въ надлежащее соотвѣтствіе.

Инструментовѣдѣніе составляетъ одну изъ наиболѣе трудныхъ для усвоенія частей геодезіи. Поэтому въ послѣдующемъ устройство и повѣрки инструментовъ будутъ излагаться постепенно, въ тѣхъ же главахъ, въ которыхъ указаны будутъ пріемы съемокъ.

§ 13. Единицы мѣры линій, площадей и угловъ. Для измѣренія линій, угловъ, площадей и объемовъ при геодезической практикѣ общеприняты слѣдующія *единицы мѣры*. Основною линейною единицею мѣры въ Россіи служитъ сажень. Сажень принято дѣлить на десятыя, сотыя и иногда тысячныя ея доли. Большія протяженія измѣряютъ верстами—по 500 саженъ и милями по 7 верстъ. За единицу площади, т. е. квадратной поземельной мѣры, принята *десятина* въ 2400 квадратныхъ саженъ. За единицу объемовъ принимаютъ 1 кубическую сажень. (Въ практикѣ говорятъ: „объемъ имѣетъ, напр., 10 кубовъ“, т. е. 10 кубическихъ саженей).

Угловою единицею служитъ *прямой уголъ*, но чаще за единицу считаютъ $\frac{1}{90}$ долю прямого угла, называемую градусомъ. Углы обозначаются дугами окружностей, описанныхъ изъ вершины угла произвольнымъ радіусомъ.

Окружность дѣлятъ на 360 частей или градусовъ, градусъ—на 60 минутъ, минуту—на 60 секундъ.

Въ Европѣ общепринятою основною мѣрою служитъ метръ (1 метръ = 0,4687 саж.).

Такъ какъ метръ немного менѣе полусажени, то 1 сажень = 2,1336 метра, а верста = 1066,80 метра.

Для измѣренія большихъ разстояній, напримѣръ, между селеніями и городами за единицу считаютъ 1000 метровъ или *километръ*. Километръ = около 0,9 версты. Соотвѣтственно десятичной метрической системѣ существуетъ дѣленіе прямого угла на 100 градъ. Градъ дѣлятъ на 100 минутъ и минуту на 100 секундъ.

Поземельной мѣрой служитъ *аръ* или квадратъ со стороною въ 10 метровъ. Сто аровъ называютъ *гектаромъ*.

Длина окружности C при радіусѣ R выражается такъ:

$$C = 2\pi R, \text{ гдѣ } \pi = 3{,}14159265.$$

При радіусѣ, равномъ единицѣ, длина l одного дугового градуса будетъ:

$$arc\ 1^0 = l = \frac{C_{R=1}}{360} = \frac{2\pi}{360} = \frac{\pi}{180} = \frac{1}{57{,}3}$$

Отсюда $1 = 57{,}3.l$, т. е. радіусъ, принятый за единицу, считаютъ въ 57 дуговыхъ градусовъ.

Длина дуги въ 1 минуту будетъ:

$$arc\ 1' = \frac{\pi}{180 \times 60} = \frac{1}{3437{,}75},$$

а длина одной секунды

$$arc\ 1'' = \frac{\pi}{180 \times 60 \times 60} = \frac{1}{206264{,}8}.$$

На основаніи того, что отношеніе $\frac{arc\,x}{Sin\,x} = 1$ при x, стремящемся къ нулю, можно получить:

$$Sin\ 1' = \frac{1}{3437{,}75}\left(\text{приближенно } \frac{1}{3438}\right)$$

$$Sin\ 1'' = \frac{1}{206264{,}8}\left(\text{приближенно } \frac{1}{206265}\right)$$

Изъ вышеприведеннаго видимъ, что

$$\frac{180 \times 60'}{\pi} = 3438' = \frac{1}{Sin\ 1'},$$

$$\frac{180 \times 60 \times 60}{\pi} = 206265'' = \frac{1}{Sin\,1''}.$$

Съ помощью постояннаго $\rho = \frac{1}{Sin\,1''}$ дѣлается переходъ отъ линейной мѣры дуги къ градусной.

Если l линейнымъ единицамъ дуги соотвѣтствуетъ K'', то существуетъ пропорція:

$$\frac{l}{K} = \frac{\pi R}{180 \times 60 \times 60}.$$

Откуда $K'' = \frac{l}{R} \times \frac{180 \times 60 \times 60}{\pi}$ или $K'' = \frac{l}{R} \times \rho''$.

Обратно $l = R \times \frac{K''}{\rho''}$.

Изъ нея же слѣдуетъ, что при $R = 1$.

$$\frac{K}{l} = \rho'' = \frac{1}{Sin\,1''}, \text{ или } K = l \,.\, \rho'' \text{ и } = K \,.\, Sin\ 1'',$$

а слѣдовательно, *для перехода отъ линейной мѣры дуги къ градусной— достаточно линейную мѣру умножить на постоянное* ρ *(или раздѣлить на* $Sin\ 1''$*).*

Пусть при радіусѣ $R = 1$ саж. длина дуги $l = 1{,}75$ саж., тогда та же дуга въ градусахъ будетъ:

$$K = 1{,}75 \times \rho = 1{,}75 \times 206265'' = \frac{1{,}75}{Sin\,1''} = 360957'' = 6016' = 100{,}27^0.$$

ГЛАВА I.

Обозначеніе точекъ на земной поверхности и измѣреніе линій на мѣстности.

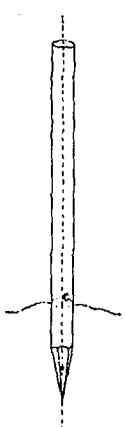
§ 14. Вѣхи. Точки на земной поверхности принято обозначать *вѣхами* [1]), т. е. деревянными жердями круглой или многогранной формы для того, чтобы онѣ были видны одна изъ другой даже при значительномъ разстояніи между ними.

Размѣры вѣхъ зависятъ отъ разстояній между точками. Обычные размѣры переносныхъ ручныхъ вѣхъ отъ 1 до 2 саженъ въ длину и около 1 дюйма въ діаметрѣ. Вѣхи красятся обыкновенно въ два цвѣта поперемѣнно или въ бѣлый и красный, или въ бѣлый и черный, или въ бѣлый и синій. Длину каждаго промежутка дѣлаютъ равной $=0{,}1$ саж.

Вѣха втыкается въ землю отвѣсно заостреннымъ концомъ, обдѣланнымъ желѣзнымъ наконечникомъ-*башмакомъ* (черт. 10). За точку, которую обозначаетъ вѣха, считаютъ центръ c (черт. 11) круга (или многоугольника), получающагося отъ пересѣченія боковой цилиндрической (или призматической) поверхности вѣхи съ земною поверхностью. При большихъ разстояніяхъ вѣхи замѣняются искусственными сигналами или пирамидами, если на мѣстности не встрѣчаются естественные сигналы, т. е. высокіе предметы, какъ, напримѣръ, колокольня (за точку считаютъ проекцію яблока подъ крестомъ) отдѣльно стоящее дерево, флаги и шпицы зданій и т. п.



Черт. 10.



Черт. 11.

§ 15. Вѣшеніе линій. Направленіе прямой линіи на мѣстности вполнѣ опредѣлится двумя вѣхами, поставленными въ ея концахъ. Если же линія будетъ болѣе 50 саженъ, то при ея непосредственномъ измѣреніи

[1]) Или *желонками*.

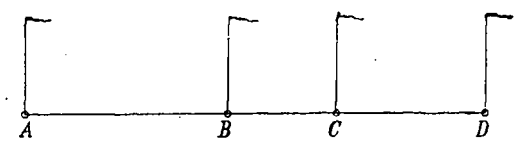
трудно удержать мѣрительный приборъ (брусъ или мѣрительную ленту) въ точности по направленію прямой, а потому, приходится на данной прямой ставить не двѣ, а большее число вѣхъ. Очевидно, что всѣ поставленныя вѣхи должны находиться въ одной отвѣсной плоскости, проходящей черезъ данную прямую.

Поставить на мѣстности рядъ вѣхъ такъ, чтобы онѣ находились въ одной отвѣсной плоскости, проходящей черезъ данную линію, значитъ провѣшить данную линію.

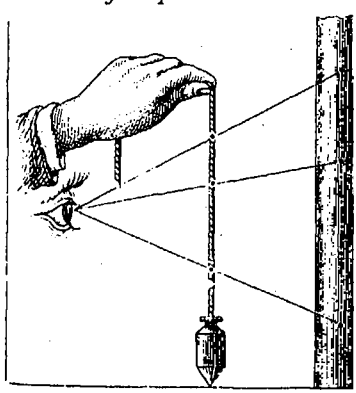
Самое дѣйствіе постановки вѣхъ въ одну отвѣсную плоскость принято называть *вѣшеніемъ линіи мѣстности.*

§ 16. Простѣйшіе 2 случая вѣшенія линій. Надобность въ вѣшеніи линій можетъ случиться преимущественно при ея измѣреніи. Чаще всего приходится 1) по двумъ даннымъ точкамъ продолжить прямую и 2) между двумя данными точками вставить рядъ точекъ, принадлежащихъ прямой.

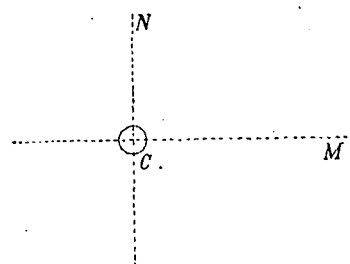
Въ первомъ случаѣ даются двѣ вѣхи A и B (черт. 12). Съемщикъ заходитъ за вѣху B и въ разстояніи шаговъ 90 или около 100 (т. е. около 30 саженей) отъ нея ставитъ вѣху C. При этомъ повернувшись лицомъ къ вѣхамъ A и B, онъ втыкаетъ вѣху C въ землю отвѣсно такъ, чтобы ему при втыканіи казалось, что вѣха C закрываетъ вѣху B, а вѣха B — вѣху A. Достигнуть этого *не* всегда удается сразу, а потому передъ постановкой вѣхи C съемщику приходится подвигаться вправо или влѣво до



Черт. 12.



Черт. 13.



Черт. 14.

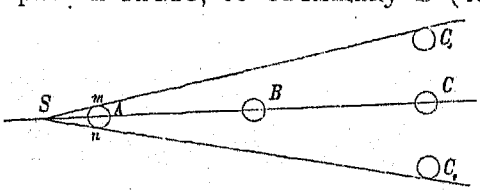
тѣхъ поръ, пока онъ убѣдится, что вѣха B закрываетъ вѣху A,—послѣ этого уже втыкается вѣха C. Отойдя отъ C шаговъ на 10, въ M (черт. 14), смотрятъ, стоитъ ли вѣха C

отвѣсно. Для этого держатъ передъ глазомъ шнуръ съ отвѣсомъ и сличаютъ направленіе вѣхи C съ направленіемъ шнура (черт. 13). Убѣдившись въ этомъ, заходятъ сбоку въ точку N и поправляютъ вѣху, чтобы она стояла отвѣсно и къ плоскости NC. Съемщику, стоящему въ M, должно казаться, что вѣха C закрываетъ B, а B покрываетъ A послѣ того, какъ вѣха C установлена по отвѣсу въ плоскостяхъ CN и CB.

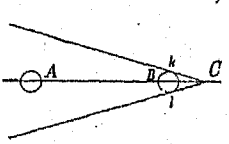
Установка вѣхи въ точкѣ D производится только что указаннымъ пріемомъ.

Продолжая вѣшеніе линіи, всегда слѣдуетъ убѣждаться, что всѣ выставляемыя вѣхи находятся въ одной отвѣсной плоскости. Выступающую изъ ряда вѣху всегда слѣдуетъ поправить. При этомъ нужно обращать вниманіе преимущественно *на низъ вѣхъ*.

Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что: 1) вѣшеніе линіи выгоднѣе производить съ помощникомъ, а 2) вѣшить слѣдуетъ *отступая назадъ* по продолженію данной линіи, т. е., какъ говорятъ, вѣшить слѣдуетъ *на себя*, а *не отъ себя*. Это видно изъ того, что если бы мы предположили, что съемщикъ остается за вѣхою A на одномъ и томъ же отъ нея разстояніи въ точкѣ S, а рабочій ставитъ вѣхи въ C, B..., передвигаясь по подаваемымъ съемщикомъ знакамъ вправо и влѣво, то съемщику S (черт. 15) будетъ безразлично, будетъ ли вѣха C стоять дѣйствительно въ C или въ C_1, или въ C_2, такъ какъ глазъ съемщика можетъ видѣть только по направленію касательныхъ Sm и Sn. Уголъ C_1SC_2 будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе AS. Въ случаѣ вѣшенія на себя, при удаленіи отъ B къ C (черт. 16) до 30 саж., уголъ kCl самъ собою уменьшается съ постепеннымъ отступленіемъ съемщика въ точки D, E (черт. 12). Углы C_1SC_2 и kCl суть углы зрѣнія, и ошибка въ постановкѣ вѣхи, т. е. CC_1 и CC_2 (черт. 15) будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе уголъ зрѣнія.



Черт. 15.



Черт. 16.

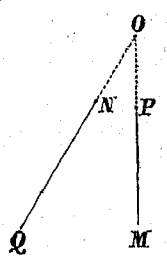


Черт. 17.

Во второмъ случаѣ, когда между двумя данными вѣхами A и B (черт. 17) желаютъ вставить нѣсколько точекъ, принадлежащихъ прямой, обыкновенно поступаютъ слѣ-

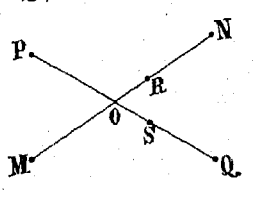
дующимъ образомъ: съемщикъ становится въ створъ AB въ точку A, посылаетъ рабочаго съ вѣхою N къ дальнему концу линіи B при разстояніи BN въ 10—15 саженъ и подаетъ ему знаки передвигаться вправо или влѣво настолько, чтобы вѣха N закрывала вѣху B. Установивъ отвѣсно вѣху N въ плоскости BA, рабочій идетъ по линіи и устанавливаетъ вторую вѣху M подобнымъ же образомъ. Съемщику должно казаться, что вѣха M закрываетъ вѣху N, а вѣха N—вѣху B. Рабочій, идя по линіи, выставляетъ рядъ вѣхъ до тѣхъ поръ, пока до съемщика останется не болѣе 20—15 саж., тогда съемщикъ втыкаетъ вѣху A и, зайдя за нее, провѣряетъ, стоятъ ли всѣ вѣхи, начиная съ A до B, въ отвѣсной плоскости.

Пользуясь пріемомъ, позволяющимъ продолжить прямую по двумъ даннымъ ея точкамъ можно, *найти точку O пересѣченіе двухъ прямыхъ PM и NQ* (черт. 12a). Для чего достаточно, отступая постепенно въ створѣ MP, остановиться въ такой его точкѣ O, изъ которой съемщику казалось бы, что вѣха, поставленная въ O, покрываетъ вѣхи N и Q, т. е. находится и въ створѣ вѣхъ N и Q.



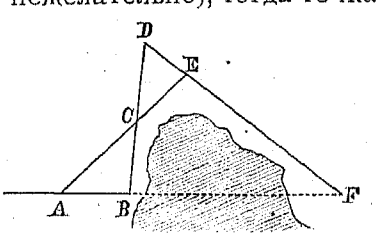
Черт. 12a.

Если же данныя четыре точки M, N и P, Q, своимъ расположеніемъ указываютъ, что точка O должна лечь между ними (черт. 12b), то съемщикъ старается свести этотъ случай на предыдущій, для чего ставитъ вѣху R въ створѣ MN и вѣху S—въ створѣ PQ, примѣняя второй случай вѣшенія (черт. 15) линіи, послѣ чего по четыремъ вѣхамъ N, R и Q, S находитъ только-что описаннымъ пріемомъ точку O.



Черт. 12b.

Если наконецъ нужно продолжить данную прямую AB (черт. 15a) черезъ мѣстное препятствіе (на чертежѣ оно заштриховано, напр., небольшой кустарникъ или садъ, рубить который нежелательно), тогда точка F на продолженіи прямой AB находится промѣромъ, а именно: взявъ въ сторонѣ точку C, изъ которой видны данныя точки A и B, продолжаютъ линіи AC и BC и на продолженіи берутъ 1) точку D и 2) точку E подъ условіемъ, чтобы изъ нихъ была видна та сторона кустарника, которая должна приблизительно пересѣчься съ продолженіемъ линіи AB. Провѣшивъ линію DEF, отмѣряютъ длину отрѣзка EF, которую вычисляютъ слѣдующимъ образомъ:



Черт. 15a.

Измѣривъ линіи AC, BC, DC, DE и EC, положимъ, что задача рѣшена и точка F найдена, тогда на мѣстности должны существовать треугольники AFE, BDF и ABC съ общими углами F, A и B, для которыхъ можемъ написать такія соотношенія:

$$\frac{Sin\ F}{Sin\ A}=\frac{AE}{EF}\qquad \frac{Sin\ B}{Sin\ F}=\frac{DF}{BD}\qquad \frac{Sin\ A}{Sin\ B}=\frac{BC}{AC}$$

Перемножая ихъ, находимъ

$$1=\frac{AE\,.\,DF\,.\,BC}{EF\,.\,BD\,.\,AC}$$

Откуда

$$EF=\frac{AE\,.\,BC}{BD\,.\,AC}\,.\,DF.$$

Но

$$DF=DE+EF,$$

слѣдовательно

$$EF=\frac{AE\,.\,BC}{BD\,.\,AC}(DE+EF).$$

Вслѣдствіе чего

$$EF\left(1-\frac{AE\,.\,BC}{BD\,.\,AC}\right)=\frac{AE\,.\,BC}{BD\,.\,AC}\,.\,DE$$

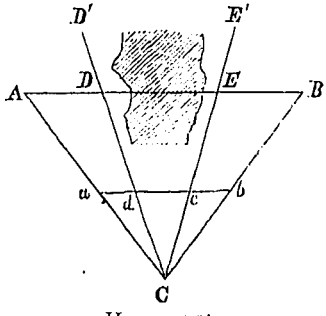
или

$$EF=\frac{AE\,.\,BC\,.\,DE}{BD\,.\,AC}:\frac{BD\,.\,AC-AE\,.\,BC}{BD\,.\,AC},$$

т. е.

$$EF=\frac{AE\,.\,BC\,.\,DE}{AC\,(BC+CD)-(AC+CE)\,BC}=\frac{AE\,.\,BC\,.\,DE}{AC\,.\,CD-BC\,.\,CE}.$$

Разсмотрѣнное рѣшеніе требуетъ, чтобы $AC\,.\,CD>BC\,.\,CE$, ибо иначе при $AC\,.\,CD-BC\,.\,CF=0$, линія $EF=\infty$, т. е. точка F пересѣченія линій DE и AB лежитъ въ безконечности, что обусловливаетъ $AF\parallel DF$.



Черт. 15b.

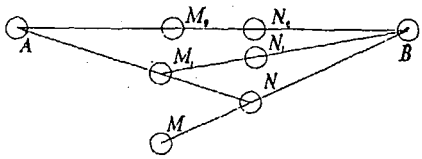
Если же $AC\,.\,CD<BC\,.\,CE$, то EF отрицательно, т. е. точка F лежитъ съ той же стороны кустарника, что и точки B и A.

Въ случаѣ, когда обѣ данныя точки A и B лежатъ по разныя стороны препятствія (черт. 15b), достаточно, взявъ точку C, промѣрить AC и BC, отложить $Ca=\frac{1}{n}AC$ и $Cb=\frac{1}{n}BC$ и намѣтить линію ab. Избравъ затѣмъ точки D' и E' по обѣ стороны кустарника, найти на прямой ab точки d и e пересѣченія прямой ab съ линіями $D'C$ и $E'C$.

Измѣривъ dC и Ce, достаточно отложить по линіи CD' длину $CD=n\,.\,Cd$, а по линіи CE' — длину $CE=n\,.\,Ce$, по-

лученныя точки D и E будутъ принадлежать линіи AB, что очевидно, такъ какъ $CA : Ca = CB : Cb = CD : Cd = CE : Ce = \frac{1}{n}$ т. е. $ADEB \parallel adeb$.

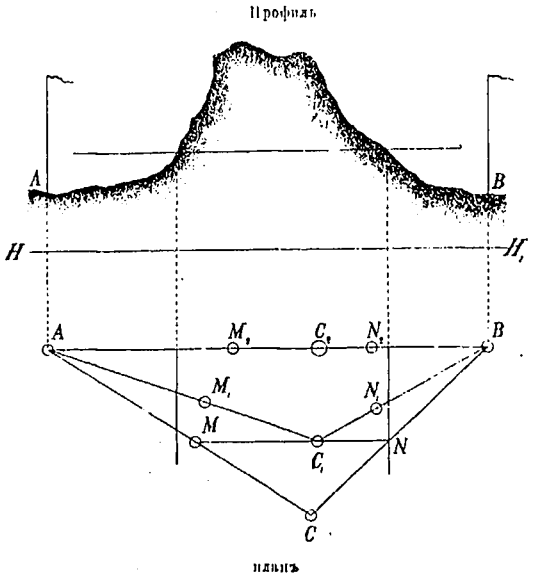
§ 17. Вѣшеніе линіи съ недоступными концами. Если ни въ одну изъ данныхъ точекъ A и B встать нельзя (или изъ одной данной точки A другая B плохо видна, а направленіе AB необходимо намѣтить хотя бы только двумя промежуточными вѣхами) и у съемщика имѣется помощникъ, то линія вѣшится такъ: съемщикъ и его помощникъ, взявъ по вѣхѣ и держа ихъ передъ собою отвѣсно, становятся въ точки M и N между A и B, обернувшись лицомъ другъ къ другу (черт. 18). Стоя въ точкѣ M, съемщикъ устанавливаетъ своего помощника (подвигая его влѣво и вправо) такъ, чтобы его вѣха N находилась „въ створѣ" двухъ вѣхъ M и B, т. е. въ отвѣсной плоскости MB. Помощникъ же, ставъ въ N, начинаетъ передвигать съемщика, находящагося въ M, такъ, чтобы онъ перемѣстился въ створъ вѣхъ A и N, т. е. въ точку M_1, находящуюся въ отвѣсной плоскости NA. Съемщикъ, перейдя въ M_1, передвигаетъ вѣху N въ точку N_1, лежащую на линіи BM_1. Помощникъ же, стоя въ N_1, передвигаетъ съемщика въ точку, лежащую на AN_1. Такое передвиженіе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока вѣхи M и N не станутъ на линію AB, т. е. когда и съемщику, и его помощнику *одновременно* будетъ казаться, что двѣ плоскости M_2N_2B и N_2M_2A слились въ одну плоскость AM_2N_2B. При измѣреніи линій цѣпью постоянно приходится удерживать концы цѣпи на измѣряемой прямой, и этотъ способъ вѣшенія линіи долженъ примѣняться при каждой новой укладкѣ цѣпи по линіи.



Черт. 18.

§ 18. Вѣшеніе черезъ гору тремя вѣхами. Если между точками A и B имѣется возвышенность (черт. 19 профиль), такъ что изъ A не видно B и обратно, и *линейность изъ повышающейся переходитъ въ понижающуюся*, то слѣдуетъ имѣть двухъ помощниковъ. Съемщикъ выбираетъ на возвышенности такую точку C (черт. 19 планъ), изъ которой были бы видны точки A и B, и посылаетъ своихъ помощниковъ перваго въ M на линію CA и втораго въ N на линію CB. Помощники же, придя въ M и N и обернувшись лицомъ другъ къ другу, передвигаютъ съемщика въ C_1 на линію MN, откуда онъ могъ бы видѣть A и B. Поставивъ свою вѣху въ точку C_1 на линію MN, съемщикъ передвигаетъ рабочихъ въ точки M_1 и N_1, находящіяся на линіяхъ C_1A

и C_1B; а они въ свою очередь устанавливаютъ съемщика на линію M_1N_1... Постепенно передвигаясь на вершину горы, съемщикъ и его помощники находятъ такія три точки M_2, C_2 и N_2, стоя въ которыхъ *одновременно* казалось бы



Черт. 19.

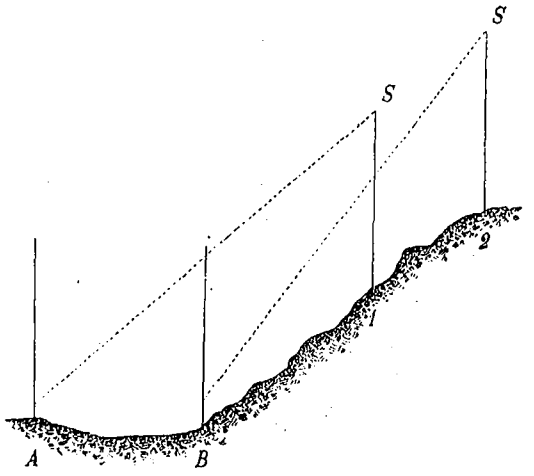
всѣмъ троимъ, что вѣха C_2 находится на линіи M_2N_2, вѣха N_2 на линіи BC_2 и, наконецъ, вѣха M_2 на линіи AC_2. Это будетъ указывать на то, что *три* отвѣсныя плоскости $M_2C_2N_2$, C_2N_2B и C_2M_2A слились въ одну $AM_2C_2N_2B$, т. е. вѣхи C_2, N_2 и M_2 находятся на прямой AB.

Замѣчаніе. Лучше всего, если возможно, производить вѣшеніе такъ, чтобы солнце было позади съемщика и его помощниковъ, и лучи солнца не ослѣпляли бы работающихъ.

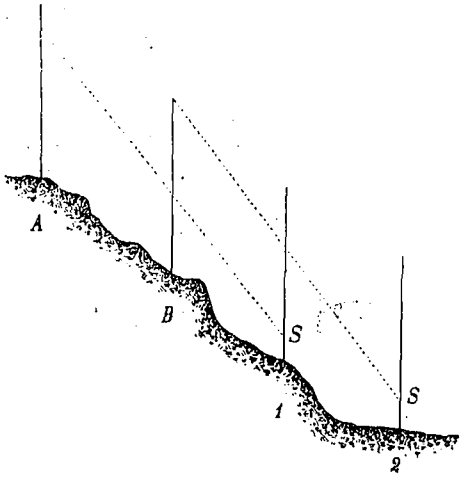
§ 19. Вѣшеніе линіи черезъ оврагъ. Если мѣстность изъ ровной переходитъ въ повышающуюся или понижающуюся, то при вѣшеніи особенно стараются вѣхи ставить отвѣсно во всю ихъ длину, такъ какъ нерѣдко приходится визировать по верху одной вѣхи на низъ другой вѣхи и обратно. Порядокъ постановки вѣхъ на такой мѣстности указанъ цифрами на чертежахъ 20 и 21. Болѣе длинныя вѣхи всегда ставятся на возвышенныхъ мѣстахъ. Промежутки между вѣхами B и 1, а также между 1 и 2 и т. д., выбираются такимъ образомъ, чтобы лучи зрѣнія SA и SB были на высотѣ глаза S съемщика [1]).

[1]) Лѣсничіе совѣтуютъ для вѣшенія пользоваться вѣхами длиною около 2 аршинъ, чтобы глазъ вѣшильщика могъ смотрѣть по верхушкамъ установленныхъ имъ вѣхъ.

Если отъ точки B начинается крутой спускъ или подъемъ, то между данными вѣхами A и B предварительно ставятся промежуточныя вѣхи для удобства вѣшенія.



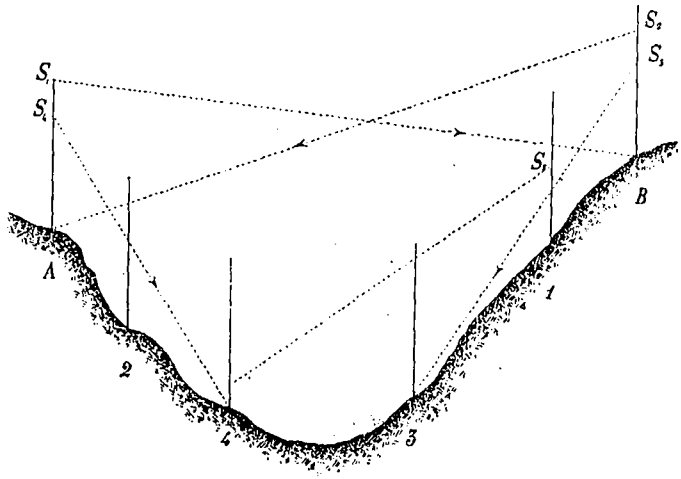
Черт. 20.



Черт. 21.

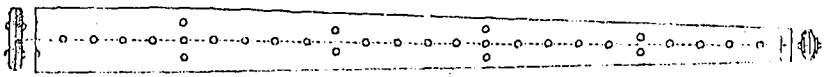
Наконецъ, если мѣстность изъ понижающейся переходитъ въ повышающуюся, то вѣшеніе линіи ведется съ обоихъ концовъ постепенно къ серединѣ линіи, какъ изображено на чертежѣ 22. Въ плоскости S_1B ставятъ вѣху № 1, а въ плоскости S_2A—вѣху № 2. Поставивъ вѣхи № 1 и № 2, съемщикъ спускается внизъ и ставитъ вѣхи № 3 и

№ 4, контролируя себя черезъ помощниковъ, смотрящихъ изъ A и B и держащихъ глаза на высотѣ точекъ S_2 и S_3.

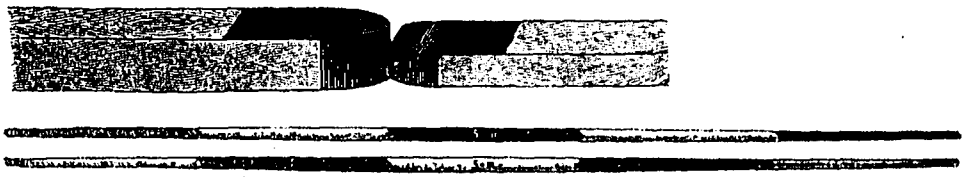


Черт. 22.

§ 20. Непосредственное измѣреніе длинъ линій на мѣстности производится наложеніемъ на измѣряемую линію мѣрной стальной ленты или мѣрной цѣпи. Въ Пруссіи въ послѣднее



Черт. 22a.

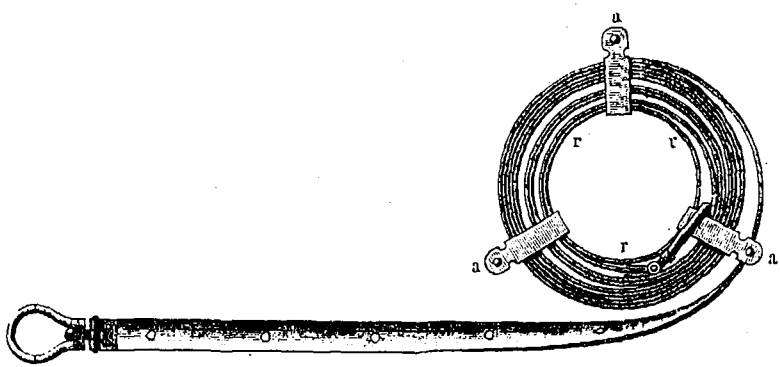


Черт. 22b.

время линіи измѣряются тонкими деревянными мѣрными брусьями, (черт. 22a и 22b) овальной формы [1]) (Latten),

[1]) Или четырехгранной съ обитыми стальными пластинками концами, одинъ въ видѣ вертикальнаго, а другой горизонтальнаго острія (ребра), какъ показано на черт. 22b.

длиною каждый въ 5 метровъ, пользуясь при этомъ подростками въ возрастѣ отъ 14 до 17 лѣтъ. Для измѣренія короткихъ линій служатъ тесьма, сажень и шагъ человѣка.



Черт. 23.

§ 21. Мѣрная стальная лента [1]) (черт. 23 и 23а) имѣетъ въ длину 10 саженъ. Отдѣльныя сажени отмѣчены на ней наглухо заклепанными четыреугольными и круглыми бляшками, слѣдующими попеременно другъ за другомъ такъ, что первыя даютъ нечетныя, а вторыя четныя числа саженъ. Полусажени замѣчены ромбическими бляшками. Каждая сажень подраздѣлена на десятыя доли, отмѣченныя для видимости, помимо нарѣзанныхъ на лентѣ штриховъ, еще круглыми небольшими кнопочками. На серединѣ ленты находится большая бляха съ цифрою 5. При переноскѣ лента свертывается на желѣзное кольцо *r* съ тремя *U*-образными скобками *a*, наглухо приклепанными къ кольцу. Въ одну изъ скобокъ въ ушко входитъ винтъ, придерживающій наружную ручку намотанной на кольцо ленты. Другая ручка надѣвается передъ свертываніемъ ленты на любую изъ скобокъ *a* кольца. Черта *m* по серединѣ ручки служитъ началомъ длины ленты, а подобная ей на



Черт. 23а.

[1]) Лучшія нѣмецкія ленты изготовляются въ Силезіи, механикомъ J. Raschke въ Glogau. Въ Москвѣ поставляетъ ленты фирма *Бр. Линдеманъ*.

другой ручкѣ—концомъ длины въ 10 саженъ. Ручки могутъ двояко вращаться около продольныхъ и поперечныхъ шарнировъ. За послѣднее время, въ межевомъ вѣдомствѣ стали употреблять ленты съ кожаными лямками-ручками, обдѣланными въ дерево, чтобы рука рабочаго, обутая въ рукавицу, могла свободно проходить черезъ лямку. Начало и конецъ ленты отмѣчены косыми вырѣзами въ мѣдныхъ пластинкахъ, въ которыя заклёпаны концы ленты. Вырѣзъ служитъ для постановки (втыканія) шпильки въ землю.

§ 22. **Мѣрная цѣпь** (черт. 24) имѣетъ также въ длину 10 саженъ, и подраздѣленія ея бываютъ одинаковыя со стальною лентою на десятыя доли сажени, хотя встрѣчаются подраздѣленія на футы и полуаршины. Цѣпь, обыкно-

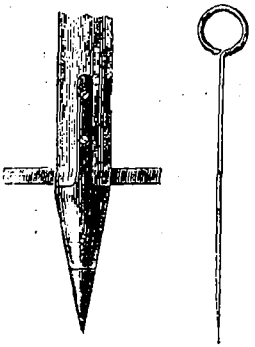


Черт. 24.

венно изготовляемая изъ тонкой желѣзной проволоки, толщиною отъ 0,1—0,2 дюйма, имѣетъ въ первомъ случаѣ 100 частей, называемыхъ *звеньями* или *кольцами*, такую цѣпь принято называть *стоколѣнною*, во второмъ случаѣ—футовая цѣпь имѣетъ 70 колѣнъ, а въ третьемъ—полуаршинная—60 колѣнъ. Отдѣльныя звенья цѣпи соединяются маленькими кольцами *b*; разстояніе между центрами двухъ сосѣднихъ колецъ равно 0,1 сажени (1 футу или $^1/_2$ аршину). На концахъ цѣпи дѣлаются въ видѣ двухъ большихъ колецъ ручки; форма ихъ иногда измѣняется, и въ этомъ случаѣ ширина овальной ручки входитъ въ общую длину 10 саженъ цѣпи. Отдѣльныя сажени замѣчаются у цѣпи мѣдными бляхами съ цифрами, а иногда цифры замѣняются зубцами. Число зубцовъ указываетъ число саженъ отъ 1 до 5, для обозначенія же 6, 7, 8 и 9 саженъ употребляются тѣ же бляхи, но съ пробитою на нихъ дырою, такъ что у 6 саженъ стоитъ бляха съ 1 зубцомъ и дырою, у 7—съ двумя зубцами и дырою и т. д. За послѣднее время даже лучшія англійскія цѣпи выходятъ изъ употребленія.

§ 23. **Принадлежности ленты**. Необходимую принадлежность ленты и цѣпи составляютъ 10 желѣзныхъ *шпилекъ* или *цѣпныхъ колышковъ*. Этими колышками отмѣчается на мѣстности число цѣлыхъ цѣпей, уложившихся въ данной линіи. При протягиваніи цѣпи вдоль линіи иногда ея ручки надѣваются на багры (черт. 25 и 25а) (короткая вѣха съ поперечнымъ стержнемъ). Конецъ цѣпи отмѣчается вертикально воткнутымъ въ землю колышкомъ-шпилькой (черт. 25), верхній конецъ котораго согнутъ въ кольцо, на которое иногда для видимости издали воткнутаго въ землю

колышка привязываютъ красный кусочекъ сукна. Шпильки носятся на особомъ желѣзномъ кольцѣ; иногда такихъ колецъ бываетъ два (при каждомъ концѣ ленты, для обоихъ рабочихъ,—ставящаго и собирающаго шпильки).



Багоръ. Шпилька.

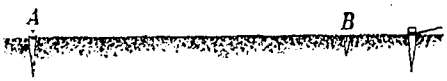
Черт. 25.

§ 24. Повѣрка длины ленты и мѣрныхъ брусьевъ. Передъ употребленіемъ ленты или цѣпи, а также и брусьевъ (Latten), слѣдуетъ повѣрить ихъ.

Повѣрка заключается въ томъ, что убѣждаются: 1) представляетъ ли лента длину въ 10 саженъ и 2) вѣрно ли намѣчены отдѣльныя подраздѣленія ея, т. е. сажени и ихъ доли, — для чего сравниваютъ испытуемую ленту или цѣпь съ длиною *нормальной* ленты, длина которой свѣрена съ длиной нормальной сажени. Испытуемая лента вытягивается на гладкой (ровной) поверхности, по возможности представляющей плоскость, напр., пола или сидѣнія лавки, или даже просто по землѣ, и натягивается съ тою же силою, что и нормальная лента, напр., пятифунтовыми гирями, прихваченными клеммами къ лентѣ (или стальными динамометрами). Непосредственное сличеніе рядомъ лежащихъ на *постели* или *компараторѣ* въ одной горизонтальной плоскости всей испытуемой и нормальной длины или (одноименныхъ ихъ составныхъ частей) и составляетъ дѣйствіе, называемое повѣркою мѣрнаго снаряда.



Черт. 25а.



Черт. 26.

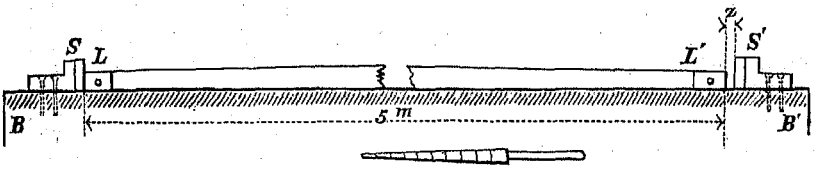
Другой способъ повѣрки *общей длины* цѣпи состоитъ въ томъ, что на ровной мѣстности отбиваютъ по шнуру, натянутому между двумя кольями *n*—кратную длину испытуемой цѣпи, напримѣръ, тройную ея длину *AB* (черт. 26). Точки *A* и *B* отмѣчаются центрами шляпокъ вбитыхъ въ колышки гвоздей.

Измѣривъ прямую *AB* нормальною мѣрою (*нормальною лентою или нормальною саженью*), *съ постояннымъ натяженіемъ* по 2-мъ динамометрамъ, пристегнутымъ къ концамъ ленты, получаютъ *истинную длину* линіи *AB*. Пусть тройная длина испытуемой цѣпи (ленты) оказалась $AB = 30{,}156$ саж., слѣдовательно *ординарная* ея длина будетъ:

$$\frac{AB}{3} = \frac{30.156}{3} = 10{,}052 \text{ саж.},$$

т. е. она длиннѣе на 0,052 сажени установленныхъ обычаемъ десяти саженъ (обще принятой въ практикѣ длины цѣпи).

Для повѣрки длины *мѣрныхъ брусьевъ* заготовляютъ заранѣе прочную сосновую подставку (черт. 26а) на поверхности которой BB', служащей постелью для сравни-



Черт. 26а.

ваемыхъ жезловъ, привернуты наглухо винтами два вертикальныхъ острія S и S' изъ стали, разстояніе SS' между которыми немногимъ (однимъ, двумя сантиметрами) болѣе 5 метровъ (напр., 5,01—5,02 metr.); оно заранѣе точно измѣрено нормальнымъ жезломъ и, слѣдовательно, хорошо извѣстно. Испытуемый брусъ лѣвымъ плоскимъ своимъ концомъ вплотную придвигается къ вертикальному острію S компаратора, а между правымъ концомъ L' жезла и правымъ остріемъ S' постели, въ промежутокъ z, вдвигается *мѣрный* (стальной или хрустальный) *клинъ*; онъ показанъ внизу на чертежѣ. На широкой лицевой сторонѣ клина нанесены штрихи въ разстояніи другъ отъ друга съ такимъ разсчетомъ, что толщина клина (длина штриха) при переходѣ отъ штриха къ штриху мѣняется на 0,1 миллиметра. Длина жезла $l = SS' - z$, гдѣ SS' — заранѣе дано, а z — измѣрено по клину. Клинъ предварительно испытывается (повѣряется).

§ 25. Употребленіе ленты (цѣпи) и мѣрныхъ брусьевъ. Употребленіе какъ вѣрнаго, такъ и невѣрнаго мѣрительнаго снаряда (ленты, цѣпи, бруса), одинаково, но *результаты измѣреній невѣрнымъ снарядомъ подлежатъ исправленію.*

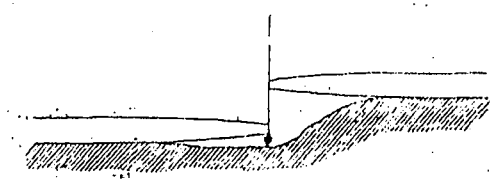
Употребленіе мѣрительной ленты и цѣпи при измѣреніи линій на мѣстности совершенно одинаково и состоитъ въ слѣдующемъ: двое рабочихъ распускаютъ свернутую ленту и сложенную цѣпь вдоль по линіи мѣстности, при чемъ наблюдаютъ, чтобы лента не была закручена, а колѣна цѣпи не были запутаны. Вытянувъ ленту вдоль измѣряемой линіи, техникъ или задній рабочій подъ наблюденіемъ техника прикладываетъ начальную точку ленты (цѣпи) такъ, чтобы она совпала съ начальною точкою измѣряемой линіи, а передній рабочій, захвативъ въ лѣвую руку кольцо съ 10 шпильками и отстранившись самъ отъ линіи, держитъ свой передній конецъ ленты въ вытянутой правой рукѣ и передвигаетъ его по указанію техника (или заранѣе при-

ученнаго къ тому задняго рабочаго) вправо или влѣво до тѣхъ поръ, пока конецъ не придется на измѣряемую линію. Встряхнувъ и натянувъ затѣмъ ленту просто рукою или имѣющимися на обоихъ ея концахъ *динамометрами* (стальными пружинными вѣсами) *съ одинаковымъ*, напр., въ 10 фунтовъ, *натяженіемъ* настолько, чтобы она легла по прямой линіи, передній рабочій втыкаетъ въ землю одинъ изъ десяти взятыхъ имъ колышковъ въ то мѣсто, гдѣ оканчивается длина ленты (цѣпи). Лучше, если для постановки колышковъ, имѣется особый 3-й рабочій. Затѣмъ — по командѣ задняго рабочаго „дальше (впередъ)" — передній рабочій тянетъ ленту дальше по линіи, пока задній рабочій не дойдетъ до мѣста воткнутой шпильки, гдѣ остается 3-й рабочій до прихода туда задняго конца ленты [1]). Дойдя до воткнутой шпильки, задній рабочій останавливаетъ передняго окликомъ „стопъ (стой)" и, совмѣстивъ опять начало ленты (цѣпи) съ точкою, въ которой воткнутъ первый колышекъ, вновь выравниваетъ передняго рабочаго на линію, и при переднемъ концѣ, натянувъ ленту съ обѣихъ сторонъ *съ тою же силою*—10-и фунтовъ, втыкаютъ въ землю вторую по счету шпильку. Такимъ же образомъ продолжается измѣреніе линіи дальше, двигаясь впередъ до тѣхъ поръ, пока въ землю не воткнутъ *десятый колышекъ*; послѣ чего передній рабочій укладываетъ ленту по измѣряемой линіи *одиннадцатый* разъ. Задній рабочій, дойдя до конца десятой ленты (цѣпи), втыкаетъ въ землю, на мѣсто десятой шпильки, деревянный круглый колышекъ, такъ называемую *биркy*, и дѣлаетъ на ней зарубку, въ знакъ того, что отмѣрено *сто* саженъ, а 4-й рабочій, собирающій *постепенно* шпильки на запасное (второе) кольцо, а именно: 1-й колышекъ послѣ того, какъ воткнутъ 3-й колышекъ, 2-ой—послѣ того, какъ воткнутъ 4-й и т. д. колышки, выставлявшіеся послѣдовательно передними рабочими по линіи, послѣ укладки цѣпи въ одиннадцатый разъ *передаетъ „счетомъ" всѣ* 10 *колышковъ* переднему 3-му рабочему. За передачею колышковъ слѣдитъ самъ техникъ, хотя рабочіе и даютъ знать о ней съемщику, который дѣлаетъ у себя въ записной книжкѣ какую нибудь замѣтку о происшедшей передачѣ. Измѣреніе въ томъ же порядкѣ продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока передній рабочій дойдетъ до вѣхи, поставленной въ переднемъ концѣ линіи. Здѣсь лента (цѣпь) вытягивается впередъ за вѣху настолько, чтобы задній рабочій могъ совмѣстить начало ленты (цѣпи) съ мѣстомъ стоянія послѣдняго колышка, а съемщикъ, подойдя къ вѣхѣ, могъ

[1]) Удобнѣе, когда рабочіе будутъ знать число своихъ шаговъ въ длинѣ цѣпи, тогда не будетъ надобности въ 3-мъ рабочемъ и потери времени на отысканіе заднимъ рабочимъ вновь поставленной шпильки переднимъ рабочимъ.

сдѣлать на лентѣ (цѣпи) отсчетъ. Число замѣтокъ, сдѣланныхъ техникомъ или заднимъ рабочимъ, о передачѣ шпилекъ дастъ число сотенъ, а число колышковъ, собранныхъ 4-мъ рабочимъ послѣ послѣдней передачи выразитъ число десятковъ саженъ въ измѣряемой линіи, а отсчетъ, сдѣланный по лентѣ у вѣхи съемщикомъ, выразитъ число единицъ саженъ и долей ихъ. Обыкновенно при отсчетахъ по лентѣ ограничиваются оцѣнкою на глазъ *сотыхъ* долей сажени. Пусть, напр., число передачъ собранныхъ 10-и шпилекъ было 3, у 4-го рабочаго вновь собрано семь шпилекъ; съемщикъ у вѣхи сдѣлалъ по лентѣ отсчетъ 8,56 саж. Длина линіи будетъ равна 378,56 саж. Изъ предыдущаго видно, что задній рабочій, какъ обязанный держать переднаго рабочаго на линіи и замѣчать число передачъ всѣхъ колышковъ переднему рабочему, долженъ быть болѣе опытный, чѣмъ передній. Къ сказанному слѣдуетъ прибавить, что передній рабочій можетъ провѣрять свою установку на линіи, сдѣланную заднимъ рабочимъ, ибо середина туловища этого послѣдняго должна казаться ему покрывающей заднюю вѣху. Очевидно, что при измѣреніи линіи, при каждой укладкѣ ленты на землю, примѣняется само собою способъ вѣшенія линіи двумя вѣхами (концами цѣпи), изложенный въ § 17, и что заднему рабочему рекомендуется имѣть деревянную *бирку*—для того, чтобы онъ ножомъ нарѣзками (зарубками) отмѣчалъ сотни саженъ въ измѣряемой линіи.

Употребленіе мѣрныхъ брусьевъ (Latten) состоитъ въ непосредственномъ укладываніи ихъ *попеременно* на землю, слѣдя за тѣмъ, чтобы, снимая задній брусъ, не столкнуть уложенный уже передній; для чего задній жезлъ (брусъ) при подниманіи предварительно отодвигается мѣряющимъ рабочимъ назадъ по линіи. При неровностяхъ мѣстности употребляютъ шнуръ съ отвѣсомъ (черт. 26b), чтобы отмѣчать шпилемъ отвѣса на землѣ проекцію конца переднаго жезла (см. также дальше черт. 35 и 36). Удобнѣе мѣрять линію съ двумя рабочими. Чтобы не ошибаться при подсчетѣ числа уложенныхъ (чётныхъ и нечётныхъ) жезловъ ихъ красятъ въ разные цвѣта: одинъ—въ бѣлый съ чернымъ, а другой—въ бѣлый съ краснымъ.



Черт. 26b.

§ 26. Введеніе поправки за невѣрность длины мѣрнаго снаряда, напр., ленты. Если послѣ повѣрки ленты (цѣпи) она кажется длиннѣе десяти саженъ, то очевидно, что чѣмъ *длиннѣе* цѣпь, тѣмъ *меньшее число разъ* она уложится на измѣряемой

линіи; наоборотъ, чѣмъ *короче* цѣпь (лента), тѣмъ *большее число* разъ она укладывается вдоль измѣряемой прямой. И такъ какъ при измѣреніи линіи ведется рабочими лишь подсчетъ числа разъ уложившейся по линіи цѣпи, длина которой считается ровно за 10 саж., то полученный результатъ подлежитъ исправленію.

Если при повѣркѣ ленты (цѣпи) длина ея оказалась болѣе (+) или менѣе (—) десяти саженъ на нѣкоторое количество α, такъ что длина ея равна 10 саж. $\pm \alpha$, то длина l линіи мѣстности, по которой цѣпь уложилась n разъ, будетъ:

$$l = n\ (10 \pm \alpha) = n \times 10 \pm n\,\alpha,$$

т. е. результатъ $n \times 10$ надо исправить величиною $n\,\alpha$. При чемъ поправка придается, если цѣпь длиннѣе.

Примѣръ. Цѣпь *короче* десяти саженъ на 1,8 англ. дюйма, т. е. длина ея равна ($10^{\text{с.}} - 1{,}8^{\text{дюйма}}$), пусть при измѣреніи линіи на мѣстности *цѣпь уложилась* 13 *разъ* и у задней вѣхи сдѣланъ отсчетъ 6,80 сажени, т. е. въ дѣйствительности цѣпь вдоль линіи уложилась 13,68 раза, поэтому дѣйствительная длина линіи равна

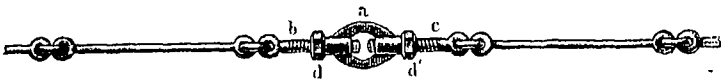
$$13{,}68\ (10^{\text{с.}} - 1{,}8\ ^{\text{дюйма}}) = 136{,}8^{\text{с.}} - 13{,}68 \times 1{,}8^{\text{дюйм.}} =$$

$$= 136{,}8^{\text{с.}} - \frac{13{,}68 \times 1{,}8}{84} = 136{,}8^{\text{с.}} - 0{,}3^{\text{с.}} = 136{,}5 \text{ саж.}$$

Изъ этого примѣра ясно видно, что если цѣпь короче, то поправка вычитается изъ *полнаго* отсчета по цѣпи.

Какъ ни просто это вычисленіе, однако, для совершеннаго устраненія его, лучше вычислить поправки для 1, 2, 3, 4.... 10 цѣпей и размѣстить ихъ въ небольшую табличку, по которой и производить исправленіе результатовъ непосредственнаго измѣренія.

§ 27. Исправительные приборы или уравнители цѣпи. Иногда для избѣжанія введенія поправки отъ невѣрности длины цѣпи къ концу или серединѣ ея придѣлывается особый исправительный *аппаратъ* (приборъ), посредствомъ котораго можно удлинить или укоротить общую длину цѣпи; но аппараты эти (черт. 27), усложняя устройство [1]) и по-



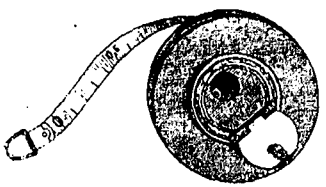
Черт. 27.

вышая стоимость такого снаряда какъ цѣпь, едва ли могутъ быть рекомендуемы, въ особенности, если не упускать изъ вида крайнюю простоту введенія поправки отъ

[1]) Одно изъ звеньевъ распилено по серединѣ и снабжено кольцомъ a, въ которое ввинчиваются части b и c распиленнаго звена, гайки d и d' удерживаютъ установленныя части b и c въ неизмѣнномъ положеніи.

невѣрной длины ленты (цѣпи). Исправительные аппараты никогда не устраиваются при мѣрительной лентѣ.

§ **28. Мѣрная тесьма** представляетъ изъ себя узкую, особо вытканную холщевую полосу, вываренную въ маслѣ и покрытую съ обѣихъ сторонъ лакомъ, длиною 5 или 10 саженъ. Съ одной стороны на тесьмѣ наносятся дѣленія на сажени, десятыя и сотыя ея доли, а на другой — сажени, футы и дюймы или сажени, аршины и вершки. Тесьма помѣщается въ кругломъ, цилиндрическомъ, кожаномъ футлярѣ, внутри котораго она навертывается на мѣдную ось цилиндра помощью рукоятки *r* (черт. 28). Свертываніе тесьмы въ футлярѣ спиралью и послужило поводомъ назвать ее *рулеткою*.

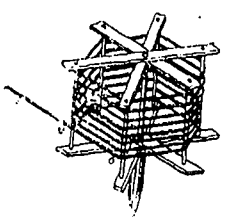


Черт. 28.

Для предохраненія тесьмы отъ растяженія, дѣлаютъ ее изъ двухъ склеенныхъ полотняныхъ полосъ, между которыми рядами вкладывается во всю длину ленты тонкая мѣдная проволока. Узкая стальная лента, помѣщаемая въ такой же футляръ — стальная рулетка — еще лучше сохраняетъ свою длину.

Повѣрка отдѣльныхъ саженей тесьмы дѣлается сравненіемъ ихъ съ длиною нормальной ленты или саженнаго бруска.

§ **29. Мѣрный шнуръ** приготовляется изъ смоленой пеньковой бичевки, предварительно вываренной въ маслѣ, толщиною около $^1/_8$ дюйма и длиною отъ 50—500 саженъ. На обоихъ концахъ шнура ссучены петли, ими онъ надѣвается при употребленіи на багры; отдѣльныя сажени шнура отмѣчаются прикрѣпленными къ нему кусочками кожи. Измѣреніе шнуромъ мало надежно вслѣдствіе его удлиненія при натягиваніи и сокращенія отъ дождя. Измѣненіе длины шнура происходитъ въ большей или меньшей степени вообще отъ присутствія въ воздухѣ влажности.



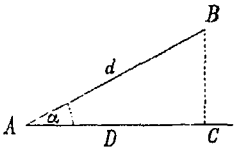
Черт. 29.

Шнуръ обыкновенно наматывается на катушку или рогатку (черт. 29).

§ **30. Поправка за наклонъ линіи.** Мы видѣли, что для опредѣленія горизонтальнаго проложенія какого-нибудь участка земной поверхности, надо знать не длины линій мѣстности, а горизонтальныя ихъ проложенія. Поэтому, кромѣ измѣренія наклонной линіи, надо опредѣлить еще и *уголъ ея наклоненія* къ горизонтальной плоскости, а затѣмъ по полученнымъ даннымъ вычислить длину горизонтальнаго про-

ложенія линіи или же надо измѣнить предыдущіе способы измѣреній такъ, чтобы вмѣсто длины наклонной линіи получать *непосредственно* горизонтальную ея проекцію. Сперва разсмотримъ *первый* изъ этихъ способовъ опредѣленія горизонтальной проекціи линіи помощью ея угла наклоненія; онъ наиболѣе употребителенъ, потому что быстрѣе приводитъ къ результатамъ.

Угломъ наклоненія какой-нибудь линіи мѣстности называется уголъ, *лежащій въ вертикальной плоскости* и имѣющій одною изъ сторонъ горизонтальную линію, а другою — линію мѣстности; эта другая сторона угла можетъ быть или выше горизонтальной стороны, или ниже ея. Въ первомъ случаѣ имѣемъ *уголъ повышенія*, а во второмъ—*уголъ пониженія*. Самый способъ опредѣленія горизонтальной проекціи линіи основывается на слѣдующемъ: допустимъ, что на мѣстности измѣрена длина линіи $AB=d$ (черт. 30), наклоненная къ горизонту подъ угломъ α, и требуется опредѣлить горизонтальное ея проложеніе. Для опредѣленія горизонтальнаго проложенія $AC=D$ измѣренной линіи $AB=d$ можно было бы прибѣгнуть къ вычисленію AC по формулѣ тригонометріи, но обыкновенно вычисляютъ разность x между измѣренной длиной d и ея горизонтальнымъ проложеніемъ D, разность эта выразится по измѣреннымъ d и α слѣдующимъ образомъ:



Черт. 30.

$x=AB-AC$; но $AC=d.\,Cos\,\alpha$ и $x=d-d\ Cos\alpha=d\ (1-Cos\alpha)$ или

$$x=2\ d\ Sin^2\frac{\alpha}{2}.$$

Если разность $x=d-D$ найдена, то, *вычитая* ее изъ d, получимъ:

$$d-x=d-(d-D)=D,$$

искомое горизонтальное проложеніе D измѣренной длины d.

Во избѣжаніе постоянныхъ вычисленій для каждаго отдѣльнаго случая и для ускоренія работы составляется таблица поправокъ x, по которой можно получить разность между длинами наклонныхъ линій и ихъ горизонтальными проложеніями при измѣненіи угла α отъ 1^0 до 45^0, а длины d отъ 1 до 10 саженъ. Ниже помѣщена только *часть* такой таблицы. Для уясненія употребленія этой таблицы возьмемъ примѣры:

а) На мѣстности измѣрена линія $d=93.6$ саж., имѣющая уголъ наклоненія $\alpha=7^0$; надо опредѣлить ея горизонтальную проекцію D. Изъ таблицы видимъ, что при $d=10$

саж. и $\alpha = 7^0$ поправка $x = 0.07$, а потому для 9 цѣпей поправка будетъ:

$$9 \times 0.07 = 0.63$$

затѣмъ таблица даетъ

для 3 саженъ поправку. . . . . $= 0.02$
для 0.6 саженъ поправку . . . $= 0.00$

Слѣд. поправка для линіи въ 93.6 саж. . . . . $= 0{,}65$ с.

а потому

$$D = 93.6 - 0.65 = 92.95 \text{ саж.}$$

или, ограничиваясь десятыми долями, получимъ:

$$D = 93.0 \text{ саж.}$$

Уголъ наклона.	Наклонная линія *d*.										Уголъ наклона.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Поправка *x* въ саженяхъ.										
1°	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1°
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	2
3	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	3
4	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	4
5	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.04	5
6	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	6
7	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.07	0.07	7
8	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	8
9	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	0.10	0.11	0.12	9
10	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.09	0.11	0.12	0.14	0.15	10
11	0.02	0.04	0.06	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.18	11
12	0.02	0.04	0.07	0.09	0.11	0.13	0.15	0.17	0.20	0.22	12
13	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	13
14	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15	0.18	0.21	0.24	0.27	0.30	14
15	0.03	0.07	0.10	0.14	0.17	0.20	0.24	0.27	0.31	0.34	15
20	0.06	0.12	0.18	0.24	0.30	0.36	0.42	0.48	0.54	0.60	20
25	0.09	0.19	0.28	0.37	0.47	0.56	0.66	0.75	0.84	0.94	25

б) На мѣстности измѣрена линія въ 444,3 саж., уголъ наклоненія которой измѣняется, а именно:

до 137.2 саж. уг. накл. 5^0
„ 163.5 „ „ „ 10^0
„ 172.0 „ „ „ 25^0
„ конца линіи (444.3саж.) 14^0

Беремъ изъ таблицы поправки

для 137.2 . . . . . 0.55
„ 163.5 — 137.2 = 26.3 . . 0.40
„ 172.0 — 163.5 = 8.5 . . 0.80
„ 444.3 — 172.0 = 272.3 . . 8.17
сумма попр. 9.92

Слѣдовательно

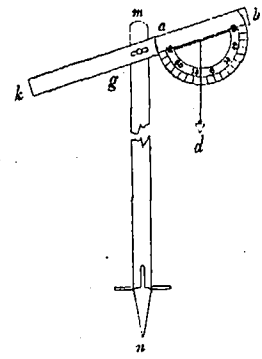
$$D = 444.3 - 9.92 = 434.38 \text{ саж.},$$

или окончательно

$$D = 434.4 \text{ саж.}$$

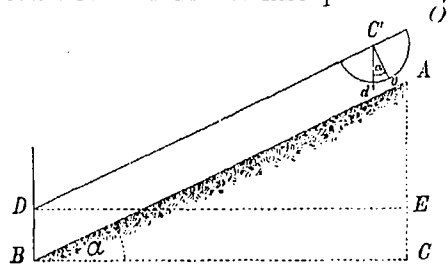
Изъ числовыхъ величинъ предыдущей таблицы видно, что малые углы наклоненія незначительно вліяютъ на длину наклонной линіи, такъ что при измѣреніи на мѣстности линій цѣпью углы наклоненія, меньшіе 3°, можно иногда совсѣмъ не принимать во вниманіе.

§ 31. Эклиметръ. Для измѣренія угловъ наклоненія линій мѣстности употребляются особые снаряды—*эклиметры* [1]). Простѣйшій изъ нихъ состоитъ изъ линейки *kb* (черт. 31), вращающейся на оси, проходящей черезъ палку *mn* и могущей прикрѣпляться къ этой послѣдней гайкой *g*. На одномъ концѣ линейки помѣщена полуокружность, въ центрѣ которой привѣшена нить съ отвѣсомъ *d* [2]). Полукругъ раздѣленъ на градусы, подпись которыхъ идетъ отъ нуля въ обѣ стороны до 90°. Радіусъ полукруга, проходящій черезъ 0°, долженъ быть перпендикуляренъ къ верхнему ребру линейки *kb*. Эклиметръ прикрѣпляется обыкновенно къ заднему багру цѣпи, а потому, если на мѣстности горизонтальной цѣпь употребляется безъ багровъ, то на мѣстности наклонной надо надѣть ее на багры.



Черт. 31.

§ 32. Употребленіе эклиметра. Для измѣренія угла наклоненія линіи *AB* (черт. 32) ставятъ въ *A* эклиметръ такъ, чтобы палка его *mn* (черт. 31) заняла положеніе *AO* и была приблизительно вертикальна (черт. 32 и 33), а въ *B* ставятъ простой колъ, на которомъ помѣчена точка *D* на высотѣ, равной длинѣ палки эклиметра. Затѣмъ, ослабивъ гайку *g* линейки, направляютъ верхнее ребро ея *ab* на *D*. Наконецъ, по закрѣпленіи линейки, дѣлаютъ отсчетъ на полукругѣ по нити отвѣса. Этотъ отсчетъ и выразитъ градусную величину угла наклоненія. Дѣйствительно, если *BC* есть линія горизонтальная, то



Черт. 32.

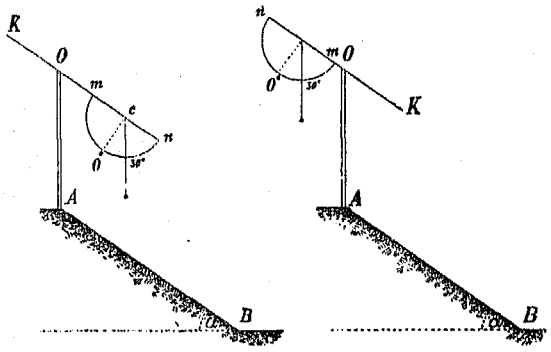
[1]) Или иначе „высотомѣры".

[2]) Нить съ отвѣсомъ сильно колеблется отъ вѣтра, а потому ее стали замѣнять металлическимъ радіусомъ, вращающимся въ центрѣ полукруга, снабжая его на концѣ тяжелою четыреугольною рамкою съ зубцомъ—*индексомъ* по серединѣ.

уголъ $ABC = \alpha$ представляетъ уголъ наклоненія линіи AB мѣстности, онъ *равенъ по перпендикулярности сторонъ углу oC'd на эклиметрѣ*, ибо линія $C'D$ визированія параллельна съ линіей AB [1]).

§ **33. Повѣрка эклиметра.** Условіе, требуемое отъ эклиметра (высотомѣра) состоитъ въ томъ, чтобы *одинъ и тотъ же уголъ наклоненія α линіи мѣстности получался безъ измѣненія въ градусной величинѣ на различныхъ частяхъ эклиметра*. Для этого нужно, 1) чтобы нить съ отвѣсомъ (вертикальная линія) проходила черезъ штрихъ 0⁰ въ то время, когда верхнее ребро линейки эклиметра горизонтально и 2) равенство градусныхъ дѣленій полукруга.

Чтобы убѣдиться, что 1-ое условіе выполнено, необходимо замѣтить, *что дѣленія на полукругѣ эклиметра нанесены симметрично въ обѣ стороны отъ нуля* и что, стоя съ эклиметромъ въ точкѣ A, можно смѣрить уголъ α пониженія линіи AB (черт. 33) два раза, при чемъ одинъ разъ онъ получится на квадрантѣ 0^0n [2]), а другой разъ на квадрантѣ 0^0m [3]). Въ первый разъ съемщикъ будетъ имѣть точку K у глаза *и лицевая сторона (съ дѣленіями) эклиметра* будетъ находиться *вправо* (черт. 33) отъ съемщика. Во второмъ случаѣ, послѣ поворота эклиметра около вертикальной линіи (вмѣстѣ съ палкою AO) на 180⁰, лицевая сторона эклиметра будетъ влѣво отъ наблюдателя (пр. черт. 33) и у глаза будетъ точка n. Такъ какъ *на мѣстности* уголъ α *не измѣняется*, то и на различныхъ частяхъ инструмента должно по нити отвѣса прочесть одну и ту же градусную подпись (какъ на квадрантѣ 0^0n, такъ и на квадрантѣ 0^0m). Если эклиметръ *не вѣренъ*, т. е. дѣленіе нуль уклонится отъ вертикальной линіи, напр., вправо, въ то время, когда ребро mn горизонтально, то послѣ оборота эклиметра на 180⁰ (черт. 34) нуль уклонится влѣво отъ вертикальной линіи. Въ первомъ слу-



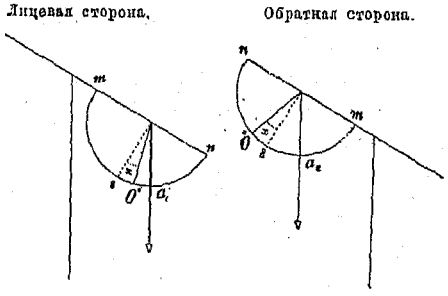
Черт. 33.

[1]) Какъ линіи, соединяющія концы двухъ вертикальныхъ, а слѣдовательно параллельныхъ, и при томъ равныхъ между собою линій AO и BD.

[2]) Лѣвый чертежъ.

[3]) Правый чертежъ.

чаѣ, когда лицевая сторона будетъ вправо отъ наблюдателя, отсчетъ a_1 будетъ *менѣе* истинной величины угла наклоненія α на величину x, гдѣ x центральный уголъ, измѣряющій дугу 0^0s, а s средняя точка дуги. Во второмъ случаѣ, когда лицевая сторона будетъ влѣво отъ наблюдателя, отсчетъ a_2 будетъ *болѣе* угла α на величину x; такимъ образомъ:



Черт. 34.

$$a_1 = \alpha - x \quad \text{и} \quad a_2 = \alpha + x$$

Сложивъ, получимъ

$$a_1 + a_2 = 2\alpha \quad \text{или} \quad \alpha = \frac{a_1 + a_2}{2},$$

а вычитая, найдемъ

$$a_2 - a_1 = 2x \quad \text{или} \quad x = \frac{a_2 - a_1}{2},$$

т. е. *невѣрнымъ эклиметромъ можно опредѣлить уголъ наклоненія*; онъ равенъ полусуммѣ отсчетовъ на эклиметрѣ, сдѣланныхъ при полукругѣ *вправо* и полукругѣ *влѣво*, а ошибка дѣленія 0^0 или, какъ говорятъ, „*мѣсто нуля*“ [1]) эклиметра равно полуразности тѣхъ же отсчетовъ.

Повѣрка равенства градусныхъ дѣленій полукруга эклиметра производится помощью равныхъ хордъ. Такъ какъ равныя хорды одной и той же окружности стягиваютъ и равныя дуги, то, взявъ обыкновенный циркуль, устанавливаютъ одну его ножку на 0^0, а другую, напр., на 5^0; послѣ чего прикидываютъ растворъ циркуля по дугѣ эклиметра и смотрятъ—повсюду-ли длина пятиградусной хорды остается неизмѣнной. Такъ, напримѣръ, если одна ножка циркуля поставлена на штрихъ 2^0, то другая должна совпадать со штрихомъ 7^0. Пройдя послѣдовательно весь полукругъ, убѣждаются въ вѣрности дѣленій сперва подписанныхъ 0^0, 5, 10, 15.... затѣмъ соотвѣтствующихъ 1^0, 6, 11..., послѣ этого 2^0, 7, 12... и т. д. [2]).

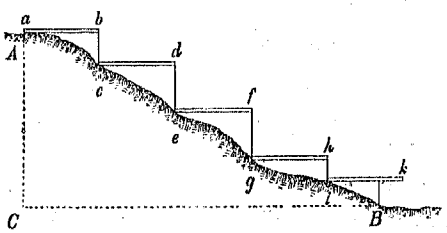
§ 34. Непосредственное измѣреніе горизонтальныхъ проложеній. Второй способъ опредѣленія горизонтальной проекціи ли-

---

[1]) Мѣсто нуля есть тотъ отсчетъ на эклиметрѣ, когда линія визированія *mn* горизонтальна.

[2]) Существуютъ и болѣе удобные, но сложные по устройству эклиметры, гдѣ уголъ наклона α отсчитывается непосредственно, линія визированія болѣе реальна, чѣмъ верхъ линейки, напр., трубочка съ крестомъ нитей, (Бюрнье, Брандиса); но они значительно дороже, чѣмъ простѣйшій, вполнѣ оправдывающій свое назначеніе.

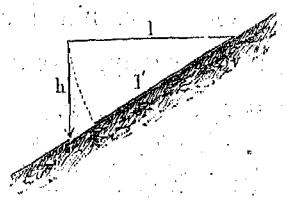
нiи состоитъ въ непосредственномъ измѣренiи проекцiи; для чего употребляютъ *не всю* длину цѣпи въ 10 саженъ, а, смотря по большему или меньшему наклону линiи, часть ея въ 2 или 5 саженъ или еще лучше деревянный мѣрный брусъ. Эту часть цѣпи не кладутъ на землю, а вытягиваютъ горизонтально, при этомъ, чтобы по тяжести своей она не слишкомъ провисала, ее поддерживаютъ по срединѣ. Опустивъ отвѣсъ съ приподнятаго конца цѣпи или жезла (черт. 35) замѣчаютъ на землѣ соотвѣтствующую точку; въ нее затѣмъ и переносятъ задній конецъ цѣпи (жезла), откуда продолжаютъ измѣренiе такимъ же порядкомъ далѣе. Для избѣжанiя сильнаго натяженiя цѣпи, отчего разгибаются ея кольца и даже можетъ произойти разрывъ, лучше вмѣсто цѣпи при этомъ способѣ измѣренiя наклонной линiи употреблять, какъ выше указано, деревянную сажень или брусъ. Положивъ одинъ конецъ сажени въ точку *a* (черт. 35),



Черт. 35.

направляютъ сажень вдоль измѣряемой линiи *AB*, приподнимаютъ передній конецъ *b* настолько, чтобы сажень была горизонтальна и къ *b* придвигаютъ вертикально 2-ой призматическiй брусъ. Этотъ брусъ ставится вертикально или на-глазъ при небольшомъ уклонѣ, или непремѣнно по отвѣсу въ случаѣ крутой покатости. Горизонтальное положенiе *l* (черт. 36) сажени или мѣрнаго бруса *l'* опредѣляется тѣмъ, что наклоняя и поднимая передній конецъ ея, заставляютъ его описывать дугу круга, центръ которой совпадаетъ съ заднимъ неподвижнымъ концомъ; при этомъ *изъ всѣхъ возможныхъ на землѣ положенiй* шпица отвѣса, нить котораго *h* находится на переднемъ концѣ подымаемаго и опускаемаго жезла (на чертежѣ 36-мъ лѣвомъ концѣ) выбираютъ *то*, которое *наиболѣе удалено* отъ задняго неподвижнаго конца жезла, такъ какъ именно *то* положенiе сажени есть горизонтальное, которое соотвѣтствуетъ *наибольшему* удаленiю на землѣ конца отвѣса (черт. 36) отъ неподвижнаго конца сажени. Дѣйствительно, нить съ отвѣсомъ, будучи вертикальной линiей, становится касательной въ этотъ моментъ къ окружности радiуса, равнаго длинѣ *l* бруса, а при брусѣ, стоящемъ выше или ниже горизонтальной линiи, нить является сѣкущей, конецъ которой со шпицемъ отвѣса проектируется ближе къ заднему концу бруса (сажени). Замѣтивъ точку *c* (черт. 35) переносятъ въ нее задній конецъ сажени и продолжаютъ измѣренiе уступами такъ, какъ показано на чертежѣ. Для ускоренiя работы, горизонтальную установку сажени и вер-

тикальную установку бруса дѣлаютъ при одномъ и томъ же уклонѣ только одинъ разъ; затѣмъ, замѣтивъ разницу $x=l'-l$ (черт. 36) между длиной l сажени и соотвѣтственною длиною l' наклонной линіи, прибавляютъ эту разницу къ каждому отложенію сажени по наклонной линіи.



Черт. 36.

§ 35. **Точность измѣренія линій.** Чтобы составить себѣ понятіе о точности измѣреній линій мѣстности, всего проще представить себѣ, что неоднократно измѣряли на мѣстности линіи, *длины которыхъ были заранѣе точно извѣстны*, напр., *получены изъ болѣе точныхъ дѣйствій*, причемъ оказалось, что разность v между результатомъ d измѣренія и длиной l линіи составляетъ $\frac{1}{n}$ отъ l (или отъ d) $y=\frac{1}{n}l$, т. е. относительная ошибка [1]) измѣренія линій выражается дробью вида $\frac{y}{d}=\frac{y:y}{d:y}=\frac{1}{n}$, напр., при измѣреніи линіи цѣпью въ случаѣ мѣстности благопріятной, т. е. ровной и плотной, она достигаетъ $\frac{1}{1000}$; въ случаѣ мѣстности менѣе благопріятной (каменистой, болотистой или песчаной) ошибка увеличивается и на поверхности неровной, бугристой доходитъ до $\frac{1}{400}$; вообще же, круглымъ числомъ, можно принять ошибку измѣренія линіи цѣпью въ $\frac{1}{500}$, такъ что линія длиною въ 500 саженъ можетъ получиться при измѣреніи или въ 499 или въ 501 саженъ. Подобнымъ же путемъ обнаружено, что ошибка измѣренія линіи стальною мѣрною лентою, по крайней мѣрѣ *вдвое* менѣе и можетъ быть принята равною $\frac{1}{1000}$ и даже болѣе. Для брусьевъ ее считаютъ равной $\frac{1}{2000}$ и выше, смотря отъ условій, при которыхъ измѣрена линія. Это повышеніе точности измѣренія линіи лентою (и мѣрными брусьями) сравнительно съ точностью измѣренія той же линіи цѣпью легко объясняется прогибаніемъ цѣпи между впадинами на мѣстности и буграми и тѣмъ, что длина цѣпи измѣняется отъ согнутія колѣнъ, растяженія и отъ стиранія внутреннихъ поверхностей колецъ, соединяющихъ колѣна между собой; тогда какъ длина ленты и бруса мало подвержена однимъ изъ

[1]) Т. е. ошибка $\frac{y}{d}$, приходящаяся на единицу длины измѣренной линіи.

этихъ измѣненій и совсѣмъ не подвержена другимъ. Эту относительную ошибку $\frac{1}{n}$ принято называть точностью измѣренія линій.

§ **36. Измѣреніе линій шагами.** Хотя шаги у различныхъ по росту людей не одинаковы, даже шагъ одного и того же человѣка, при различныхъ обстоятельствахъ, мѣняется, тѣмъ не менѣе шагъ человѣка все-таки можетъ иногда служить достаточнымъ средствомъ для измѣренія разстояній при съемкѣ. Для этого достаточно, чтобы съемщикъ опредѣлилъ *среднюю длину своего шага*. Пусть, напримѣръ, на мѣстности измѣрена линія длиною въ 100 саж. и съемщикъ, пройдя по ней 4 раза, насчиталъ послѣдовательно: 280, 278, 279, 283 шаговъ, тогда средняя длина его шага будетъ,

$$100 : \frac{278 + 279 + 280 + 283}{4} = 100 : 280 = 0{,}36 \text{ саж.},$$

т. е. около аршина, а въ длинѣ цѣпи = 10 саженямъ будетъ содержаться 28 шаговъ. Подобное опредѣленіе совѣтуется дѣлать на линіяхъ различнаго протяженія, на различной мѣстности (ровной и кочковатой, на вспаханномъ полѣ, на травѣ и т. п.) и брать затѣмъ изъ всѣхъ опредѣленій среднее ариѳметическое. Для большинства людей средняго роста и средняго возраста длина шага равна 0,37 саж. Чтобы, зная длину своего шага, опредѣлить какое-нибудь разстояніе на мѣстности, съемщикъ долженъ пройти его и сосчитать число заключающихся въ немъ шаговъ. Если въ нѣкоторой длинѣ съемщикъ насчиталъ 103 шага и если средняя длина его шага = 0,37 саж., то понятно искомое разстояніе будетъ:

$$103 \times 0{,}37 = 38 \text{ саж.}$$

Для упрощенія счета шаговъ считаютъ не каждый шагъ, а пары ихъ, произнося: одинъ, два, три..., только при постановкѣ, напр., правой ноги. Для перевода въ сажени числа паръ шаговъ можно заранѣе составить таблицу.

ГЛАВА II.

Построеніе отрѣзковъ прямыхъ линій на бумагѣ въ заданномъ уменьшеніи.

§ 37. Основные пріемы построенія прямыхъ линій на бумагѣ и общее понятіе о составленіи плановъ. Воображаемое нами горизонтальное проложеніе снимаемаго участка мѣстности, принимаемое за плоское, строится для наглядности на бумагѣ въ *подобномъ и уменьшенномъ* видѣ. Построеніе на бумагѣ фигуръ, подобныхъ горизонтальнымъ проложеніямъ данныхъ на мѣстности контуровъ, носитъ названіе *составленія* или *накладки* плановъ. Накладка плана состоитъ изъ накладки на бумагу прямыхъ линій въ избранномъ уменьшеніи и построенія горизонтальныхъ угловъ. Снаряды, служащіе для накладки, а также и перерисовки плановъ, называются общимъ именемъ *чертежныхъ* инструментовъ; сюда относятся: *линейка*, прямоугольный *треугольникъ, циркуль, транспортиръ,* а также *пантографъ* — для перерисовки плановъ и *планиметры,* т. е. приборы, предназначенные для вычисленія площадей контуровъ, имѣющихся на бумагѣ.

Пріемъ составленія плана горизонтальной съемки всецѣло зависитъ отъ того, чѣмъ выражается результатъ съемки, т. е. а) вычисленными ли координатами точекъ контура или б) вычисленными румбическими углами и горизонтальными проложеніями линій.

Прежде, чѣмъ перейти къ изложенію пріемовъ накладки въ обоихъ этихъ случаяхъ, мы остановимъ наше вниманіе на линейкѣ, треугольникѣ, циркулѣ и масштабѣ.

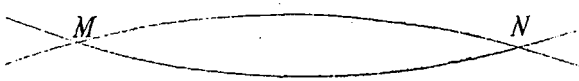
§ 38. Линейка и треугольникъ. Края линейки, такъ же, какъ и края треугольника, предназначаются для проведенія по нимъ на бумагѣ прямыхъ линій, а потому при ихъ изготовленіи необходимо должны быть соблюдены слѣдующія условія:

1) *Верхняя и нижняя поверхности линейки (или треугольника) должны быть плоскостями.*

Если, смотря на линейку (или треугольникъ), нельзя убѣдиться на глазъ въ выполненіи этого условія, то накладываютъ испытуемый инструментъ на хорошо вывѣренную плоскость и смотрятъ на свѣтъ, не образуется ли промежутковъ или пустыхъ мѣстъ между плоскостью и линейкой (или треугольникомъ). Покоробленные треугольники и линейки не пригодны къ употребленію.

2) *Ребра линейки (или треугольника) должны быть прямыми линіями.*

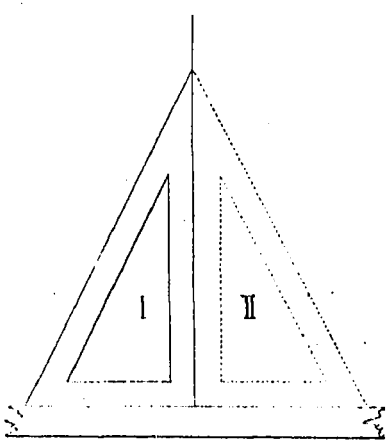
Если есть хорошо вывѣренная плоскость, то повѣрка реберъ будетъ сходна съ повѣркою плоскостей. Въ противномъ случаѣ кладутъ линейку (или треугольникъ) на бумагу и, придерживая ихъ, проводятъ по испытуемому ребру тонко очиненнымъ карандашемъ линію, отмѣчаютъ на ней двѣ точки M и N (черт. 37). Затѣмъ повертываютъ



Черт. 37.

въ плоскости бумаги линейку (или треугольникъ) такъ, чтобы правый конецъ N занялъ мѣсто лѣваго конца M и наоборотъ, и приложивъ линейку къ тѣмъ же точкамъ M и N, вновь проводятъ по испытуемому ребру линію. Если обѣ прочерченныя линіи совпадутъ, то ребро даетъ прямую линію; въ случаѣ же, показанномъ на чертежѣ 37 линейка даетъ кривую и для проведенія прямыхъ не пригодна.

Если треугольникъ, какъ это въ большинствѣ случаевъ бываетъ, прямоугольный, то для повѣрки, — *дѣйствительно ли катеты даютъ прямой уголъ*, поступаютъ слѣдующимъ образомъ: прикладываютъ треугольникъ (I) коротким катетомъ (черт. 38) къ линейкѣ и по длинному катету проводятъ линію, послѣ чего перекладываютъ треугольникъ симметрично (II) относительно прочерченной линіи. Это вызоветъ необходимость перемѣнить мѣста верхней и нижней плоскостей треугольника. Если при новомъ (второмъ) положеніи треугольника линія, проводимая по длинному катету, будетъ сливаться съ прежнею (или будетъ ей параллельна), то катеты треугольника образуютъ одинъ изъ двухъ равныхъ смежныхъ угловъ, т. е. пря-



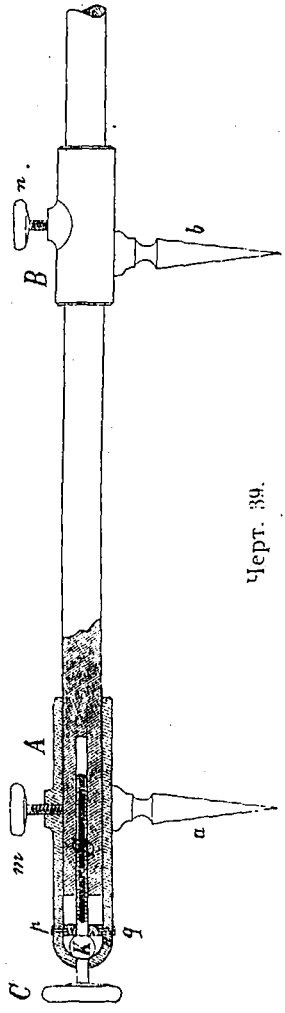
Черт. 38.

мой уголъ. Въ противномъ же случаѣ, когда получатся двѣ пересѣкающіяся линіи, треугольникъ не годенъ къ употребленію.

§ 39. Циркуль. Отъ *простого циркуля* достаточно требовать, чтобы его стальныя ножки накалывали одну точку, если онѣ сдвинуты вплотную другъ къ другу. Концы ножекъ должны быть изъ твердой закаленной стали и хорошо отточены [1]).

Циркулемъ съ длиною ножекъ въ 7 дюймовъ можно съ удобствомъ брать линіи не длиннѣе 5 дюймовъ; для болѣе длинныхъ линій берутъ такъ называемый *штангенциркуль*, устройство котораго видно изъ чертежа 39.

Ножки его *a* и *b* насажены на длинный стержень (штангу) и могутъ двигаться по ней съ помощью муфтъ *A* и *B*. Муфты, а вмѣстѣ съ ними и ножки, могутъ быть неподвижно закрѣплены на штангѣ *нажимательными* (или закрѣпительными) винтами *m* и *n*. Одна изъ муфтъ (на чертежѣ муфта *B*) можетъ быть свободно передвигаема по всей штангѣ, другая же — приспособлена къ болѣе плавному передвиженію ножки *b* на небольшія разстоянія, для чего второй муфтѣ даютъ видъ капсюли, надвигающейся на одинъ изъ концовъ штанги. Въ головку этой капсюли входитъ *микрометренный* винтъ *C*. Онъ устроенъ такъ, что его нарѣзка *S* имѣетъ гнѣздо въ самой штангѣ, головка кромѣ грифа *C* имѣетъ еще яблоко *K*, заключающееся между стѣнкой капсюли и пластинкой *pq*, скрѣпленной съ муфтой винтиками *p* и *q*. Яблоко *K* не позволяетъ удаляться или приближаться грифу *C* къ муфтѣ, а чрезъ это муфта *A* при ввинчиваніи винта *C* приближается къ муфтѣ *B*. При вывинчиваніи микрометреннаго винта *C* ножки циркуля раздвигаются. При



Черт. 39.

[1]) За послѣднее время получаютъ распространеніе циркули образца мюнхенской фабрики Clemens Riefler съ конусообразными ножками, (представитель *А. Валентинъ* въ Москвѣ).

дѣйствіи микрометреннымъ винтомъ C нажимательный винтъ m предварительно ослабляютъ.

§ 40. Масштабъ. Численный масштабъ. Горизонтальныя проложенія линій мѣстности не могутъ быть нанесены на бумагу въ ихъ натуральную длину, а потому обыкновенно уменьшаются. Для того, чтобы начертить на бумагѣ фигуру, подобную горизонтальному проложенію снимаемаго участка въ уменьшенномъ видѣ, *необходимо всѣ линіи мѣстности уменьшить въ одно и то же число разъ*. Пусть, напр., всѣ линіи уменьшены въ N разъ, тогда *отношеніе длины a нѣкоторой линіи на планѣ къ соотвѣтствующей ей длинѣ A на мѣстности*, т. е. $\frac{a}{A}$, которое можетъ быть представлено дробью $\frac{1}{N}$ съ числителемъ, равнымъ единицѣ, такъ какъ $\frac{a}{A} = \frac{a:a}{A:a} = \frac{1}{N}$ называютъ *численнымъ масштабомъ*.

Знаменатель N численнаго масштаба $\frac{1}{N}$ показываетъ, во сколько разъ линіи мѣстности уменьшены при нанесеніи ихъ на бумагу.

Пусть длина линіи на мѣстности въ 100 саженъ принята на бумагѣ равной одному дюйму, тогда отношеніе 1 дюйма къ 100 саженямъ, т. е. дробь

$$\frac{1 \text{ дм.}}{100 \text{ саж.}} = \frac{1 \text{ дм.}}{100 \times 84 \text{ дм.}} = \frac{1}{8400}$$

будетъ численный масштабъ. Еще примѣръ: если на бумагѣ 5 аршинъ мѣстности изобразить линіей въ 1 верш., то численный масштабъ будетъ

$$\frac{1}{5 \times 16} = \frac{1}{80}.$$

Точно также, если 50 саженъ мѣстности представить линіей въ 0,01 сажени (или, какъ часто выражаются, „сотку"), то численный масштабъ будетъ

$$\frac{0{,}01 \text{ саж.}}{50 \text{ саж.}} = \frac{1}{5000}.$$

Такимъ образомъ видимъ, что если на бумагѣ начерчена линія и при ней стоитъ надпись „n саженъ", то, измѣривъ длину линіи на бумагѣ въ дюймахъ, или въ вершкахъ, или, наконецъ, въ соткахъ, можно тотчасъ же найти численный масштабъ; онъ будетъ

1) $\frac{k}{n \times 84}$, если линія плана оказалась равной k дюймамъ,

2) $\frac{p}{n \times 48}$, если линія плана выразилась p вершками,

и 3) $\frac{q}{n \times 100}$, если линія плана равна q соткамъ.

Очевидно, что

$$\frac{k \text{ дм.}}{n.\,84 \text{ д.}} = \frac{p \text{ верш.}}{n.\,48 \text{ верш.}} = \frac{q \text{ ст.}}{n.\,100 \text{ ст.}} = \frac{1}{N},$$

такъ какъ каждая изъ этихъ дробей выражаетъ отношеніе одной и той же линіи плана къ соотвѣтствующей линіи мѣстности.

Изъ предыдущаго видно, что если бы намъ былъ данъ численный масштабъ $\frac{1}{N}$, то его нужно понимать такъ:

1) одному дюйму плана соотвѣтствуетъ на мѣстности N дюймовъ или $\frac{N}{84}$ саженъ;

2) одному вершку плана соотвѣтствуетъ N вершковъ на мѣстности или $\frac{N}{48}$ саженъ;

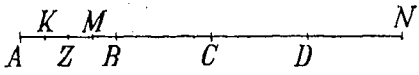
3) одной сткѣ плана соотвѣтствуетъ на мѣстности линія, длиною въ N сотокъ или $\frac{N}{100}$ саженъ.

§ 41. Линейный масштабъ. Переходъ отъ численнаго масштаба къ линейному и обратно: отъ линейнаго къ численному. Если 1 дюймъ на планѣ соотвѣтствуетъ N дюймамъ или $\frac{N}{84}$ саженямъ на мѣстности, то 2 дюйма соотвѣтствуютъ $2.\frac{N}{84}$ саж.; 3 дюйма — $3.\frac{N}{84}$ саж.; 0,1 дюйма — $0{,}1\,.\,\frac{N}{84}$ саж. и т. д., вообще n дюймовъ плана соотвѣтствовали бы $n.\,\frac{N}{84}$ саженямъ мѣстности. Давая n различныя значенія, можно было бы для каждаго заранѣе избраннаго уменьшенія или численнаго масштаба составить таблицы, позволяющія данное число саженъ на мѣстности выражать соотвѣтствующей длиной на планѣ. Эта длина можетъ быть получаема и въ дюймахъ, и въ вершкахъ и въ соткахъ. Составленію такихъ таблицъ на практикѣ предпочитается *построеніе діаграммъ, позволяющихъ механически, при томъ удобно (быстро), дѣлать переводъ длины линіи на мѣстности въ длины на планѣ и обратно.* Такія діаграммы, соотвѣтствующія численнымъ масштабамъ, *принято называть линейными масштабами.*

Простѣйшій линейный масштабъ чертится прямою линіей, на которой послѣдовательно откладываются или дюймъ, или вершокъ, или сотка, или сантиметръ и т. п., смотря по тому, за что считаемъ единицу, стоящую въ числителѣ численнаго шасштаба $\frac{1}{N}$.

Пусть данъ численный масштабъ $\frac{1}{336}$. Если его бу-

демъ понимать такъ, что одному дюйму на планѣ соотвѣтствуетъ 336 дюймовъ на мѣстности, то для построенія соотвѣтствующаго ему линейнаго масштаба слѣдуетъ взять прямую AN и отъ точки A послѣдовательно (черт. 40) нанести $AB = BC = CD$ и



Черт. 40.

т. д..... = 1 дюйму; при этомъ:

дл. линіи AB будетъ соотвѣтств. 336 дм. $= \frac{336}{84} = 4$ с. мѣстн.

„ „ AC „ „ 2×336 дм. $= 8$ с. „

„ „ AD „ „ 3×336 дм. $= 12$ с. „

и т. д.

Если AB раздѣлить на 4 части, то отрѣзки

$$BM = AK = {}^1/_4 AB$$

изобразили бы 1 саж. мѣстности, BZ — 2 сажени, BK — 3 и BA — 4 сажени.

Если тотъ же численный масштабъ $\frac{1}{336}$ будемъ понимать такъ, что одному вершку на планѣ соотвѣтствуетъ 336 вершковъ на мѣстности, то для построенія линейнаго масштаба пришлось бы взять *за основаніе* вершокъ и тогда $AB = BC = ... = 1$ вершку, и длина ихъ соотвѣтствовала бы 336 вершкамъ $= \frac{336}{48}$ саж. $= 7$ саж. мѣстности. Раздѣливъ вершокъ на 7 частей, получимъ длины, изображающія собою на планѣ 1 сажень мѣстности. Такимъ образомъ видимъ, что *одному и тому же численному масштабу могутъ соотвѣтствовать нѣсколько діаграммъ, смотря потому, что принято за начальную, основную длину на планѣ.* Основаніемъ линейнаго масштаба можетъ быть, какъ мы уже видѣли, и дюймъ, и вершокъ, и сотка и т. п. *Выборъ основанія линейнаго масштаба зависитъ отъ нашего произвола.*

Съ измѣненіемъ основанія лишь тогда измѣнятся размѣры линій на планѣ, когда разныя основанія будутъ соотвѣтствовать одному и тому же числу саженъ мѣстности: такъ, при основаніи въ 1 вершокъ, 1 дюймъ, 1 сотку, при одномъ и томъ же числѣ саженъ, напр. 100, соотвѣтствующемъ этимъ тремъ основаніямъ, самый крупный чертежъ получится въ первомъ случаѣ и самый мелкій—въ третьемъ

$$\left(\frac{1}{4800}, \frac{1}{8400}, \frac{1}{10000}\right)$$

Изъ вышеприведеннаго слѣдуетъ, что *для перехода отъ численнаго масштаба къ линейному, нужно прежде всего условиться, что взять за основаніе линейнаго масштаба.* Если основаніемъ будетъ дюймъ, то чтобы знать *въ саженяхъ*, какой линіи онъ соотвѣтствуетъ на мѣстности при дан-

номъ численномъ масштабѣ $\frac{1}{N}$, слѣдуетъ N дѣлить на 84; если основаніе вершокъ, то для той же цѣли дѣлятъ N на 48 и т. д.

Справедливо будетъ и обратное заключеніе, т. е. если на діаграммахъ обозначено, что линейные масштабы построены, принимая въ
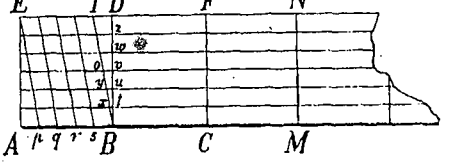
$$1 \left| \begin{matrix} \text{дюймѣ} \\ \text{вершкѣ} \\ \text{соткѣ} \end{matrix} \right| S \text{ саженъ мѣстности},$$

то соотвѣтственные численные масштабы будутъ:

$$1)\ \frac{1}{S \times 84} = \frac{1}{M}, \quad 2)\ \frac{1}{S \times 48} = \frac{1}{N}, \quad 3)\ \frac{1}{S \times 100} = \frac{1}{Q}.$$

§ 42. Поперечный линейный масштабъ, его теорія. Если основаніе линейнаго масштаба придется дѣлить на большое число частей, то можетъ случиться, что эти доли будутъ слишкомъ мелки, а потому трудно различаемы невооруженнымъ глазомъ.

Такъ, напримѣръ, для масштаба 100 саженъ въ дюймѣ, чтобы имѣть на планѣ линіи, соотвѣтствующія одной, двумъ, тремъ и т. д. саженямъ мѣстности, придется одинъ дюймъ раздѣлить на 100 частей. Между тѣмъ не только сотыя доли дюйма, но даже и десятыя его доли достаточно малы; двухсотая доля дюйма изображается на планѣ въ видѣ укола ножкой циркуля. Непосредственное раздѣленіе одного дюйма на 100 частей очень затруднительно. Во избѣжаніе неудобствъ дѣленія основанія линейнаго масштаба на большое число частей принято строить на бумагѣ *поперечный линейный масштабъ*. Построеніе дѣлается такимъ образомъ: пусть основаніе масштаба $AB = a$ (черт. 41) нужно раздѣлить на $K = m.n$ равныхъ частей, тогда основаніе дѣлятъ на m равныхъ частей, $Ap = pq = \ldots\ldots = sB$; въ точкахъ A, B, C... отложенія ординарной, двойной, тройной и т. д. длины основанія линейнаго масштаба возставляютъ перпендикуляры AE, BD, CF.... къ первоначально прочерченной прямой; на одномъ изъ нихъ, напримѣръ, BD откладываютъ равныя между собою, но *совершенно произвольныя части* $Bt = tu = uv = \ldots\ldots zD$, числомъ n. Чрезъ точки отложенія t, u, v...z, D проводятъ линіи, параллельныя основанію AB, соединяютъ точку E съ p и черезъ точки q, r, s и B проводятъ линіи, параллельныя Ep. Тогда $pB = ET$ и $AB - pB = ED - ET$, т. е. $Ap = TD = \frac{1}{m}a$. Изъ подобія



Черт. 41.

треугольниковъ: 1) Bxt и BDT, 2) Byu и BDT, 3) Bov и BDT легко видѣть, что

$$tx = TD \cdot \frac{Bt}{BD}, \quad | \quad uy = TD \cdot \frac{Bu}{BD}, \quad | \quad vo = TD \cdot \frac{vB}{BD},$$

или вслѣдствіе того, что

$$DT = \frac{1}{m} a \text{ и } Bt = \frac{1}{n} BD, \quad Bu = 2 \cdot \frac{1}{n} \cdot BD;$$

$$Bv = 3 \cdot \frac{1}{n} \cdot BD, \ldots\ldots$$

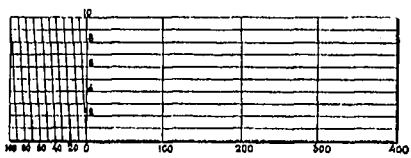
найдемъ:

$$tx = \frac{1}{m} a \cdot \frac{1}{n} = \frac{a}{mn} \quad | \quad uy = 2\frac{a}{mn} \quad | \quad vo = 3\frac{a}{mn} \text{ и т. д.}$$

§ **43. Точность поперечнаго масштаба.** Величина tx (черт. 41) будетъ наименьшею длиною или *наименьшимъ дѣленіемъ линейнаго поперечнаго масштаба.* При a=1 дюйму и m=n=10, наименьшее дѣленіе будетъ $\frac{1}{100}$ дюйма, и если 1 дюймъ соотвѣтствовалъ 100 саженямъ мѣстности, то значеніе наименьшаго дѣленія масштаба будетъ 1 сажень мѣстности.

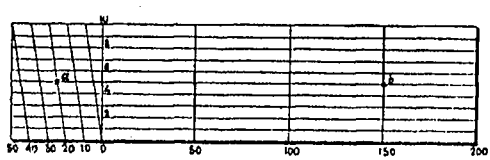
Число саженъ мѣстности, соотвѣтствующее наименьшей долѣ основанія поперечнаго масштаба, различаемой невооруженнымъ глазомъ, будемъ называть точностью масштаба. Значеніе наименьшаго дѣленія не всегда соотвѣтствуетъ точности масштаба; но оно не можетъ быть менѣе точности масштаба.

На чертежѣ 42 построена діаграмма для, такъ называемыхъ, *сотенныхъ* масштабовъ, у которыхъ наименьшее дѣленіе есть сотая доля основанія. Если основаніе принято за 100 линейныхъ единицъ, то наименьшее дѣленіе масштаба равно 1 линейной единицѣ.



Черт. 42.

На чертежѣ 43 основаніе масштаба соотвѣтствуетъ 50 линейнымъ единицамъ мѣстности. Наименьшее его дѣленіе = 1 единицѣ. Это такъ называемый *пятидесятенный* масштабъ.



Черт. 43.

Точность масштаба зависитъ отъ того, что принять за основаніе. Если дается численный масштабъ и указано что именно принимается за основаніе линейнаго масштаба, то всегда легко найти точность масштаба, надо только знать, какова наименьшая доля основанія масштаба, разли-

чаемая невооруженнымъ глазомъ. Практика показываетъ, что *дюймъ можно дѣлить на 100 частей*, но такъ какъ 1 сажень=84 дюйма=48 вершковъ=100 сотокъ, то 1 дюймъ= $\frac{48}{84}$ вершка $=\frac{100}{84}$ сотки; а слѣдовательно $\frac{1}{100}$ дюйма $=\frac{48}{84.100}$ вершка $=\frac{100}{84.100}$ сотки, или $\frac{1}{100}$ дюйма $=\frac{1}{175}$ вершка $=$ $=\frac{1}{84}$ сотки; отсюда видно, что *сотку* возможно дѣлить, хотя и съ трудомъ, на *100 частей*, а *вершокъ* на *200 частей*. Пусть данъ масштабъ $\frac{1}{8400}$ и за основаніе взятъ 1 дюймъ; слѣдовательно, въ 1 дюймѣ считается 100 саж.; находимъ точность масштаба: 1 дм. соотвѣтствуетъ 100 саженямъ, слѣдовательно $\frac{1}{100}$ дюйма соотвѣтствуетъ $\frac{100\text{ саж.}}{100}=1$ саж. Для масштаба $\frac{1}{10000}$ при основаніи, равномъ соткѣ, получаемъ ту же точность.

При основаніи, равномъ вершку, для масштаба $\frac{1}{4800}$ точность равна 0,5 сажени.

Употребленіе линейнаго поперечнаго масштаба основывается на пріемѣ его построенія,—такъ, чтобы по масштабу черт. 43 взять 175 единицъ, ножки циркуля размѣщаютъ въ точки *b* и *a*, между которыми заключается $150+5+$ $+20=175$ линейныхъ единицъ.

§ 44. Переходъ отъ одного масштаба къ другому, имѣющемуся на лицо. 1) Если на планѣ сдѣлано указаніе, въ какомъ масштабѣ онъ составленъ, а линейнаго *поперечнаго масштаба не начерчено*, между тѣмъ подъ руками имѣется какой-либо другой, то, пользуясь этимъ послѣднимъ, можно по плану узнавать длины линій мѣстности. При этомъ приходится дѣлать переходъ отъ одного масштаба къ другому или, какъ говорятъ, установить *„переходъ масштабовъ“*.

Если планъ начерченъ въ численномъ масштабѣ $\frac{1}{m}$, а подъ руками имѣется діаграмма, соотвѣтствующая масштабу $\frac{1}{n}$, то одна и та же линія плана въ *a* дюймовъ выразитъ на мѣстности при масштабѣ $\frac{1}{m}$ прямую въ *am* дюймовъ, а по другому (имѣющемуся подъ руками) она будетъ *an* дюймовъ. Числа дюймовъ *am* и *an* или, все равно, числа саженей

$$\frac{am}{84}=A \text{ и } \frac{an}{84}=A'$$

будутъ относиться между собой, какъ

$$A : A' = m : n.$$

Откуда искомое число A саж. по найденному при посредствѣ имѣющагося масштаба числу A' выразится такъ:

$$A = A' . \frac{m}{n},$$

т. е. истинное *число* A саженъ каждой линіи плана получится, если мы найденное (по имѣющемуся подъ руками масштабу) число A' саженъ умножимъ на отношеніе знаменателей масштабовъ $\frac{m}{n}$ (*дѣйствительнаго и имѣющагося подъ руками*).

Пусть, напримѣръ, планъ начерченъ въ масштабѣ 30 саж. въ дюймѣ, а имѣющійся на лицо 100 с. въ дюймѣ, тогда

$$\frac{m}{n} = \frac{30.84}{100.84} = 0{,}3.$$

Замѣчаніе. Если, пользуясь тѣмъ же масштабомъ, вычислимъ площадь по плану и она окажется, напримѣръ, P' квадратныхъ саженъ, то истинная площадь P фигуры найдется по извѣстной теоремѣ геометріи, что *площади подобныхъ фигуръ относятся, какъ квадраты сходственныхъ сторонъ*.

Слѣдовательно

$$\frac{P}{P'} = \frac{(A)^2}{(A')^2} = \left(\frac{m}{n}\right)^2; \text{ отсюда } P = P' . \left(\frac{m}{n}\right)^2.$$

Пусть $P' = 300$ кв. саженямъ, находимъ

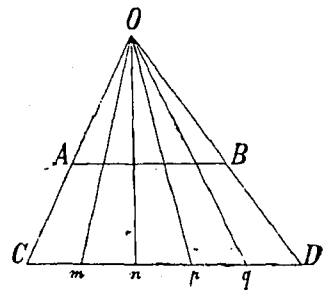
$P = 300 \times (0{,}21)^2 = 300 \times 0{,}0441 = 3 \times 4{,}41 = 13{,}23$ кв. сажени.

II) Составить планъ въ 1 дюймѣ 80 саженъ, пользуясь имѣющимся на лицо—въ 1 сотнѣ 100 саженъ. Линія мѣстности въ A саженъ, на планѣ, въ заданномъ уменьшеніи $\frac{1}{80 \times 84} = \frac{1}{6720}$, будетъ $\frac{A}{6720} = a$. По имѣющемуся на лицо масштабу $\frac{1}{10000}$ той же длиной a на планѣ выражается линія мѣстности $A' = a \times 10000$ саж., т. е. $A' = \frac{A}{6720} . 10000 = A \frac{10000}{6720}$.

Вообще же, если $\frac{1}{6720} = \frac{1}{m}$, а $\frac{1}{10000} = \frac{1}{n}$, то $A' = A \frac{n}{m}$ или опять $A : A' = m : n$. На практикѣ, пользуясь сотеннымъ масштабомъ, достаточно просто знать a до 0,0001 (сотыхъ долей—сотки). Напр., $A = 690$ саж., тогда $a = (690 : 6720) = 0{,}1027$, т. е. $a = 10{,}27$ сотокъ (на планѣ).

§ 45. Пріемъ раздѣленія основанія масштаба на заданное число частей. При построеніи поперечнаго масштаба приходится основаніе масштаба (сотку, вершокъ, дюймъ) дѣлить на 10,

20 и т. п. заданное число частей. Такое дѣленіе можетъ быть сдѣлано на основаніи задачи элементарной геометріи о дѣленіи линіи на заданное число равныхъ частей[1]). Болѣе точное построеніе въ этой задачѣ достигается лучше всего слѣдующимъ способомъ: проводится линія, параллельная основанію и на ней откладывается цѣлое число произвольныхъ, но равныхъ, частей (на которое желаютъ раздѣлить основаніе). Положимъ, что (черт. 45) основаніе есть линія AB, а CD— линія, ей параллельная; основаніе требуется раздѣлить на 5 частей. Отложимъ на CD пять произвольныхъ, но равныхъ между собою частей, соединимъ C съ A и B съ D; на продолженіи линій CA и DB получимъ точку O. Съ ней соединимъ всѣ точки отложенія m, n, p и q, тогда линія AB разобьется на требуемое число равныхъ частей.



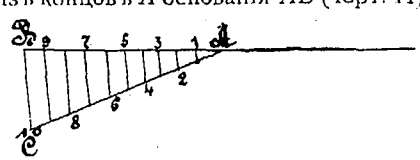
Черт. 45.

§ **46. Повѣрка изготовленнаго поперечнаго линейнаго масштаба.** Повѣрка заключается въ томъ, что съ помощью циркуля убѣждаются въ равенствѣ линій, соотвѣтствующихъ основанію масштаба $AB = BC =$..... (черт. 41), а затѣмъ въ равенствѣ долей основанія, т. е.

сцерва $Ap = pq =$...., затѣмъ $Aq = pr = qs =$...., и наконецъ $TD = sB = 2ov$ и т. д.

---

[1]) т. е., проведя черезъ одинъ изъ концовъ A основанія AB (черт. 44) подъ произвольнымъ угломъ прямую AC, отложить на этой прямой отъ ея начала (конца A основанія) 10, 20.... (вообще заданное) число произвольныхъ равныхъ между собою частей (на которое желаютъ раздѣлить основаніе) и, соединивъ затѣмъ конецъ послѣдней отложенной части со вторымъ концомъ B основанія, провести къ этой линіи BC черезъ всѣ точки отложенія параллели, которыя разсѣкутъ основаніе на заданное число частей.

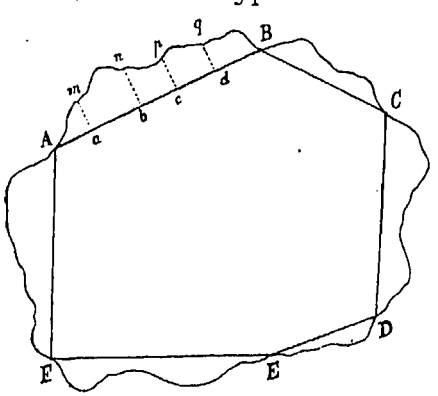


Черт. 44.

ГЛАВА III.

Съемка экеромъ и построеніе на бумагѣ кривыхъ и ломанныхъ линій.

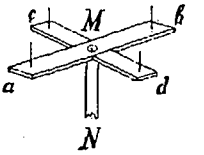
§ 47. **Съемка кривыхъ линій и понятіе объ экерѣ.** Въ геодезіи, кромѣ прямыхъ линій, приходится имѣть дѣло съ кривыми и ломанными линіями, являющимися границею двухъ сосѣднихъ контуровъ. Положеніе точекъ и элементовъ кривой *AmnpqB*, (черт. 46) на которые можно разбить кривую, т. е. частей *Am*, *mn*, *np*, *pq* и *qB*, опредѣляется относительно вспомогательной прямой (магистрали) *AB*, какъ объ этомъ уже упоминалось въ § 6, помощію 1) опущенныхъ изъ точекъ *m*, *n*, *p*, *q*, кривой *AB* перпендикуляровъ *ma*, *nb*, *pc* и *qd* на прямую *AB*, называемыхъ *ординатами*, и 2) *абсциссъ Aa*, *Ab*, *Ac*, *Ad* и *AB*. Абсцисса *Aa* и ордината *ma* вмѣстѣ называются координатами точки *m*. Абсциссы обыкновенно измѣряются стальной лентой, а ординаты—рулеткой. Чертежъ, который ведется въ полѣ „отъ руки", „на глазъ" и на которомъ дѣлаются всѣ надписи сдѣланныхъ промѣровъ, принято называть *абрисомъ*. Приборъ, служащій для построенія перпендикуляровъ, принято называть экеромъ.



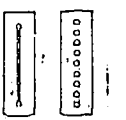
Черт. 46.

§ 48. **Простѣйшіе экеры и ихъ устройство.** Назначеніе на мѣстности линій взаимно перпендикулярныхъ производится посредствомъ простѣйшаго прибора—*экера*. Экеры бываютъ *простые* и *отражательные*. Самый простой экеръ состоитъ

изъ крестообразно сложенныхъ линеекъ *ab* и *cd*, имѣющихъ на концахъ заостренные шпеньки (черт. 47). Въ точкѣ *M* пересѣченія прямыхъ *ab* и *cd*, соединяющихъ подошвы перпендикулярно стоящихъ на линейкахъ шпеньковъ, помѣщается центръ просверленной дыры, въ которую приходится верхушка (шейка) кола *N*, заостреннаго снизу. Крестъ иногда замѣняется полнымъ металлическимъ кругомъ съ четырьмя діоптрами на концахъ двухъ взаимно перпендикулярныхъ діаметровъ. *Діоптры*, замѣняя шпеньки, имѣютъ видъ пластинокъ съ узкими прорѣзами (черт. 49). Діоптръ, повертываемый къ глазу наблюдателя, будемъ называть окулярнымъ или *глазнымъ*, а другой — діаметрально ему противоположный и обертываемый къ мѣстному предмету — *предметнымъ* или объективнымъ. Узкій прорѣзъ глазного діоптра замѣняется иногда рядомъ круглыхъ отверстій, расположенныхъ по одной прямой (черт. 50), а вмѣсто щели на предметномъ діоптрѣ дѣлаютъ широкій прорѣзъ съ натянутымъ вдоль него по серединѣ конскимъ волосомъ (черт. 51).



Черт. 47.


Черт. 49, 50

Отвѣсную плоскость, проходящую чрезъ волосъ предметнаго и одну изъ точекъ глазного діоптра называютъ *коллимаціонною плоскостью діоптровъ*.

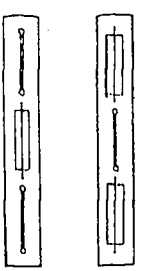

Черт. 51.

Дѣйствіе, состоящее въ совмѣщеніи коллимаціонной плоскости діоптровъ съ даннымъ предметомъ мѣстности, называется *визированіемъ* на данный предметъ. Линія, лежащая въ коллимаціонной плоскости и проходящая черезъ глазъ наблюдателя и предметъ мѣстности, называется *линіей визированія*.

Линейку, имѣющую на своихъ концахъ діоптры, называютъ *алидадою*.

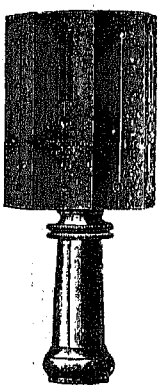
Для визированія чрезъ діоптры на точку мѣстности, поворачиваютъ алидаду инструмента съ прикрѣпленными къ ней діоптрами до тѣхъ поръ, пока, смотря сквозь одно изъ отверстій глазного діоптра, увидятъ, что волосъ предметнаго діоптра покрываетъ требуемую точку мѣстности.

Иногда, для возможнаго визированія по двумъ противоположнымъ направленіямъ, не измѣняя положенія алидады, на каждой парѣ діоптровъ помѣщаются двѣ или три коллимаціонныя плоскости; при чемъ глазныя отверстія и предметные волоски размѣщаются на пластинкахъ такъ, какъ показано на чертежѣ 52.

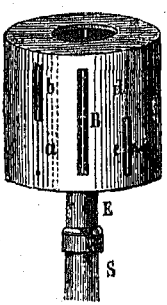

Черт. 52.

Предметный діоптръ въ видѣ узкой щели обладаетъ меньшею ясностью изображенія и меньшимъ удобствомъ при визированіи, чѣмъ при широкомъ разрѣзѣ, тѣмъ не менѣе узкая щель имѣетъ то преимущество, что одна и та же коллимаціонная плоскость можетъ служить для визированія по двумъ противоположнымъ направленіямъ.

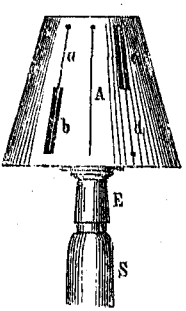
Діоптры экеровъ располагаютъ иногда такъ, что ими можно на мѣстности назначить, кромѣ прямого угла, также и углы въ 180°, 45° и 135°. Съ этою цѣлью діоптры располагаются на боковой поверхности восьмигранной призмы, цилиндра, конуса, сферы, а экеры соотвѣтственно называютъ *восьмигранный, цилиндрическій, коническій* и *сферическій*. Видъ такихъ экеровъ указанъ на чертежахъ 53—56.



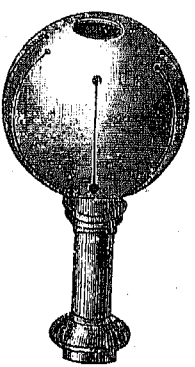
Черт. 53.



Черт. 54.



Чорт. 55.



Черт. 56.

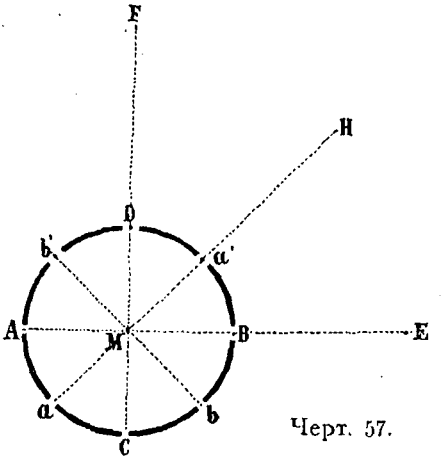
Коническій и сферическій экеры употребляются для наклонныхъ визированій въ горныхъ странахъ.

§ 49. Повѣрка простыхъ экеровъ. Отъ крестообразнаго экера слѣдуетъ требовать, чтобы его *плоскости визированія пересѣкались подъ прямымъ угломъ*, а у остальныхъ, помимо этого, согласно съ ихъ устройствомъ,—чтобы *коллимаціонныя плоскости образовали углы въ 45°, 90°, 180° и 135°*.

Повѣрка перпендикулярности плоскостей производится такъ (черт. 57). Воткнувъ отвѣсно палку экера *M*, направляютъ коллимаціонную плоскость *AB* на точку *E*, вращая экеръ около вертикальной оси, и по направленію другой плоскости *CD* выставляютъ вѣху *F*. Повернувъ затѣмъ экеръ на четверть полнаго оборота около вертикальной оси, придаютъ новое расположеніе его діоптрамъ.

Если оба діоптра глазной и предметный имѣютъ только узкіе прорѣзы и дозволяютъ визировать по взаимнопротивоположнымъ направленіямъ, то направляютъ колли-

маціонную плоскость діоптровъ DC на вѣху E и смотрятъ, пройдетъ ли черезъ вѣху F первая коллимаціонная плоскость BA. Если да, то условіе выполнено, т. е. экеръ даетъ прямой уголъ $DMB = DMA$.

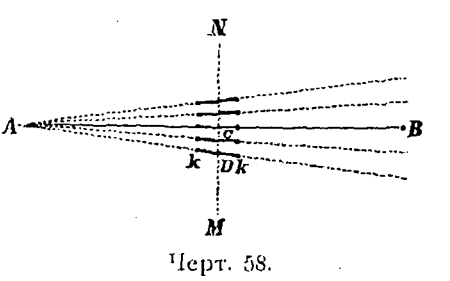


Черт. 57.

Подобнымъ же образомъ провѣряется взаимное положеніе коллимаціонныхъ плоскостей восьмиграннаго, коническаго, цилиндрическаго и сферическаго экеровъ. Пусть, напр., провѣряется цилиндрическій экеръ. Въ немъ, вмѣсто одной, устроены двѣ коллимаціонныя плоскости, помѣщенныя одна надъ другою. Поэтому прежде всего убѣждаются въ томъ, что *каждая пара коллимаціонныхъ плоскостей взаимно совмѣщается*. Для этого провѣшиваютъ прямую AB (черт. 58) и на мѣсто вѣхи C ставятъ палку экера; направивъ одну коллимаціонную плоскость на вѣху A, смотрятъ, проходитъ ли другая черезъ вѣху B.

Убѣдившись въ совпаденіи парныхъ коллимаціонныхъ плоскостей, выставляютъ по направленію каждыхъ діоптровъ вѣхи E, F и H, какъ указано на чертежѣ 57, затѣмъ даютъ верхней части экера на палкѣ M одну восьмую полнаго оборота, т. е. плоскость AB наводятъ на вѣху H и смотрятъ,—проходятъ ли плоскости aa' черезъ F и bb' черезъ E. Если да, то условіе выполнено, т. е. дѣйствительно на мѣстности возможно съ помощію повѣряемаго экера *сразу* строить по желанію углы въ 45°, 90°, 135° и 180°.

Если возможно визировать экеромъ по двумъ взаимно противоположнымъ направленіямъ, то помощію такого экера возможно найти точку c, принадлежащую данной прямой AB (черт. 58). Достигнуть сразу, безъ вѣшенія линіи, чтобы подошва палки экера пришлась на данную прямую AB — трудно, но возможно: для этого нужно лишь сдѣлать *ряды послѣдовательныхъ попытокъ*, пока не обнаружится такая точка c стоянія экера, въ которой будетъ казаться, что взаимно противополож-

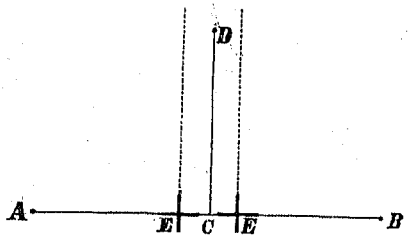


Черт. 58.

ныя коллимаціонныя плоскости покрываютъ вѣхи A и B, какъ это видно изъ чертежа 58.

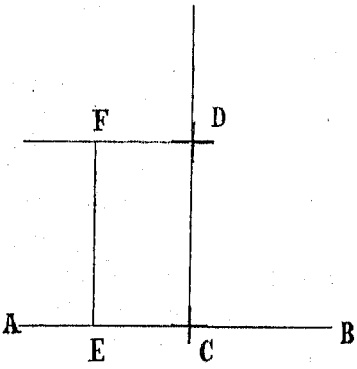
§ 50. Употребленіе простыхъ экеровъ весьма несложно. Чтобы возставить перпендикуляръ CD къ прямой AB (черт. 59) въ данной на ней точкѣ C, надо, ставъ въ нее съ экеромъ, направить одну коллимаціонную плоскость діоптровъ по данной прямой на вѣху A или B, а по направленію другой перпендикулярной коллимаціонной плоскости выставить вѣху D.

Чтобы изъ данной точки D (черт. 59) опустить перпендикуляръ DC на данную прямую AB, становятся по указанію помощника (или при помощи двойного противоположнаго визированія) на данную прямую AB и *двигаются по ней* изъ E къ C то вправо, то влѣво до тѣхъ поръ, пока, смотря въ перпендикулярно стоящую коллимаціонную плоскость діоптровъ, не увидятъ вѣху D на волосѣ предметнаго діоптра, въ то время какъ первая коллимаціонная плоскость будетъ проходить черезъ вѣху A, — тогда точка стоянія C будетъ искомою подошвою перпендикуляра CD.



Черт. 59.

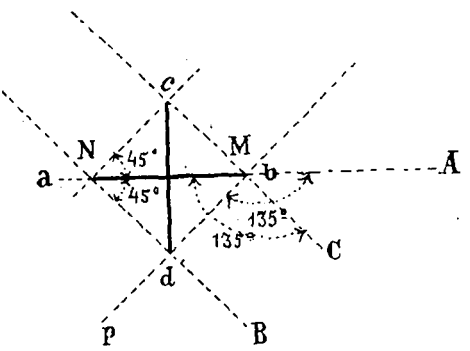
Съ помощію экера можно провести на мѣстности линію параллельную данной. Пусть даны прямая AB (черт. 60) и точка D; надо провести черезъ D линію, параллельную AB. Задача будетъ рѣшена, если изъ D опустимъ перпендикуляръ DC и изъ D возставимъ къ перпендикуляру CD новый—второй перпендикуляръ DF. Если точка D не доступна, то на прямой AB берутъ точку E, возставляютъ перпендикуляръ EF и на него изъ точки D опускаютъ перпендикуляръ DF.



Черт. 60.

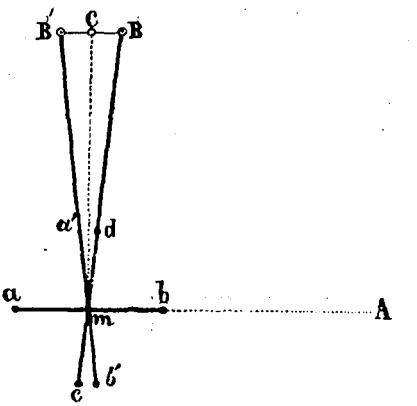
Если четыре шпенька крестообразнаго экера a, b, c и d (черт. 61) отстоятъ отъ средины M на равномъ разстояніи, то и съ помощью него можно (какъ и коническимъ или цилиндрическимъ экерами) провести на мѣстности прямыя, пересѣкающіяся подъ углами въ 45° и 135°. Чертежъ 61 показываетъ, что достаточно съ такимъ экеромъ встать надъ данною точкою N данной прямой NA такъ, чтобы шпенекъ a находился надъ точкою N

и направить плоскость *ab* на вѣху *A*, а по направленію *ad* выставить вѣху *B*; линіи *NA* и *NB* пересѣкутся подъ угломъ 45°, ибо треугольникъ *aMd* равнобедренный — прямоугольный треугольникъ. Если же надъ точкою *N* установить передній шпенекъ *b*, то можно по направленіямъ *cb* и *bd* выставить вѣхи *C* и *P*, которыя опредѣлятъ линіи *bC* и *bP*, пересѣкающія линію *bA* подъ угломъ въ 135°.



Черт. 61.

§ 51. **Употребленіе невѣрнаго экера** основано на свойствахъ равнобедреннаго треугольника. Если экеръ не даетъ прямого угла (черт. 62), то при возставленіи перпендикуляра изъ данной точки *m* къ прямой *Am*, устанавливаютъ плоскость діоптровъ *ab* на вѣху *A*, а по направленію плоскости *cd* выставляютъ вѣху *B*, даютъ экеру четверть полнаго оборота, т. е. плоскость *cd* ставятъ на мѣсто плоскости *ab*. Діоптры *ab* займутъ положеніе *a'b'*; по направленію ихъ выставляютъ вѣху *B'* и отмѣряютъ по направленіямъ *mB* и *mB'* равныя длины (напр., 15—20 саж.), измѣряютъ *BB'*, полученный результатъ дѣлятъ пополамъ и отъ *B* вновь отмѣряютъ $BC = {}^1/_2\ BB'$. Линія *mC* будетъ искомый перпендикуляръ, такъ какъ углы *Cma* и *Cmb* составлены изъ

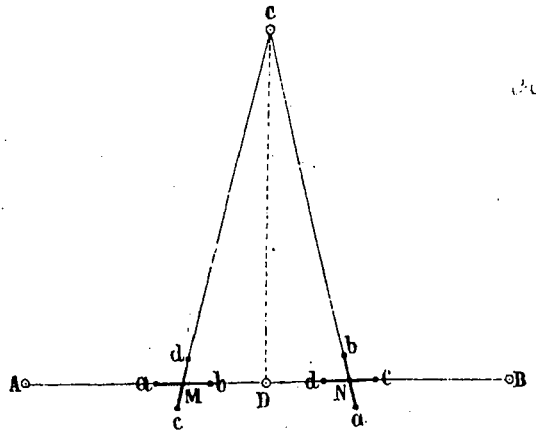


Черт. 62.

$$+\begin{cases} amB' = BmA \text{ и} \\ B'mC = CmB, \end{cases}$$

складывая которые, получаемъ $amB' + B'mC = AmB + BmC$ или $amC = CmA$.

Если надо изъ точки *C* *опустить перпендикуляръ* на прямую *AB* *невѣрнымъ экеромъ*, то (черт. 63) на прямой *AB* находятъ точку *M*, въ которой одна коллимаціонная плос-



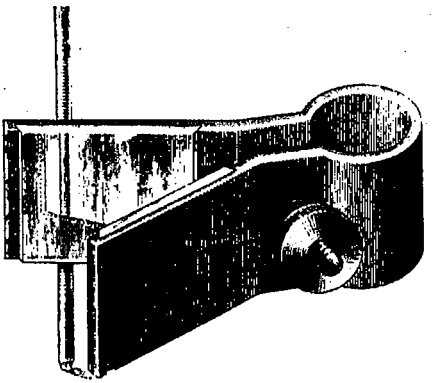
Черт. 63.

кость *ab* проходитъ черезъ данныя точки *A* и *B*, а другая *cd*—въ то же самое время черезъ данную точку *C*; *послѣ того какъ точка M найдена, экеру даютъ четвертъ оборота* и ищутъ на прямой *AB* точку *N*, для которой плоскость *cd* пройдетъ черезъ прямую *AB* въ то время, какъ плоскость *ab* — черезъ точку *C*. Такъ какъ при основаніи *MN* углы *dMb* и *dNb* равны, то треугольникъ *MCN* съ равными при основаніи *MN* углами будетъ равнобедренный. Измѣривъ *MN* и отложивъ отъ *N* линію $ND = {}^1/_2\ MN$, находятъ искомую подошву *D* перпендикуляра *CD*.

§ **52. Отрожательные экеры** бываютъ зеркальные и призменные. Среди первыхъ встрѣчаются однозеркальные, двузеркальные и трехзеркальные.



Черт. 64.



Черт. 65.

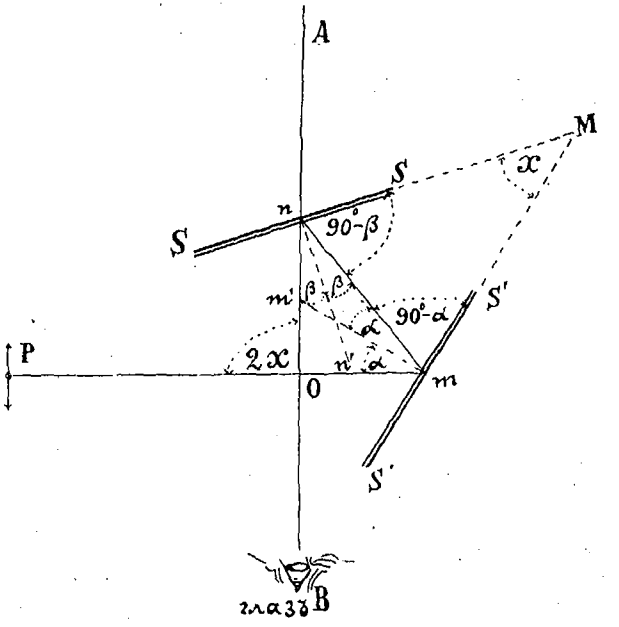
Въ *двузеркальномъ* экерѣ, предложенномъ *Адамсомъ* (черт. 64), оба зеркала прикрѣплены въ внутренней поверхности двуграннаго угла мѣдной оправы. Надъ зеркалами находятся два отверстія для визированія черезъ нихъ на точки мѣстности. Въ одной изъ двухъ перпендикулярныхъ къ сторонамъ двуграннаго угла пластинкѣ (нижней)

ввинчивается рукоятка (черт. 64) съ крючкомъ для отвѣса [1]). Зеркала образуютъ между собою уголъ въ 45°, причемъ установка зеркалъ достигается *исправительными* винтами, помѣщаемыми снаружи оправы (на чертежѣ 64 см. слѣва).

За послѣднее время экеру придаютъ малые размѣры и болѣе простую форму, указанную на чертежѣ 65, помѣщая инструментъ при переноскѣ въ жилетный карманъ.

Употребленіе экера основано на слѣдующемъ.

Пусть зеркала образуютъ между собою уголъ x, (черт. 66) точка O принадлежитъ прямой AB, надъ которою по



Черт. 66.

отвѣсу установленъ экеръ такъ, что глазъ наблюдателя помѣщается въ растворѣ между зеркалъ SS и $S'S'$ противъ вырѣза, находящагося надъ зеркаломъ SS, и пусть возможенъ лучъ зрѣнія OnA вдоль данной прямой BA. Лучъ свѣта Pm, идущій отъ вѣхи P, отразится сперва отъ зеркала S', приметъ направленіе mn, а затѣмъ вторично отразится отъ зеркала S. Лучи, падающій Pm и дважды отраженный nO, пересѣкутся подъ угломъ $POn = 2x$. Чтобы доказать это, возставимъ къ поверхностямъ SS и $S'S'$ обоихъ зеркалъ перпендикуляры mm' и nn' и обозначимъ углы па-

[1]) Ручка съ отвѣсомъ, въ случаѣ надобности, можетъ быть ввернута и въ верхнюю дощечку, для чего въ ней дѣлается соотвѣтствующее отверстіе (см. черт. 64).

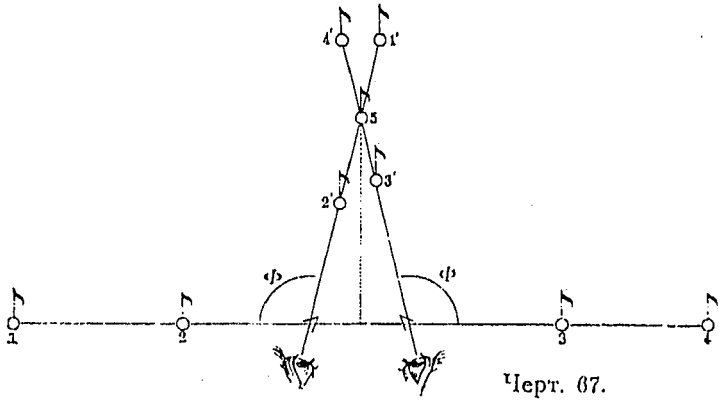
денія луча Pm на зеркало S' черезъ α, а луча mn отраженнаго отъ S' и падающаго на зеркало S—черезъ β. Изъ чертежа видно, что уголъ POn какъ внѣшній для треугольника Onn равенъ:
$POn = Onn + nnO = 2\alpha + 2\beta = 2(\alpha + \beta)$, а изъ треугольника nMn слѣдуетъ, что: $x = 180^0 - [(90 - \alpha) + (90 - \beta)] = \alpha + \beta$, слѣдовательно уголъ $POn = 2x$. При $x = 45^0$, уголъ $POn = 90^0$.

Изъ теоріи двузеркальнаго экера становится понятнымъ и употребленіе его. Чтобы изъ точки O прямой AB возставить перпендикуляръ OP, нужно стать съ экеромъ въ данную точку O такъ, чтобы остріе отвѣса приходилось въ точку O, лицо наблюдателя было бы обращено къ одной изъ данныхъ точекъ, напр., A, причемъ глазъ съемщика помѣщался бы въ растворѣ между зеркалъ, затѣмъ черезъ прорѣзъ надъ зеркаломъ S слѣдуетъ смотрѣть на вѣху A и послать рабочаго въ ту сторону, въ которую желаютъ возставить перпендикуляръ, приказывая ему перемѣщаться съ вѣхою P вправо или влѣво до тѣхъ поръ, пока вѣха P покажется своимъ изображеніемъ въ зеркалѣ S (см. черт. 65) *и станетъ какъ бы продолженіемъ вѣхи A, видимой простымъ глазомъ* черезъ прорѣзъ (или поверхъ) оправы (черт. 66).

Замѣтивъ совпаденіе, даютъ знать рабочему, чтобы онъ отвѣсно воткнулъ вѣху P. Линія PO будетъ требуемый перпендикуляръ. Помощникъ съемщика, стоя за вѣхою A, наблюдаетъ, чтобы нить съ отвѣсомъ покрывала вѣху B, т. е. чтобы съемщикъ не сдвинулся съ данной прямой.

При опущеніи перпендикуляра PO на данную прямую AB изъ точки P, лежащей внѣ прямой AB, *съемщикъ* подъ наблюденіемъ помощника *двигается по прямой AB* до тѣхъ поръ, пока не дойдетъ до точки O, въ которой, наконецъ, увидитъ въ зеркалѣ S изображеніе вѣхи P подъ вѣхою A, на которую смотритъ онъ черезъ прорѣзъ оправы.

Повѣрка экера заключается въ томъ, что изъ точки 5



Черт. 67.

(черт. 67) внѣ данной прямой 1,2,3,4 опускаютъ на нее два

перпендикуляра,—одинъ, обернувши зеркала къ вѣхамъ 1 и 2 и другой—къ вѣхамъ 3 и 4. Для вѣрнаго экера оба перпендикуляра должны сливаться въ одинъ.

Невѣрность положенія зеркалъ исправляется (сличи черт. 67 съ черт. 63) винтами при зеркалахъ, почему ихъ и называютъ *исправительными*.

§ 53. Сравненіе достоинствъ различныхъ экеровъ. Сравнивая *достоинства различныхъ экеровъ* между собою, нужно отмѣтить, что отражательные экеры портативнѣе, т. е. болѣе удобны по своимъ размѣрамъ и легкости для переноски. За то простымъ экеромъ вѣшеніе *длинныхъ линій* болѣе удобно, чѣмъ зеркальнымъ. Съ отражательнымъ экеромъ можно быстрѣе двигаться по прямой при опусканіи перпендикуляра, чѣмъ съ простымъ, а слѣдовательно ими достигается быстрота съемки и экономія во времени. Простымъ экеромъ болѣе точно намѣчается помощію кола-штатива точка (подошва), обозначающая перпендикуляръ.

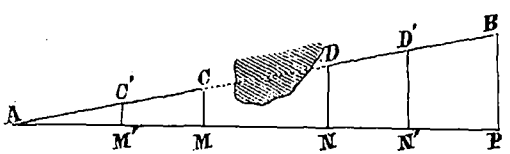
Двузеркальный экеръ, разъ повѣренный относительно вѣрности зеркалъ, все же требуетъ ихъ установки отъ времени до времени.

§ 54. Значеніе экера при съемкахъ. На практикѣ экеръ рѣдко употребляется, какъ самостоятельный инструментъ; чаще его приходится примѣнять *какъ вспомогательный при другихъ инструментахъ*, дающихъ величину угла *въ доляхъ градуса или графически*.

Экеромъ, помимо проведенія (построенія) перпендикуляровъ, можно рѣшать еще рядъ задачъ, напр., проводить линіи, параллельныя данной прямой, черезъ точки доступныя и недоступныя; съ помощью него также можно опредѣлять неприступныя разстоянія, если онъ даетъ углы въ 45^0, строя, напр., равнобедренный треугольникъ съ углами при основаніи въ 45^0.

Укажемъ надъ наиболѣе характерныя изъ этихъ задачъ.

1) Пусть, напримѣръ, требуется провѣшить линію AB (черт. 68) черезъ мѣстное препятствіе, находящееся между точками A и B—въ частномъ случаѣ—проложить просѣкъ черезъ лѣсъ.



Черт. 68.

Для рѣшенія этой задачи поступаютъ на мѣстности такъ: намѣчаютъ направленіе AP, болѣе или менѣе близко подходящее къ AB: въ лѣсу вѣшать линію AP *на голосъ* человѣка, стоящаго въ P или на поднимающійся дымъ отъ костра, разложеннаго въ P, вечеромъ на свѣтъ фонаря, стоящаго въ P. Изъ точки B опускаютъ перпендикуляръ BP и измѣряютъ 1) длину линіи AP по первоначально (осторожно) намѣ-

ченному узкому просѣку AP и 2) длину перпендикуляра BP. Затѣмъ на линіи AB ищутъ точки C и D, принадлежащія искомому направленію AB. Для чего, взявъ на прямой AP, отъ точки A два разстоянія: AM и AN, возставляютъ въ концахъ ихъ M и N два перпендикуляра MC и MD и на нихъ откладываютъ длины:

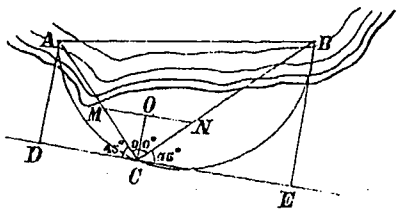
$$MC = \frac{BP}{AP} \cdot AM \text{ и } ND = \frac{BP}{AP} \cdot AN,$$

вычисляемыя изъ подобныхъ треугольниковъ

1) APB и AMC и 2) APB и AND.

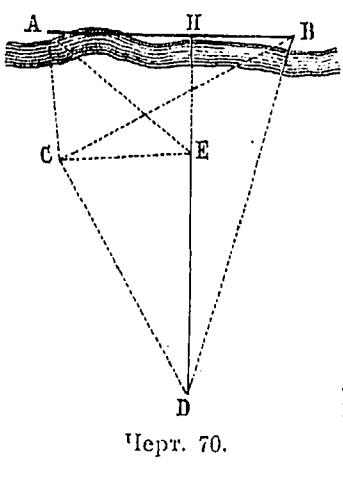
Для контроля обыкновенно, кромѣ точекъ C и D, находятъ аналогичнымъ путемъ еще точки C' и D' на прямой AB. Если всѣ дѣйствія правильны, то точки A, C и C' такъ же, какъ и D, D' и B, *должны* лежать на одной прямой (AC и DB) $ACDB$.

II) Требуется *опредѣлить длину неприступнаго разстоянія* AB (чертежъ 69).



Черт. 69.

Взявъ произвольную точку C, двигаются по линіи AC до тѣхъ поръ съ экеромъ, пока не найдутъ подошву C перпендикуляра BC, опущеннаго изъ B на AC, т. е. дѣлаютъ AB діаметромъ окружности, проходящей черезъ C. Затѣмъ на сторонахъ прямого угла ACB отмѣриваютъ произвольной длины, но равные между собою, катеты CM и CN и, измѣривъ гипотенузу MN, намѣчаютъ ея средину O, послѣ чего къ линіи OC изъ C проводятъ перпендикуляры CD и CE, очевидно, образующіе 1) прямую DCE и 2) съ прямыми линіями AC и CB углы DCA и BCE по 45°. Изъ A и B опускаютъ на прямую DCE перпендикуляры AD и BE, длины которыхъ будутъ $AD = DC$ и $BE = CE$. Измѣривъ DC и CE, имѣемъ $AC^2 = 2DC^2$ и $BC^2 = 2CE^2$, а потому искомое разстояніе



Черт. 70.

$$AB = \sqrt{2(DC^2 + CE^2)}$$

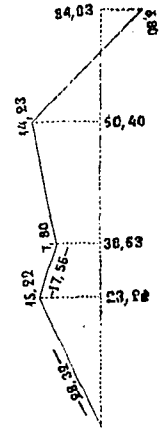
Имѣя подъ руками простой экеръ, дающій углы въ 45°, ту же задачу можно рѣшить проще, а именно: взявъ произвольную точку C, (черт. 70) къ сторонамъ AC и BC въ точкѣ C возставляютъ

перпендикуляры: $CE \perp AC$ и $CD \perp BC$. На линіяхъ CE и CD находятъ точки E и D, въ которыхъ углы CEA и CDB равны 45°. Измѣривъ длину $DE = AB$, найдемъ искомое неприступное разстояніе. Равенство сторонъ DE и BA вытекаетъ изъ равенства треугольниковъ ABC и CDE, у которыхъ стороны $AC = CE$ и $CB = CD$, а сверхъ того углы $ACB = 90^0 - BCE = DCE$. Вслѣдствіе равенства треугольниковъ ABC и CDE углы BAC и CED также равны.

Линія DEH, какъ легко показать, перпендикулярна къ AB, что ясно слѣдуетъ изъ разсмотрѣнія четыреугольника $ACEH$, въ которомъ уголъ $CAB = CED$. Сумма угловъ $CED + CEH = 180^0$, а потому и $CAB + CEH = 180^0$; вслѣдствіе чего и $ACE + AHE = 180^0$, но $ACE = 90^0$; слѣдовательно, и AHE также равенъ 90°.

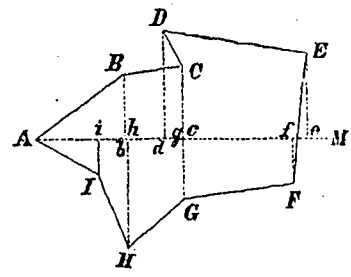
Изъ изложеннаго слѣдуетъ, что изъ любой точки на неприступное разстояніе можно опустить перпендикуляръ. Для чего достаточно сперва изъ произвольной точки E опустить перпендикуляръ, а затѣмъ чрезъ данную точку провести къ нему параллель.

§ 55. Съемка экеромъ ломанныхъ линій. Наиболѣе свойственный экеру пріемъ съемки,— это *способъ координатъ;* такъ, если бы относительно нѣкоторой прямой (на чертежѣ 71 — вертикальной) нужно было снять разомкнутую ломанную линію, влѣво расположенную отъ данной прямой, то *абсциссами точекъ перегиба* ломанной линіи были бы непосредственно измѣренныя разстоянія 23,22; 38,63; 60,40 и 84,83 отъ начала прямой (магистрали или *оси абсциссъ*), относительно которой ведется съемка, до подошвъ *опущенныхъ на нее перпендикуляровъ* (ординатъ) 15,22; 7,80; 14,23 и 5,80, записанныхъ у ихъ вершинъ (на абрисѣ). Длины прямыхъ, составляющихъ ломанную, также измѣряются, напр.,—28,32—; —17,56—и т. д. и записываются на абрисѣ при самыхъ прямыхъ.



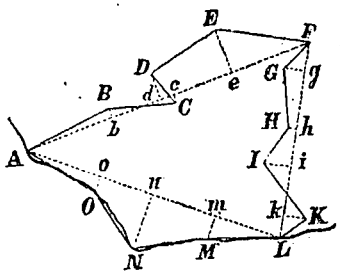
Черт. 71.

Тотъ же способъ координатъ можно рекомендовать какъ для съемки рельсъ (путей) на станціи, такъ и для съемки небольшихъ сомкнутыхъ контуровъ (черт. 72) ограниченныхъ прямыми линіями, въ мѣстности открытой (напр. для съемки лужайки внутри лѣса), а равно и для съемки криволинейныхъ границъ (черт. 73), хотя въ послѣднемъ случаѣ придется еще озаботиться опредѣленіемъ величины



Черт. 72.

угловъ *FAL*, *AFL* и *ALF* между магистралями *AF*, *FL* и *LA*. Впрочемъ въ томъ случаѣ, когда магистрали образуютъ треугольникъ, можно и избѣжать измѣренія угловъ.

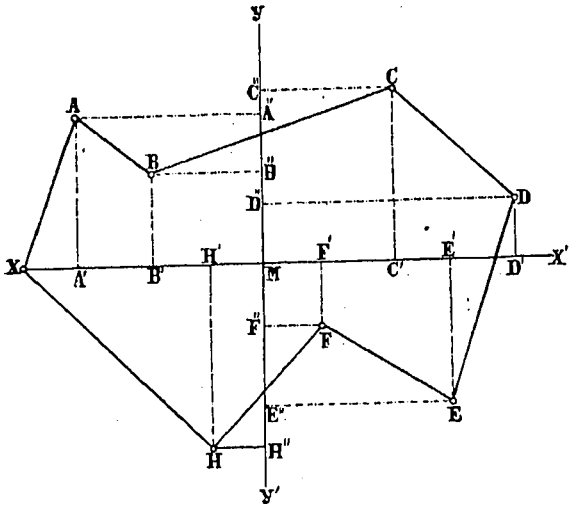


Черт. 73.

Въ первомъ случаѣ для съемки контура *ABCDEFGHIA* (черт. 72) достаточно черезъ точку *A* провѣшить прямую *AM*, приблизительно дѣлящую данный контуръ пополамъ, опустить на нее изъ всѣхъ вершинъ *A*, *B*, *C* и *I* контура перпендикуляры *Ii*, *Bb*, *Hh*, *Dd*, *Cc*, *Gg*, *Ff* и *Ee* и, замѣтивъ подошвы *i*, *b*, *h*, *d*, *c*, *g*, *f* и *e*, измѣрить какъ абсциссы *Ai*, *Ab*, *Ah*, . . . , *Ae*, направивъ ленту вдоль прямой *AM*, такъ и одновременно соотвѣтствующія имъ ординаты *Ii*, *Bb*, *Hh*, . . . и *Ee*, пользуясь второй лентой или рулеткой.

Во второмъ случаѣ положеніе контура *ABC* . . . *NOA* (черт. 73) опредѣляется относительно трехъ магистралей *AF*, *FL* и *LA* тѣмъ же способомъ координатъ, причемъ взаимное положеніе линій *AF*, *FL* и *LA* получится построеніемъ на бумагѣ треугольника *AFL* по тремъ измѣреннымъ на мѣстности его сторонамъ.

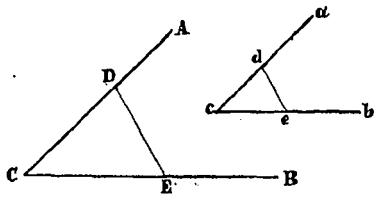
Иногда для съемки контура бываетъ достаточно посреди его провѣшить двѣ взаимно перпендикулярныя линіи, и относительно ихъ опредѣлять положеніе изгибовъ линій контура. черт. 72 bis). Построенные перпендикуляры не должны быть слишкомъ велики, *не* превышать 10-15 саж., поэтому избѣгаютъ такихъ длинныхъ перпендикуляровъ какъ *AA''* или *DD''*.



Черт. 72 bis.

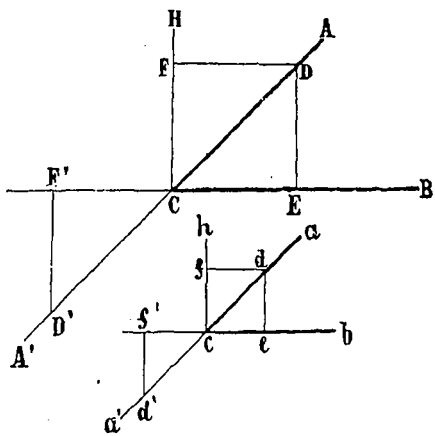
Что же касается *до опредѣленія угловъ* поворотовъ между магистралями, то они могутъ быть получены на бумагѣ путемъ построенія или косоугольныхъ, или прямоугольныхъ треугольниковъ. Такъ уголъ *ACB* (черт. 74) легко построится на бумагѣ, если на мѣстности будутъ измѣрены

лентой три линіи DC, CE и ED. При *построеніи на бумагѣ сторонъ cd, ce и ed, рекомендуется брать ихъ увеличенными въ одно и то же число,* напр., въ 5 или 10 *разъ* [1]). Съ помощію же экера уголъ ACB, если онъ острый (черт. 75), опредѣлится построеніемъ на бумагѣ треугольника dce по двумъ катетамъ de и ce, если въ полѣ изъ какой-либо точки D стороны AC опустимъ перпендикуляръ DE на сторону CB и измѣримъ DE и EC. Если внутри угла опустить перпендикуляра нельзя, то стороны AC и CB продолжаются, и на ихъ продолженіи строится прямоугольный треугольникъ $F'CD'$. Въ случаѣ же, когда данный уголъ ACB тупой (черт. 76), то въ смежныхъ съ нимъ углахъ, смотря по удобству, или въ ACE, или въ равномъ ему вертикальномъ ECD', строятъ прямоугольные треугольники ECD или $CD'E'$, или же, наконецъ, внутри даннаго тупого угла, изъ точки C, возставляютъ къ линіи CB перпендикуляръ CH и на него изъ точки D стороны CA опускаютъ второй перпендикуляръ DF. На бумагѣ въ послѣднемъ случаѣ строятъ сперва прямой уголъ bch, а затѣмъ на сторонѣ его ch— прямоугольный треугольникъ cfd.

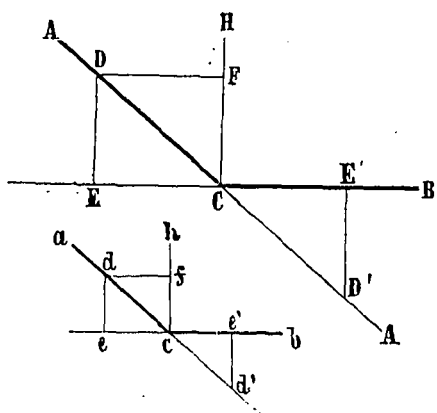


Черт. 74.

Съемка закрытаго контура совершается почти такъ же, какъ и открытаго, съ тою лишь разницей, что вокругъ контура, напр., лѣса,

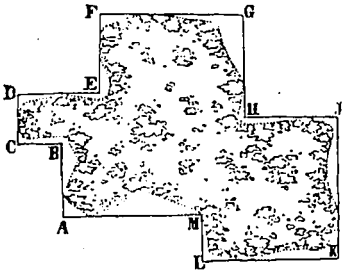


Черт. 75.



Черт. 76.

[1]) Умѣя снимать углы одной лентой, возможно снять одной лентой на мѣстности и построить затѣмъ на бумагѣ сомкнутый полигонъ (многоугольникъ).



Черт. 73 bis.

(черт. 73 bis)—предварительно прокладываютъ или треугольникъ, или прямоугольникъ съ 4, 5 и болѣе углами, смотря по виду контура (лѣса), который хотятъ заключить въ многоугольникъ изъ магистралей, а затѣмъ изгибы контура лѣса снимаютъ относительно магистралей методомъ координатъ.

ГЛАВА IV.

Угломѣрные инструменты, ихъ составныя части и принадлежности. Съемка угломѣрными инструментами.

§ 56. Раздѣленіе инструментовъ для опредѣленія угловъ на три вида. Прямыя линіи на земной поверхности могутъ пересѣкаться подъ различными углами. Технику приходится: 1) *опредѣлять величину* угла между данными линіями мѣстности и 2) проводить на мѣстности линіи, пересѣкающіяся подъ заранѣе заданнымъ угломъ. Особенно часто на мѣстности приходится разбивать прямой уголъ.

Снаряды, предназначенные для опредѣленія или построенія угловъ, могутъ быть:

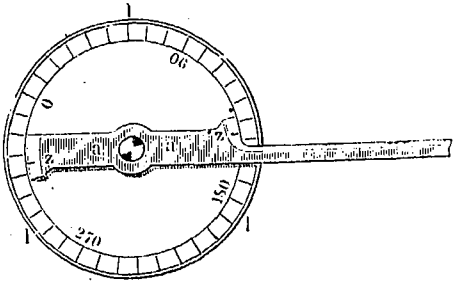
1) съ градусными дѣленіями, позволяющими имѣть величины угловъ въ доляхъ градуса; такіе снаряды принято называть *угломѣрными инструментами,* (угломѣромъ),

2) съ приспособленіями для *графическаго* опредѣленія угловъ, это—*мензулы,* дающія только изображеніе угла, но не его градусную мѣру,

3) снаряды съ постоянными углами въ 90°, 45°, 135° и 180°, это — *эккеры.*

§ 57. Углы, измѣряемые въ геодезіи. Въ геодезической практикѣ чаще приходится имѣть дѣло не съ самими углами, лежащими въ наклонныхъ къ горизонту плоскостяхъ, между линіями мѣстности, а съ ихъ горизонтальнымъ проложеніемъ. Углы, лежащіе въ горизонтальной плоскости, называютъ *горизонтальными* углами, въ отличіе отъ *угловъ наклоненія* линій, лежащихъ въ вертикальной плоскости и называемыхъ *вертикальными* углами.

§ 58. *А.* **Лимбъ и алидада.** Для полученія градусной величины угла достаточно вообразить въ его плоскости: 1) кругъ *I* съ нанесенными по его окружности дѣленіями,



Черт. 77.

обыкновенно изготовляемый изъ мѣди и называемый *лимбомъ* (черт. 77), центръ котораго совмѣщенъ съ вершиною измѣряемаго угла и 2) линейку *a*, вращающуюся на оси, въ центрѣ лимба, называемую *алидадой*, съ мѣткою - штрихомъ *z* на одномъ или на обоихъ ея концахъ. Эти два штриха *z* алидады суть слѣды воображаемаго діаметра лимба, проведеннаго по алидадѣ. Мѣтку *z* будемъ называть *индексомъ* или *указателемъ* алидады. Если представимъ себѣ, что діаметръ *zz* послѣдовательно совмѣщенъ со сторонами измѣряемаго угла, то число градусовъ, заключающееся между тѣми двумя точками лимба, въ которыхъ послѣдовательно останавливался одинъ и тотъ же индексъ алидады, (т. е. *разность отсчетовъ, сдѣланныхъ на лимбѣ* отъ его нуля до индекса алидады) дастъ величину измѣряемаго угла. Можно допустить также, какъ это встрѣчается, при устройствѣ буссолей и вертикальныхъ круговъ (см. дальше), что вращается въ центрѣ лимба не алидада, а самъ лимбъ, указатель же (или вся алидада) *zz* остается въ одномъ и томъ же *неизмѣнномъ положеніи*, а нулевой діаметръ лимба совмѣщается послѣдовательно со сторонами измѣряемаго угла. Разность отсчетовъ на лимбѣ, дѣланныхъ отъ его нуля по неподвижному индексу *z* опять дастъ величину измѣряемаго угла.

§ **59**. *Б.* **Діоптры**. Для удобства совмѣщенія линіи *zz* со сторонами измѣряемаго угла, въ плоскости, проходящей черезъ *zz* и перпендикулярной къ плоскости лимба и алидады, помѣщаются два *діоптра*. Діоптръ, повертываемый къ глазу наблюдателя, будемъ, какъ и прежде, (см. гл. III, § 48) называть окулярнымъ или *глазнымъ*, а другой—діаметрально ему противоположный и обертываемый къ мѣстному предмету—*предметнымъ* или объективнымъ.

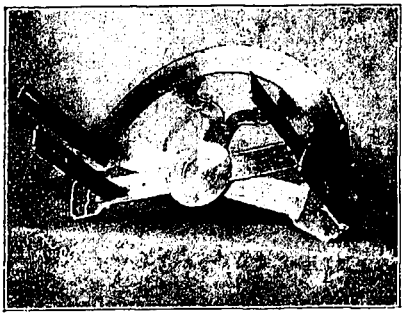
Отвѣсную плоскость, проходящую черезъ волосъ предметнаго и одну изъ точекъ глазного діоптра будемъ называть *коллимаціонною плоскостью діоптровъ*.

Дѣйствіе, состоящее въ совмѣщеніи коллимаціонной плоскости діоптровъ съ даннымъ предметомъ мѣстности, будемъ называть *визированіемъ* на данный предметъ. Линія, лежащая въ коллимаціонной плоскости и проходящая черезъ глазъ наблюдателя и предметъ мѣстности, называется *линіей визированія*.

Для визированія черезъ діоптры на точку мѣстности, поворачиваютъ алидаду инструмента съ прикрѣпленными

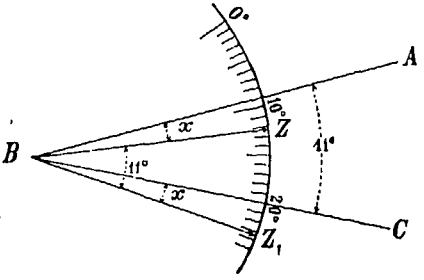
къ ней діоптрами (или лимбъ, если алидада неподвижна) до тѣхъ поръ, пока, смотря сквозь одно изъ отверстій глазного діоптра, увидятъ, что волосъ предметнаго діоптра покрываетъ требуемую точку мѣстности.

§ 60. **Старинная астролябія или графометръ.** Коллимаціонная плоскость діоптровъ можетъ, какъ сказано выше, проходить черезъ линію *zz* индексовъ алидады. Такое устройство обыкновенно и придавалось старинным угломѣрнымъ инструментамъ *астролябіямъ*. Астролябія 1716 г. изображена на чертежѣ 78, у нея на лимбѣ въ видѣ полукруга проведено нѣсколько концентрическихъ окружностей, изъ которыхъ первая раздѣлена на отдѣльныя пятки градусовъ, т. е. на 72 промежутка, вторая на градусы, т. е. на 360 частей, третья на полуградусы и четвертая на четверти градусовъ. Подпись на лимбѣ сдѣлана не у каждаго дѣленія, а какъ въ большинствѣ угломѣровъ при отдѣльныхъ десяткахъ, такъ что на лимбѣ можно видѣть цифры 0^0, 10^0, 20^0.... Во всѣхъ вообще астролябіяхъ подпись эта возрастаетъ по направленію отъ правой руки къ лѣвой (противъ хода часовой стрѣлки отъ 0^0 до 360^0). На концѣ алидады, въ четыреугольномъ прорѣзѣ, индексъ сдѣланъ въ видѣ зубца (см. на чертежѣ внизу слѣва).



Черт. 78.

§ 61. *B.* **Алидадный кругъ и мѣсто индекса.** Въ новѣйшихъ инструментахъ вмѣсто алидады помѣщается цѣлый алидадный кругъ и встрѣчается вмѣсто двухъ индексовъ три и четыре, равномѣрно распредѣленные по окружности лимба. Подпись дѣленій лимба идетъ по ходу часовой стрѣлки. Само-собой разумѣется, что на алидадномъ кругѣ при его вращеніи всѣ имѣющіеся на немъ діаметры описываютъ тотъ же самый уголъ, что и начальная линія индексовъ *zz*, проходящая черезъ коллимаціонную плоскость діоптровъ. Поэтому *индексъ алидады можетъ на любой уголъ отстоять отъ коллимаціонной плоскости визирнаго снаряда* (діоптровъ) и уголъ *ABC* (черт. 79) между двумя положеніями коллимаціонной плоскости діоп-



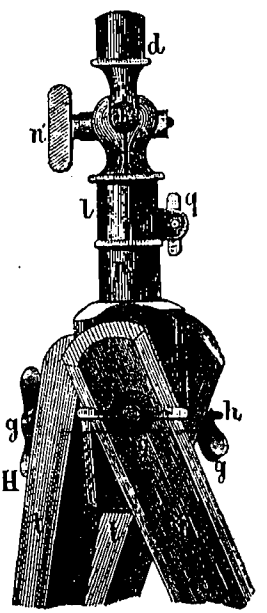
Черт. 79.

тровъ равенъ углу ZBZ_1 между двумя положеніями индекса, или что то же самое, дугѣ ZZ_1 лимба, если допустить, что радіусъ BZ составляетъ постоянный уголъ x съ коллимаціонною плоскостью діоптровъ. Величина дуги ZZ_1 или что то же самое *величина измѣряемаго угла ABC на лимбѣ получается какъ разность двухъ отсчетовъ* Z_1 и Z или двухъ дугъ OZ_1 и OZ, отсчитываемыхъ по индексу Z на лимбѣ отъ начальнаго штриха, подписаннаго нулемъ.

Во французскихъ инструментахъ лимбъ иногда дѣлится вмѣсто 360^0 на 400 градъ, считая $1\,gr = 100' = 10000''$.

Для большей ясности штрихи лимба и ихъ подпись чернятся и лимбъ серебрится, или же дѣленія дѣлаются на серебряномъ, врѣзанномъ въ лимбъ, кольцѣ [1]).

§ 62. *B.* **Подставка лимба.** Для того, чтобы лимбъ съ алидадою можно было при помощи особаго снаряда, такъ называемаго уровня, быстро приводить въ горизонтальное положеніе, постепенно и послѣдовательно наклоняя его плоскость къ плоскости горизонта, лимбъ насаживается на *подставку*. Простѣйшій видъ подставки есть *баксa*. Къ лимбу прикрѣпляется *втулка*, которою вся верхняя часть инструмента насаживается на *цапфу d баксы* (черт. 80) и закрѣпляется на послѣдней *нажимательнымъ* винтомъ лимба. Иногда цапфа d непосредственно соединяется наглухо съ лимбомъ. Цапфа d баксы оканчивается яблокомъ k. Яблоко накладывается на полую втулку l баксы и соединяется съ нею двумя скорлупо-образными пластинками-*губами*, охватывающими яблоко. Губы могутъ быть сжаты при посредствѣ *закрѣпительнаго винта n, баксы*, имѣющаго гнѣздо въ одной изъ губъ баксы. Втулка l надѣвается на цапфу p *штатива* и закрѣпляется на ней *становымъ* винтомъ q.



Черт. 80.

§ 63. *Г.* **Штативы. Штативъ съ цапфою.** Инструментъ устанавливается надъ точкою мѣстности при помощи *треноги* или *штатива*. *Голова* штатива представляетъ изъ себя деревянную трехгранную призму tp, заканчивающуюся пилиндромъ p (черт. 80), называемымъ

---

[1]) Дѣленія на лимбѣ наносятся *дѣлительной машиной*, отъ устройства которой зависитъ точность (равенство) нанесенныхъ промежутковъ (дѣленій). При нанесеніи дѣленій наблюдается, чтобы части лимба имѣли одну и ту же температуру.

цапфою. Въ граняхъ перпендикулярно къ нимъ наглухо закрѣплены 3 болта. Болты оканчиваются винтами *h* и служатъ осями вращенія для *ножекъ t штатива*, которыя притягиваются къ призмѣ гайками — *барашками g*. Снизу призмы ввернутъ крючекъ для нити съ отвѣсомъ для установки центра лимба надъ точкою мѣстности. Установка штатива состоитъ въ томъ, что отпустивъ барашки, раздвигаютъ ноги такъ, чтобы цапфа *p* на глазъ приняла отвѣсное положеніе и шпицъ отвѣса пришелся въ вершину измѣряемаго угла, что достигается не сразу, а рядомъ попытокъ, т. е. перестановокъ ножекъ штатива, послѣ чего барашки подтягиваются наглухо, и ножки треніемъ о грани призмы удерживаются въ приданномъ имъ положеніи.

§ 64. Оріентированіе линій мѣстности. Понятіе объ азимутѣ. Чтобы судить о томъ, какимъ образомъ снимаемый участокъ расположенъ на земной поверхности, необходимо указать его положеніе относительно 4-хъ странъ свѣта: сѣвера (Nord), юга (Süd), востока (Ost) и запада (West) или, все равно, относительно меридіана *NS* (Nord-Süd) и линіи къ нему перпендикулярной *WO* (West-Ost). При этомъ вполнѣ достаточно непосредственно опредѣлить положеніе одной стороны полигона относительно меридіана, такъ какъ положеніе остальныхъ сторонъ можно, какъ увидимъ ниже сего, найти путемъ вычисленія.

Если въ данной точкѣ *A* (черт. 81) линіи *AB* на земной поверхности вообразимъ направленіе *NAS географическаго* или иначе *истиннаго* меридіана, то уголъ *NAB*, считаемый отъ 0° до 360° отъ точки сѣвера *N* черезъ востокъ, югъ, западъ по ходу часовой стрѣлки отъ направленія меридіана *NS* до направленія на данный предметъ *B*, т. е. до направленія линіи *AB* въ плоскости горизонта, принято называть *истиннымъ азимутомъ* предмета *B* въ точкѣ *A* или короче азимутомъ линіи *AB* (см. § 3), и обозначать черезъ (*AB*). Не останавливаясь пока на вопросѣ о точномъ опредѣленіи въ данной точкѣ на земной поверхности *истиннаго азимута* и астрономическаго или географическаго *меридіана*, замѣтимъ, что приближенно, но за то легко и быстро, можно получить направленіе на сѣверъ и югъ съ помощію *магнитной стрѣлки*, т. е. свободно висящаго искусственнаго магнита, и оріентированіе (отъ французскаго слова *orient*-востокъ) линіи полигона относительно меридіана быстро достигается приборомъ, снабженнымъ магнитной стрѣлкой. Приборы, существенную часть которыхъ составляетъ магнитная стрѣлка, обладающая свойствомъ приближенно давать направленіе меридіана, называютъ *компасами* и *буссолями*. Буссоль можетъ быть какъ въ видѣ самостоятельнаго прибора, такъ и составною частью другого угломѣрнаго инструмента.

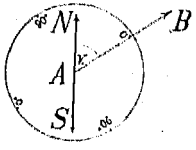
Азимутъ линіи *BA*, т. е. $(BA) = (AB) + 180^0$ назы-

вается *обратнымъ* азимутомъ линіи AB. Точно такъ же и $(AB) = (BA) - 180^0$ называется обратнымъ азимутомъ линіи BA. Очевидно, что *обратный азимутъ равенъ прямому + или — 180°*. (Плюсъ, если прямой $< 180^0$ и минусъ, если онъ $> 180^0$).

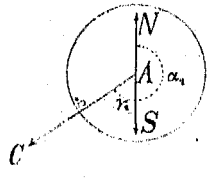
§ 65. Понятіе о румбахъ. Если уголъ, образуемый меридіаномъ и направленіемъ на данный предметъ мѣстности, считаютъ отъ обоихъ полюсовъ меридіана, т. е. какъ отъ сѣвернаго, такъ и южнаго, отъ 0^0 до 90^0, то тѣмъ самымъ окружность горизонта дѣлятъ на 4 четверти: 1) сѣверо-востокъ или нордъ-остъ; её обозначаютъ такъ — NO, 2) юго-востокъ (зюдъ-остъ) SO, 3) юго-западъ (зюдъ-вестъ) SW и 4) сѣверо-западъ (нордъ-вестъ) NW; вслѣдствіе чего, помимо градусной величины r угла, называютъ также и четверть, въ которой лежитъ направленіе на данный предметъ мѣстности (относительно странъ свѣта). Этотъ уголъ принято называть *румбомъ*. Румбы отъ азимутовъ только тѣмъ и отличаются, что для румбовъ установленъ нѣсколько иной счетъ, чѣмъ для азимутовъ, а именно румбы считаются какъ отъ сѣвера, такъ и отъ юга въ обѣ стороны отъ 0^0 до 90^0; для азимутовъ же счетъ ведется въ одну сторону, только отъ сѣвера.

§ 66. Соотношеніе между азимутами и румбами. Такъ какъ румбы отличаются отъ азимутовъ только счетомъ, то легко установить связь между азимутами и румбами. Для этого представимъ себѣ четыре случая:

1-й случай. Направленіе изъ точки A (черт. 81) на точку B имѣетъ румбъ *нордъ-остъ* — $NO : r_1^0$. Изъ чертежа видно, что азимутъ $\alpha_1 = NAB = (AB)$ содержитъ также r_1^0.

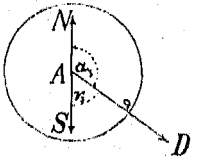


Черт. 81.

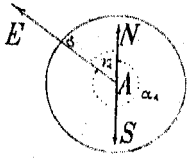


Черт. 82.

2-й случай. Линія AC имѣетъ румбъ *зюдъ-вестъ*, $SW : r_2^0$ (черт. 82), тогда азимутъ $NAC = (AC) = \alpha_2 = 180^0 + r_2^0$.



Черт. 83.



Черт. 84.

3-й случай. Линія AD имѣетъ названіе румба *зюдъ-остъ*, — $SO : r_3^0$ (черт. 83), тогда азимутъ $\alpha_3 = (AD) = NAD = 180^0 - r_3^0$.

4-й случай. Линія AE имѣетъ названіе румба *норд-вестъ*, — $NW: r_4{}^0$ (черт. 84), тогда азимутъ $\alpha_4 = NAE = (AE) = 360^0 - r_4{}^0$.

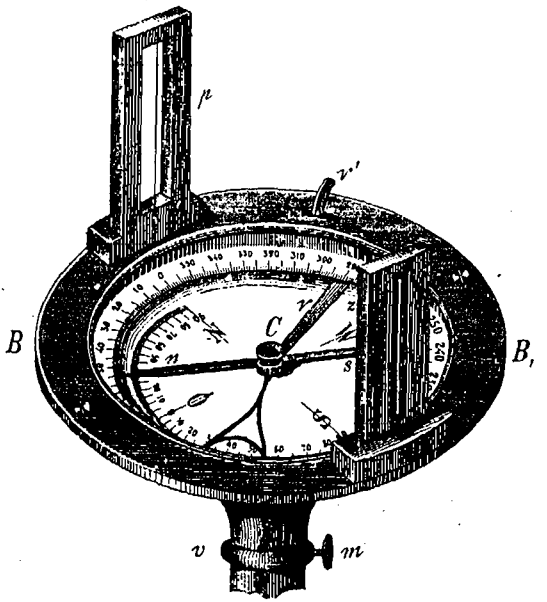
Обратно, 1) если азимутъ линіи содержитъ $\alpha_1{}^0$, причемъ $0^0 < \alpha_1 < 90^0$, то румбъ линіи $NO: \alpha_1{}^0$, 2) если азимутъ α_2 содержится между 90^0 и 180^0, т. е. $90^0 < \alpha_2 < 180^0$, то румбъ линіи $SO: (180 - \alpha_2)^0$, 3) если азимутъ линіи α_3 заключается между 180^0 и 270^0, т. е. $180^0 < \alpha_3 < 270^0$, то румбъ той же линіи $SW: (\alpha_3 - 180)^0$, и наконецъ 4) если азимутъ линіи AE содержится между 270^0 и 360^0, т. е. $270^0 < \alpha_4 < 360^0$, то румбъ линіи AE будетъ $NW: (360 - \alpha_4)^0$.

Румбы NO и SW, а также NW и SO принято называть взаимнообратными. Если линія AB имѣетъ румбъ $NO: r_1{}^0$, то линія BA имѣетъ румбъ $SW: r_1{}^0$.

Примѣръ: даны азимуты $18^3/_4{}^0$, $153^1/_4{}^0$, $261^1/_2{}^0$, 298^0, находимъ соотвѣтственно румбы

$$NO: 18^3/_4{}^0,\ SO: 26^3/_4{}^0,\ SW: 81^1/_2{}^0,\ NW: 62^0.$$

§ **67. Буссоль съ діоптрами.** Буссоль съ діоптрами представляетъ простѣйшій изъ угломѣрныхъ инструментовъ, дающій величину румбовъ и азимутовъ отдѣльныхъ направленій съ точностію до $^1/_4{}^0$. Главную часть этого инстру-



Черт. 85.

Чертежъ 80

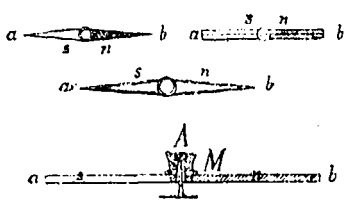
см. на стр. 68.

Черт. 80.

мента составляетъ магнитная стрѣлка *ns* (черт. 85); она свободно виситъ на остріѣ шпиля, помѣщающагося въ центрѣ *C* кольца съ градусными дѣленіями. Стрѣлка съ кольцомъ помѣщается внутри цилиндрической мѣдной со

стекломъ коробки BB_1. По направленію діаметра 0°—180° къ краю коробки прикрѣплены два діоптра, предметный p у 0° и глазной z у 180°. Снизу коробки прикрѣплена втулка v, которою вся верхняя часть инструмента насаживается на цапфу d *баксы* (черт. 80) и закрѣпляется на послѣдней *нажимательнымъ* винтомъ m. Иногда цапфа баксы непосредственно соединяется наглухо съ дномъ буссоли. Бакса втулкою l надѣвается на цапфу p штатива и закрѣпляется на ней *становымъ* винтомъ q. При переноскѣ буссоли съ одного конца линіи на другой стрѣлка ns прижимается къ стеклу коробки (поднимается со шпиля) посредствомъ рычага rr', одинъ конецъ котораго обхватываетъ шпиль, а другой изогнутый можетъ быть прижатъ или рукояткою r', или, вращая крышку, ребромъ крышки къ дну буссоли. Инструментъ устанавливается надъ точкою мѣстности при помощи треноги и нити съ отвѣсомъ.

§ 68. **Магнитная стрѣлка** представляетъ изъ себя *искусственный* магнитъ и имѣетъ видъ узкой полоски стали, повѣшенной на шпиль агатовою *пляшкою*. Оправа агата можетъ быть вывернута изъ стрѣлки. Стрѣлкѣ придаютъ обыкновенно одну изъ нижеприведенныхъ на чертежѣ 86 формъ. Разрѣзъ пляшки M съ твердымъ камнемъ *агатомъ* A изображенъ на чертежѣ 86 внизу.



Черт. 86.

Линія ab, соединяющая концы стрѣлки, называется геометрическою осью стрѣлки; ее отличаютъ отъ линіи, соединяющей двѣ точки стрѣлки n и s, обладающія наибольшимъ магнитнымъ напряженіемъ и называемыя полюсами стрѣлки. *Прямую, соединяющую полюсы стрѣлки, называютъ магнитною осью.* Магнитная ось *не всегда совпадаетъ* съ геометрическою осью стрѣлки.

Линія сѣченія земной поверхности отвѣсною плоскостью, проходящею черезъ магнитную ось свободно висящей стрѣлки (на остріѣ шпиля), называется *магнитнымъ меридіаномъ*. Магнитные меридіаны пересѣкаются въ двухъ точкахъ на земной поверхности — *магнитныхъ земныхъ полюсахъ*. Эти полюсы не совпадаютъ съ географическими и изъ нихъ сѣверный лежитъ западнѣе Гренландіи, близъ мыса Мурчисонъ, а южный на материкѣ близъ южнаго географическаго полюса [1]). *Конецъ стрѣлки n, обращающійся къ сѣверно-*

[1]) Для конца 1885 года положеніе земныхъ магнитныхъ полюсовъ по Neumayer'у „Atlas des Erdmagnetismus" опредѣляется слѣдующими географическими координатами:

сѣвер. полюсъ—70°30′ сѣв. шир. и 97°40′ зап. долг. отъ Гринвича.
южн. полюсъ—73°30′ южн. „ „ 146°15′ вост.

му полюсу N, *принято въ Россіи называть сѣвернымъ; онъ обыкновенно воронится* (*въ синій цвѣтъ*). Уголъ, составляемый магнитнымъ меридіаномъ съ географическимъ, называютъ *склоненіемъ стрѣлки*. Если сѣверный конецъ стрѣлки уклоняется къ востоку отъ географическаго меридіана (а южный—къ западу), то склоненіе называется *восточнымъ*, а если сѣверный конецъ уклоняется къ западу, то — *западнымъ*.

Склоненіе стрѣлки мѣняется съ теченіемъ времени и съ перемѣною мѣста, и для каждой точки земной поверхности различаются измѣненія склоненія *суточныя*, *вѣковыя* и *случайныя*.

Суточное измѣненіе склоненія магнитной стрѣлки заключается въ томъ, что стрѣлка приходитъ въ колебаніе съ утра и въ то время, какъ солнце находится въ восточной части неба, до 2-хъ часовъ дня, стрѣлка уклоняется сѣвернымъ концемъ къ западу отъ своего нѣкотораго *средняго* суточнаго положенія, а при нахожденіи солнца (съ 2 часовъ дня) въ западной части неба стрѣлка уклоняется сѣвернымъ концомъ къ востоку. Наибольшее западное суточное уклоненіе наступаетъ около 2-хъ часовъ дня, а наибольшее восточное въ 8 часовъ утра. Лѣтнія суточныя измѣненія болѣе зимнихъ. *Суточное измѣненіе положенія стрѣлки* въ большинствѣ случаевъ—15 *минутъ*. Нѣсколько разъ въ году оно доходитъ до 1^0, но бываютъ зимою дни, когда стрѣлка почти не колеблется. *Среднее суточное* положеніе магнитной стрѣлки зависитъ отъ *вѣкового* измѣненія склоненія стрѣлки, которое состоитъ въ томъ, что въ теченіе нѣсколькихъ сотъ лѣтъ магнитная ось стрѣлки уклоняется своимъ сѣвернымъ концомъ сперва, напр., къ западу отъ географическаго меридіана, уклоненіе постепенно возрастаетъ, достигаетъ нѣкотораго *тахитит*'а, послѣ чего западное склоненіе начинаетъ по абсолютной величинѣ убывать, обращается въ нуль и переходитъ въ восточное. Восточное склоненіе также достигаетъ своего высшаго предѣла, по достиженіи котораго, начинаетъ убывать, обращается вновь въ 0 и переходитъ въ западное. Періодъ вѣкового измѣненія точно не извѣстенъ, но есть основаніе полагать, что онъ превышаетъ 300 лѣтъ.

Кстати здѣсь замѣтимъ, что въ Москвѣ въ настоящее время склоненіе стрѣлки восточное около 4^0. Годовое измѣненіе склоненія стрѣлки въ Москвѣ около 4,5 минутъ [1]).

Вслѣдствіе колебаній стрѣлки даже въ теченіе сутокъ, не говоря о случайныхъ измѣненіяхъ *(возмущеніяхъ)* склоненія стрѣлки, обусловливаемыхъ мѣстными причинами или

---

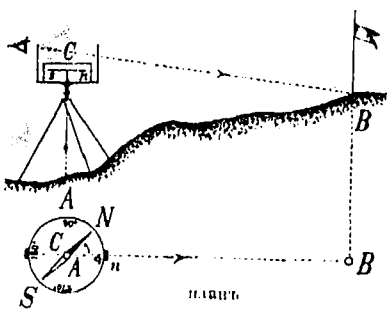
[1]) Въ одно и то же время въ разныхъ пунктахъ земной поверхности склоненіе стрѣлки неодинаково, напр. въ Москвѣ оно восточное, въ Одессѣ—западное.

космическими явленіями (близость желѣзной руды, болота, сосноваго лѣса, телеграфнаго провода, грозы, внезапнаго землетрясенія, сѣвернаго сіянія, вулканическаго изверженія, сильнаго вѣтра и т. п.) *отсчетъ на кольцѣ по стрѣлкѣ не можетъ быть сдѣланъ точнѣе, какъ до* $^1/_4{}^0$.

Только что намагниченная стрѣлка (простымъ натираніемъ магнитомъ, при томъ такъ, чтобы магнитъ своимъ сѣвернымъ концомъ соприкасался южнаго конца стрѣлки, въ началѣ натиранія), будучи повѣшена на остріе шпиля, наклоняется сѣвернымъ концомъ книзу въ сѣверномъ полушаріи, вслѣдствіе близости сѣвернаго магнитнаго полюса; уголъ въ плоскости магнитнаго меридіана, считаемый отъ горизонтальной линіи до магнитной оси стрѣлки, называется *наклоненіемъ* стрѣлки. Послѣ намагничиванія стрѣлка уравновѣшивается на шпилѣ, для чего на стекло буссоли ставятъ вывѣренный уровень, приводятъ плоскость кольца въ горизонтальное положеніе и къ приподнятому южному концу стрѣлки снизу прилѣпляютъ кусочекъ воску или сургуча, или онъ заранѣе дѣлается нѣсколько толще.

Наклоненіе стрѣлки, такъ же, какъ и склоненіе, есть величина перемѣнная, но не вліяющая на отсчеты по стрѣлкѣ въ горизонтальной плоскости, почему о немъ и не будемъ распространяться.

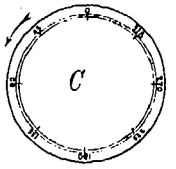
§ 69. **Магнитные азимуты и румбы.** Такъ какъ стрѣлка, какъ искусственный магнитъ, обладаетъ свойствомъ постоянно указывать однимъ и тѣмъ же своимъ концомъ на сѣверъ, т. е. давать направленіе магнитнаго меридіана въ любой точкѣ земной поверхности, то понятно, что съ этимъ послѣднимъ направленіемъ всѣ линіи мѣстности, по которымъ направляется при визированіи коллимаціонная плоскость діоптровъ или трубы буссоли, вообще говоря, будутъ образовывать уголъ. Этотъ *уголъ, составленный осью магнитной стрѣлки и горизонтальнымъ проложеніемъ направленія на данную точку мѣстности, называется магнитнымъ азимутомъ этого направленія* и *счетъ его ведется отъ сѣвернаго конца стрѣлки до направленія на данный предметъ мѣстности отъ* 0^0 *до* 360^0 *черезъ востокъ, югъ и западъ.*



Черт. 87.

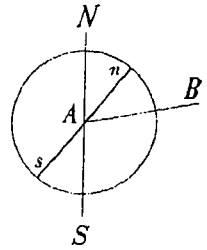
На инструментѣ направленіе на данный предметъ B коллимаціонной плоскости діоптровъ или трубы буссоли, поставленной въ точкѣ *A* (черт. 87) мѣстности, *опредѣлится линіею Cn* (черт. 87 *планъ*), *идущею отъ центра C буссоли до* [illegible] *діоптра* (до объек-

тива трубы), гдѣ на кольцѣ долженъ стоять 0°. Очевидно, *чтобы прочесть по сѣверному концу стрѣлки градусную величину магнитнаго азимута* NCO^0 (черт. 87 *плана*), нужно, *чтобы подпись дѣленій была направлена противъ хода часовой стрѣлки*, т. е. справа налѣво, смотря изъ центра кольца на 0°. Кольцо съ такою подписью дѣленій отъ 0° до 360° (черт. 88) называютъ *азимутальнымъ*. Дѣленія на немъ идутъ отъ градуса до градуса, подписываются же только десятки градусовъ.



Черт. 88.

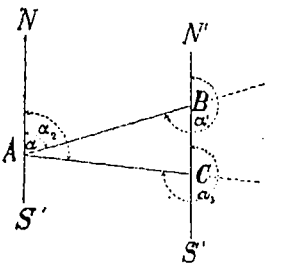
Магнитные азимуты отличаются отъ *истинныхъ* азимутовъ, считаемыхъ отъ географическаго меридіана, такъ какъ магнитный меридіанъ не совпадаетъ съ географическимъ вслѣдствіе склоненія стрѣлки. Если направленіе географическаго (или истиннаго) меридіана есть NAS (черт. 89), магнитная ось стрѣлки — ns и направленіе на предметъ — AB, то NAB есть истинный азимутъ линіи AB въ точкѣ A мѣстности nAB магнитный азимутъ и NAn — восточное склоненіе стрѣлки. Азимутъ линіи AB часто обозначаютъ такъ: (AB). Азимутъ, смѣренный *въ началѣ* A линіи, называютъ *прямымъ* азимутомъ, а азимутъ, смѣренный *въ концѣ* B (черт. 90) прямой линіи AB, т. е. азимутъ линіи BA или что то же самое (BA) называютъ *обратнымъ*.



Черт. 89.

Легко обнаружить, что 1) *прямой и обратный азимуты разнятся другъ отъ друга на* 180°.

2) *Разность азимутовъ двухъ линій* AB *и* AC (черт. 90), *выходящихъ изъ одной точки* A *и образующихъ уголъ* BAC, *равняется величинѣ угла* BAC. Дѣйствительно, — магнитные полюсы земли считаютъ безконечно удаленными отъ точекъ A и B, а потому направленія AN и BN' принимаютъ параллельными, вслѣдствіе чего



Черт. 90.

$$\angle BAC = \alpha_2 - \alpha = (AC) - (AB).$$

Такъ какъ

$$(BA) = 180^0 + (AB)$$

и

$$(CA) = 180^0 + (AC)$$

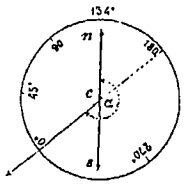
то $\angle BAC = [(CA) - 180] - [(BA) - 180] = (CA) - (BA)$,

т. е. *разность прямыхъ азимутовъ равна разности обратныхъ азимутовъ*.

Если уголъ, образуемый магнитною стрѣлкою и направленіемъ на данный предметъ мѣстности считаютъ отъ обоихъ концовъ стрѣлки, отъ 0° до 90°, то этотъ уголъ принято называть *магнитнымъ румбомъ*.

§ 70. Чтеніе азимута по буссоли. Тотъ отсчетъ азимута по стрѣлкѣ можно считать правильнымъ, который сдѣланъ послѣ того, какъ дано время стрѣлкѣ придти въ спокойное состояніе и при отсчетѣ принято во вниманіе, что кольцо—азимутальное, а также замѣчено—въ какую сторону возрастаетъ подпись дѣленій азимутальнаго кольца.

Если кольцо азимутальное, и подпись дѣленій идетъ противъ хода часовой стрѣлки (справа налѣво), то азимутъ непосредственно прочитывается по сѣверному концу магнитной стрѣлки, если у глазного діоптра стоитъ 180°, а у предметнаго діоптра 0°. Если при тѣхъ же условіяхъ подпись идетъ по ходу часовой стрѣлки (слѣва направо), то сдѣланный по сѣверному концу отсчетъ, напр., 134° (черт. 91) вычитаютъ изъ 360° и находятъ азимутъ

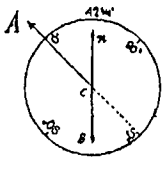


Черт. 91.

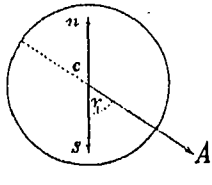
$$\alpha = 360^0 - 134^0 = 226^0.$$

§ 71. Чтеніе румбовъ данныхъ направленій по буссоли. На инструментѣ магнитные румбы считаютъ отъ линіи *Сп* (черт. 87) (центръ буссоли — предметный діоптръ или центръ буссоли—объективъ) до *ближайшаго къ объективу или къ предметному діоптру* конца стрѣлки.

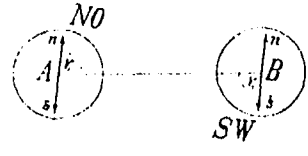
На румбическомъ кольцѣ стоятъ два нуля [1]), а потому при чтеніи румбовъ по буссоли [2]) нужно 1) найти ноль, стоящій у объектива (предметнаго діоптра), 2) вообразить наблюдателя стоящимъ въ центрѣ кольца буссоли и *обращеннымъ лицомъ къ сѣверному концу стрѣлки*, 3) установить, къ какому концу стрѣлки ближе лежитъ ноль кольца, стоящій у объектива, 4) назвать четверть, въ которой лежитъ линія визированія и 5) прочесть число градусовъ



Черт. 92.



Черт. 93.



Черт. 94.

румба. Иллюстраціею этому правилу могутъ служить чертежи 92, 93 и 94.

Чертежъ 92 показываетъ, что ближайшій конецъ къ

---

[1]) Одинъ у глазного (окулярнаго) діоптра, а другой у предметнаго (объективнаго) діоптра.

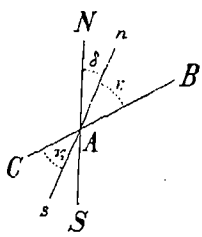
[2]) Плоскость кольца которой приведена въ горизонтальное положеніе.

объективу (предметному діоптру)—сѣверный, и линія визированія *cA* уклонилась къ западу отъ сѣвернаго конца, а потому названіе румба *NW* (нордъ-вестъ или сѣверо-западъ), по концу стрѣлки читаютъ $42^3/_4{}^0$. Чертежъ 93 даетъ для линіи *cA* румбъ (зюдъ-остъ или юго-востокъ) $SO: r_1{}^0$.

Если въ началѣ *A* линіи *AB* (черт. 94) прочли румбъ *NO* (нордъ-остъ), то въ концѣ *B* линіи *AB* прочтутъ *обратный румбъ SW* (зюдъ-вестъ).

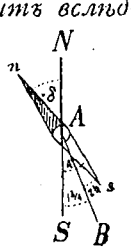
Румбу *NW* обратный будетъ *SO*. Правильное чтеніе румбовъ по буссоли достигается путемъ упражненій.

§ 72. Переводъ магнитныхъ румбовъ на истинные. Если склоненіе δ стрѣлки *ns* (черт. 95) — восточное, то величину склоненія δ надо придать къ *магнитному румбу nAB*, чтобы получить истинный румбъ *NAB* линіи визированія *AB*, причемъ названіе румба будетъ согласно чертежа нордъ-остъ ($NO: r_1{}^0 + \delta$). То же самое можно замѣтить и относительно румба линіи $AC — SW: r_1{}^0$.



Черт. 95.

Если же склоненіе стрѣлки будетъ западное, то тѣ же румбы $NO: r_1$ придется уменьшить на величину склоненія δ. для перевода на истинные, что легко установить чертежемъ, Короче сказать *магнитные румбы тѣхъ четвертей надо по градусной величинѣ увеличивать склоненіемъ, въ которыхъ стрѣлка лежитъ вслѣдствіе своего склоненія*. Напр. измѣренъ магнитный румбъ $SW: 2^1/_4{}^0$. Склоненіе дано восточное 4^0. Находимъ истинный румбъ $SW: 6^1/_4{}^0$. Если же склоненіе западное то же 4^0, то истинный румбъ будетъ $SO: 1^3/_4{}^0$, что ясно изъ чертежа 96-го, такъ какъ направленіе *AB* на предметъ *B* пройдетъ въ данномъ примѣрѣ между истиннымъ *NAS* и магнитнымъ *nAs* меридіанами и раздѣлитъ уголъ δ на двѣ неравныя части.



Черт. 96.

§ 73. Повѣрки буссоли съ діоптрами. Передъ употребленіемъ буссоль должна быть повѣрена.

Отъ буссоли требуется выполненіе слѣдующихъ условій:

1) *Дѣленія градуснаго кольца буссоли должны быть вѣрны, т. е. равны между собою.* Равенство дугъ провѣряется помощію циркуля, способомъ равныхъ хордъ, такъ же, какъ это дѣлалось въ эклиметрѣ.

2) *Инструментъ не долженъ содержать желѣза.* Вынувъ изъ коробки буссоли стрѣлку, вѣшаютъ ее на запасный шпиль и, давъ ей успокоиться, подносятъ къ ней различными частями инструментъ. Въ случаѣ присутствія желѣза стрѣлка выйдетъ изъ спокойнаго состоянія, и такой инструментъ не годенъ къ употребленію.

3) *Шпиль долженъ быть достаточно остро отточенъ, агатъ хорошо шлифованъ и сама стрѣлка хорошо намагничена.* Сдѣлавъ предварительно отсчетъ по успокоившейся стрѣлкѣ, подносятъ къ ней желѣзную вещь и замѣчаютъ, быстро ли стрѣлка уклоняется къ желѣзу. Удаливъ желѣзо, провѣряютъ,—остался ли отсчетъ по стрѣлкѣ безъ перемѣны. Если отсчетъ измѣнился болѣе, чѣмъ на $^1/_4{}^0$, изслѣдуютъ доброкачественность агата разсматриваніемъ его на свѣтъ и убѣждаются въ отсутствіи на немъ трещинъ и шероховатостей, въ противномъ случаѣ агатъ замѣняется новымъ. Въ случаѣ, когда остріе шпиля притупилось, оно вновь оттачивается, для чего шпиль предварительно вывертывается изъ дна коробки. Стрѣлка намагничивается вновь, если агатъ и шпиль не имѣютъ дефектовъ, а отсчетъ по стрѣлкѣ измѣняется болѣе, чѣмъ на $^1/_4{}^0$.

4) *Стрѣлка должна быть уравновѣшена.* Приведя кольцо въ горизонтальное положеніе съ помощію хорошо выверенаго уровня, ставимаго на стекло коробки буссоли, вращаютъ буссоль около вертикальной оси, при этомъ замѣчаютъ,—остается ли стрѣлка все время въ плоскости кольца, если нѣтъ, то на приподнятый конецъ налѣпляется небольшая тяжесть (воскъ, варъ, сургучъ) [1]).

5) *Стрѣлка должна* вращаться въ центрѣ градуснаго кольца и *не имѣть* вицентренности шпиля или такъ называемаго *эксцентрицитета.* Приведя плоскость кольца въ горизонтальное положеніе, дѣлаютъ по крайней мѣрѣ два раза одинъ за другимъ отсчеты по обоимъ концамъ стрѣлки, давая діоптрамъ различныя направленія. Напр., въ первый разъ отсчитано по сѣверному 12^0, по южному 192^0, во второй разъ—$74^1/_4{}^0$ по сѣверному и 255^0—по южному. Каждый разъ отсчеты по сѣверному и южному концамъ стрѣлки должны, въ случаѣ отсутствія эксцентрицитета, разнится на 180^0.

Изъ приведеннаго примѣра видно, что въ 1-й разъ стрѣлка случайно прошла своей геометрическою осью черезъ центръ кольца буссоли,но, при другомъ направленіи діоптровъ, показала два отсчета $74^1/_4{}^0$ и 255^0, разность между которыми $255 - 74^1/_4{}^0 = 180^3/_4$ болѣе 180^0, и слѣдовательно шпиль находится внѣ центра кольца буссоли.

Чтобы уничтожить вліяніе эксцентрицитета на градусную величину румба слѣдуетъ брать полусумму отсчетовъ по обоимъ концамъ стрѣлки румбическаго кольца. Въ случаѣ же азимутальнаго кольца необходимо измѣнить предварительно отсчетъ *b* по южному концу стрѣлки

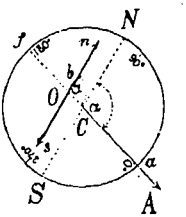
---

[1]) Съ помощію уравновѣшенной стрѣлки кольцо буссоли можетъ быть приводимо въ горизонтальное положеніе, для чего наклоняютъ около бакеы кольцо буссоли въ разныя стороны до тѣхъ поръ, пока стрѣлка все время будетъ оставаться, при вращеніи инструмента около вертикальной оси, въ плоскости кольца.

на 180^0, а потомъ изъ отсчета a по сѣверному концу и изъ $b \pm 180^0$ взять полусумму

$$\frac{a + (b \pm 180)^0}{2}.$$

Убѣдимся въ этомъ разсмотрѣніемъ чертежа 97, на которомъ C — центръ кольца, O — мѣсто шпиля стрѣлки ns, OA — направленіе на точку A мѣстности, линія NS — діаметръ, параллельный стрѣлкѣ ns, NCA — тотъ уголъ, который слѣдовало бы прочесть, если бы эксцентрицитета не было.



Черт. 97.

Изъ чертежа видно, что $Nn = Ss$, а также, что вмѣсто истиннаго отсчета $= \alpha^0$ по сѣверному концу прочтется $(\alpha^0 + Nn)$, а по южному вмѣсто $(\alpha + 180)^0$ прочтемъ $(\alpha + 180 - Ss)^0$.

Очевидно, что

$$\frac{(\alpha + Nn) + [(\alpha + 180^0 - Ss) - 180]}{2} = \alpha.$$

Пусть напр. $Nn + \alpha$ выразилось черезъ $122^3/_4{}^0$, а $(\alpha + 180 - Ss)^0 = 301^3/_4{}^0$. Настоящая величина искомаго магнитнаго азимута будетъ

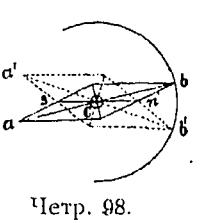
$$\frac{122^3/_4 + (301^3/_4 - 180)^0}{2} = \frac{122^3/_4{}^0 + 121^3/_4{}^0}{2} = \frac{244^1/_2}{2} = 122^1/_4{}^0.$$

Тотъ же чертежъ указываетъ, что $NCA = nbA$, а уголъ

$$nbA = \frac{\smile 0^0 n + \smile 180^0 s}{2} = \frac{\smile an + \smile fs}{2},$$

какъ уголъ, составленный хордами ns и af.

б) *Оси стрѣлки магнитная и геометрическая должны совпадать между собою.* Совпаденіе осей провѣряется такъ: закрѣпляютъ наглухо на бакелѣ и на штативѣ всю буссоль, т. е. завертываютъ становой и нажимательный винты, дѣлаютъ затѣмъ по стрѣлкѣ отсчетъ и записываютъ показаніе; напр., сѣвернаго конца; затѣмъ стрѣлку снимаютъ со шпиля, вывертываютъ шляпку, повертываютъ кверху нижнюю поверхность стрѣлки, ввинчиваютъ вновь шляпку, вѣшаютъ стрѣлку на шпиль и сличаютъ новое показаніе стрѣлки съ записаннымъ. Полуразность отсчетовъ даетъ величину угла между осями. На черт. 98 линія ns — магнитная ось стрѣлки и линія ab геометрическая ея ось. Перевинтивъ шляпку c и переложивъ стрѣлку на шпиль, мы тѣмъ самымъ перемѣстимъ геометрическую ось ab въ симметричное съ ab положеніе $a'b'$ относительно неизмѣннаго ns, т. е. если она сперва располагалась лѣвѣе (къ западу) отъ сѣвернаго полюса n, то послѣ перекладыванія стрѣлки геометрическая ось



Черт. 98.

уклонится вправо (къ востоку) отъ сѣвернаго полюса *n*. Дуга *bb'* градуснаго кольца измѣряетъ уголъ $bcb' = 2\,bcn$. Если шляпка не перевинчивается, то сличеніе отсчета по изслѣдуемой стрѣлкѣ дѣлается съ отсчетомъ по стрѣлкѣ, въ которой провѣрено совпаденіе осей, при направленіи діоптровъ на одну и ту же точку мѣстности.

7) *Коллимаціонная плоскость діоптровъ должна быть перпендикулярна къ плоскости кольца буссоли.* Такъ какъ проекція угловъ между линіями мѣстности берется всегда на горизонтальную плоскость, то проектирующая стороны угла плоскость (т. е. коллимаціонная плоскость) должна быть перпендикулярна къ горизонтальной плоскости, съ которой предварительно передъ употребленіемъ совмѣщается плоскость кольца буссоли.

Повѣрка угла между плоскостями коллимаціонной и градуснаго кольца дѣлается сличеніемъ его съ безспорнымъ прямымъ угломъ между горизонтальной плоскостію и вертикальной линіей. Для этого вѣшаютъ невдалекѣ отъ инструмента, напр. въ 30 саж., шнуръ съ отвѣсомъ и приводятъ градусное кольцо буссоли въ горизонтальное положеніе, послѣ чего наводятъ волосъ предметнаго діоптра на шнуръ. Сдѣлавъ наведеніе, поднимаютъ и опускаютъ глазъ вдоль щели глазного діоптра.

Если волосъ не сходитъ со шнура при передвиженіи глаза, то оба діоптра стоятъ вѣрно, т. е. и волосъ, и щель даютъ плоскость перпендикулярную къ плоскости градуснаго кольца буссоли.

Если волосъ движется параллельно шнуру, то это указываетъ на то, что волосъ даетъ вертикальное направленіе, но проектируется глазомъ въ различные мѣста, а это можетъ произойти только отъ того, что щель глазного діоптра стоитъ наклонно, а не вертикально.

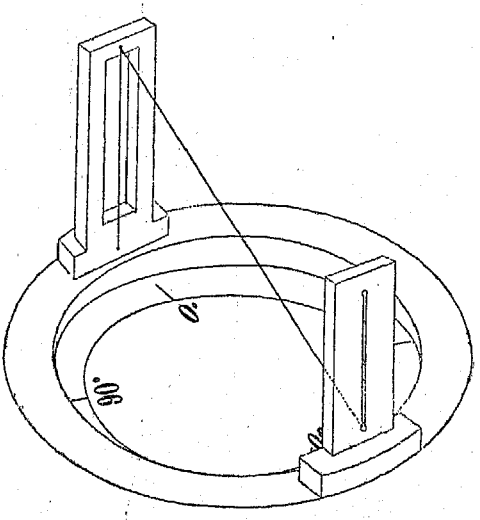
Если же волосъ и щель *не* перпендикулярны къ плоскости кольца, то волосъ будетъ пересѣкать шнуръ и двигаться по нему вмѣстѣ съ перемѣною мѣста глаза на глазномъ діоптрѣ.

Если щель глазного діоптра кривая линія, то волосъ относительно шнура будетъ двигаться, то удаляясь отъ него, то приближаясь къ нему.

Исправленіе наклонно стоящаго діоптра достигается стачиваніемъ подшлкомъ нижней плоскости, служащей основаніемъ діоптру.

8) *Коллимаціонная плоскость діоптровъ должна проходить черезъ нулевой діаметръ градуснаго кольца буссоли.* Уголъ между нулевымъ діаметромъ и проекціею коллимаціонной плоскости на кольцѣ буссоли наз. *коллимаціонною ошибкою кольца* буссоли. Протянувъ отъ нижняго кольца щели глазного діоптра нить къ верхнему краю волоса

предметнаго діоптра, какъ показано на черт. 99, смотрятъ черезъ щель, куда проектируется натянутая нить и замѣчаютъ, на сколько уклоняется отъ 0^0 коллимаціонная плоскость діоптровъ.

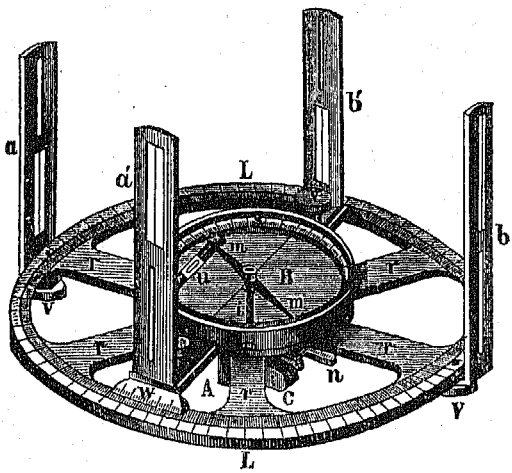


Черт. 99.

Коллимаціонная ошибка вводится въ отсчеты по стрѣлкѣ съ соотвѣтствующимъ знакомъ.

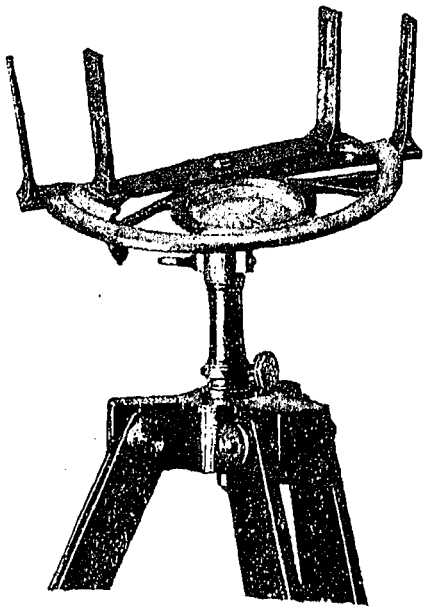
§ 74. Астролябія современнаго вида даетъ величину горизонтальныхъ угловъ съ точностью отъ 1 до 5 минутъ. Одновременно съ описаніемъ астролябіи укажемъ на болѣе *устойчивую* и совершенную *подставку* для верхней части инструмента, чѣмъ бакса, на такъ называемый *треножникъ* и приведемъ новый типъ штатива.

Существенную часть астролябіи съ діоптрами составляетъ лимбъ L (чертежъ 100) съ вращающейся въ его центрѣ *алидадою* wb'. Лимбъ L представляетъ широкое плоское кольцо, соединяющееся съ центромъ радіусами r. Лимбъ раздѣленъ на 360 градусовъ. Иногда градусы дѣлятся на полуградусы. Подпись дѣленій обыкновенно въ русскихъ астролябіяхъ располагается *справа налѣво*, т. е. противъ хода часовой стрѣлки. На концахъ алидады сдѣланы два штриха — *указателя* или *индекса*. Оба индекса даютъ по лимбу показанія, разнящіяся на 180^0, т. е. означаютъ концы одного и того же діаметра. Въ старыхъ инструментахъ (черт. 78 и черт. 101) можно встрѣтить только одинъ индексъ у алидады



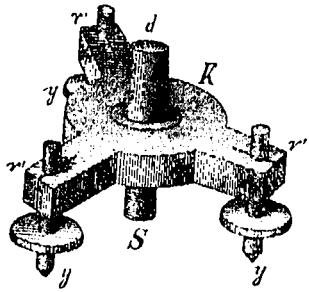
Черт. 100.

астролябіи, притомъ даже въ видѣ зубца по серединѣ рамы, которою оканчивалась алидада (чертежъ 78).



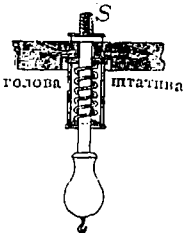
Черт. 101.

Астролябія въ большинствѣ случаевъ имѣетъ своимъ визирнымъ снарядомъ діоптры; два изъ нихъ *a* и *b* наглухо привинчены снизу лимба винтами *V* (черт. 100), причемъ предметный діоптръ стоитъ у подписи 180°, а глазной у 0°. На алидадѣ привертываются винтами *V′* два діоптра *a′* и *b′*,— глазной на томъ концѣ алидады, гдѣ имѣется индексъ, а на противоположномъ — предметный. Эти вторые алидадные діоптры (въ отличіе отъ первыхъ *неподвижныхъ*) называются *подвижными*, такъ какъ они перемѣщаются по лимбу вмѣстѣ съ алидадою. По серединѣ алидады помѣщается иногда *буссоль B*. Снизу лимба идетъ втулка *C*, (черт. 100) надѣвающаяся на треножникъ. *Треножникъ* (черт. 102) состоитъ изъ круга *K*, въ серединѣ котораго укрѣплена цапфа *d*. Втулка *C* (черт. 100) закрѣпляется вмѣстѣ съ привернутымъ къ ней лимбомъ *L* на цапфѣ *d* треножника *нажимательнымъ* винтомъ лимба *n* (черт. 100). Ось цапфы *d* служитъ вертикальною осью вращенія для плоскости лимба. Съ кругомъ *K* изъ одного куска металла сдѣланы три рычага *r′*, въ концахъ которыхъ нарѣзаны гнѣзда, черезъ нихъ пропущены три *подъемныхъ* или *уравнительныхъ* винта *y*. Вращеніемъ подъемныхъ (или уравнительныхъ) винтовъ измѣняется наклонъ оси цапфы, а слѣдовательно и плоскости лимба къ горизонту. Такимъ образомъ *подъемные винты служатъ для приведенія плоскости лимба въ горизонтальное положеніе*. Для равномѣрнаго распредѣленія тяжести верхней части инструмента на подъемные винты, они



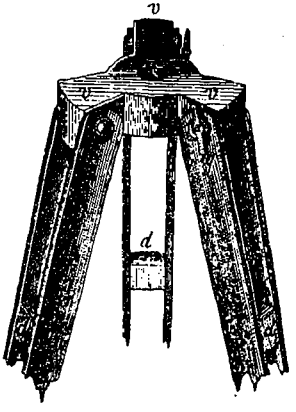
Черт. 102.

располагаются такъ, что концы подъёмныхъ винтовъ образуютъ равносторонній треугольникъ. Для регулированія плавности вращенія подъемныхъ винтовъ гнѣзда ихъ въ рукавахъ r' треножника распилены по вертикальному направленію и могутъ быть сжимаемы винтиками m. Треножникъ соединяется съ головою штатива *становымъ* винтомъ S. Разрѣзъ винта съ регулирующею его положеніе спиральною пружиною помѣщенъ на черт. 103. Спиральная пружина заключена въ цилиндрѣ (подъ головою штатива). Чтобы становой винтъ не выпадалъ изъ отверстія, сдѣланнаго для него въ головѣ штатива, на винтъ S сверху, навернута гайка, лежащая на головѣ штатива. Въ ручку станового винта ввернутъ крючекъ для нити съ отвѣсомъ (черт. 103).



Черт. 103.

Ниже приводимый штативъ принято называть французскимъ. Голова его представляетъ кругъ съ тремя выступающими по направленію радіусовъ круга пластинками v, (черт. 104) обхватываемыми ножками штатива dg. Всѣ три ножки штатива сквозныя; каждая изъ нихъ связана винтами изъ 2-хъ отдѣльныхъ планокъ при помощи брусочковъ d. Обѣ планки сближаются постепенно книзу въ остріе, обдѣланное желѣзнымъ наконечникомъ, втыкаемымъ въ землю. Наконечникъ имѣетъ горизонтальный выступъ для нажима на него ступней ноги. Верхняя часть ножки соединяется съ выступающими пластинками v головы штатива горизонтальными болтами, оканчивающимися винтовою нарѣзкою съ гайкою-барашкомъ g. Ножки штатива удерживаются въ неизмѣнномъ положеніи относительно головы штатива треніемъ, для чего ножка подтягивается барашкомъ вплотную къ выступающимъ пластинкамъ головы.



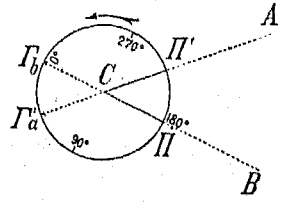
Черт. 104.

Необходимое условіе для полученія горизонтальнаго положенія угла на мѣстности — это возможность приведенія лимба инструмента въ горизонтальное положеніе; для чего въ дно коробки буссоли астролябіи вдѣланъ особый приборъ, такъ называемый цилиндрическій уровень u (черт. 100). Объ уровняхъ мы скажемъ нѣсколько ниже.

Взаимное положеніе линій мѣстности опредѣляется астролябіею измѣреніемъ по лимбу градусной величины угловъ между ними.

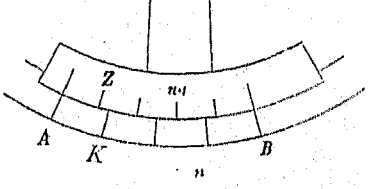
§ 75. Употребленіе астролябіи, какъ и всякаго угломѣрнаго инструмента съ подвижною алидадою, при измѣреніи горизонтальныхъ угловъ линій земной поверхности, слагается изъ слѣдующихъ отдѣльныхъ дѣйствій: 1) приведенія центра лимба на отвѣсную линію, проходящую черезъ вершину измѣряемаго угла или *центрированія* инструмента, 2) приведенія плоскости лимба въ горизонтальное положеніе, 3) направленія коллимаціонной плоскости визирнаго снаряда, находящагося на алидадѣ, послѣдовательно на два предмета мѣстности, между которыми измѣряется уголъ (а у астролябій *неподвижныхъ* діоптровъ на правый предметъ, а коллимаціонной плоскости подвижныхъ — на лѣвый предметъ или наоборотъ, согласно направленію подписи дѣленій) и 4) прочтенія или градусной величины каждой изъ двухъ дугъ отъ 0^0 лимба, разность которыхъ и даетъ величину измѣряемаго угла, или непосредственно въ астролябіи самой градусной величины измѣряемаго угла на лимбѣ по индексу алидады.

Чертежъ 105 показываетъ, что на астролябіи при глазномъ діоптрѣ $\Gamma'a$ по индексу отъ O^0 лимба (гдѣ стоитъ діоптръ Γb) прочитывается не самый измѣряемый уголъ ACB, а равный ему вертикальный O^0Ca; при чемъ точка a, гдѣ остановится индексъ алидады на лимбѣ, выразитъ конецъ дуги o^0a, измѣряющей уголъ bCa.



Черт. 105.

§ 76. Д. Верньеръ. Если бы индексъ алидады остановился гдѣ-либо между двумя штрихами лимба, то промежутокъ отъ ближайшаго (меньшаго) штриха лимба до индекса алидады пришлось бы оцѣнивать на глазъ. Во избѣжаніе этого и для большей точности оцѣнки такого промежутка на концахъ алидады нарѣзается *верньеръ*. Верньеръ или *нониусъ* есть особое построеніе, зависящее отъ того, какія части нанесенныхъ на лимбѣ дѣленій (градусовъ, полуградусовъ,...) мы желаемъ отсчитывать. Построеніе это состоитъ въ томъ, что взятую на лимбѣ дугу AB (черт. 106) заключающую въ себѣ n дѣленій (промежутковъ между штрихами), отмѣчаютъ на скошенномъ краѣ алидады и дѣлятъ отложенную на алидадѣ дугу AB на $n+1$ или на $n-1$ частей. Пусть



Черт. 106.

$$\frac{AB}{n} = AK \quad \text{и} \quad \frac{AB}{n+1} = AZ.$$

Составимъ разность t между однимъ дѣленіемъ $AK = l$ лимба и однимъ дѣленіемъ $AZ = v$ верньера. Разность $t = l - v$ называется *точностью верньера*.

Находимъ:

$$t = AK - AZ = \frac{AB}{n} - \frac{AB}{n+1} = \frac{AB\,(n+1) - n\,.\,AB}{n\,.\,(n+1)} =$$

$$= \frac{AB}{n\,(n+1)} = \frac{AK}{n+1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I)}$$

Если бы $AZ = \frac{AB}{n-1}$, то $AZ > AK$,

а потому

$$t = AK - AZ = \frac{AB\,(n-1) - ABn}{n\,(n-1)} = -\frac{AK}{n-1}\ ^{1}) \ldots\ldots \text{(II)}$$

Такимъ образомъ видимъ, что *точность вернъера всегда равна одному дѣленію лимба, раздѣленному на число частей вернъера.*

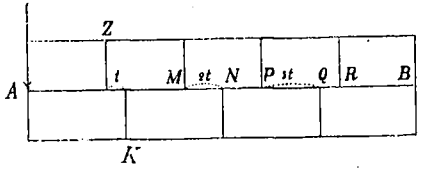
Въ астролябіяхъ дѣленіе лимба $AK = 1^0$ и $n = 11$, если $AZ = \frac{AB}{n+1}$, тогда $t = \frac{1^0}{12} = 5'$; въ этомъ случаѣ вернъеръ называется *прямымъ*. Если $AZ = \frac{AB}{n-1}$ и $n = 13$, то $t = -\frac{1^0}{12} = -5'$ и въ этомъ случаѣ вернъеръ называютъ *обратнымъ*.

Если дѣленіе лимба

$$AK = \frac{1^0}{2} = 30' \text{ и } n = 29, \text{ то } t = \frac{30'}{30} = 1'.$$

$$AK = \frac{1^0}{6} = 10' \text{ и } n = 59, \text{ то } t = \frac{10'}{60} = \frac{600''}{60} = 10''.$$

Если бы $t = 2'$ и $AK = 1^0$, то $2' = \frac{1^0}{n+1}$ или $2'\,(n+1) = 60'$, откуда $n + 1 = 30$ и $n = 29$. При $t = 2'$ и $AK = \frac{1^0}{2} = 30'$, $n = 14$.



Черт. 107.

§ 77. Употребленіе вернъера. Разность $AK - AZ = KZ = t$. Найдемъ длину MN (черт. 107), — она будетъ:

$$MN = AN - AM = 2\,AK - 2\,AZ = 2t.$$

Точно также получимъ $PQ = 3\,t$,.... $RB = nt$ или, если $n = 4$, то $RB = 4\,t$. Это намъ

---

1) Или еще и такъ:

$AB = nl$ и $AB = (n+1)\,v$, т. е. $nl = (n+1)\,v$.

Откуда

$$1)\ \frac{l}{n+1} = \frac{v}{n} \text{ и } 2)\ nl - nv = +v \text{ или } nl = +v.$$

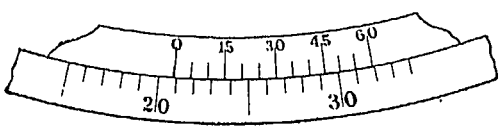
Слѣдовательно: $t = +\frac{v}{n} = +\frac{l}{n+1}$.

показываетъ, что когда 1-й штрихъ Z верньера совпадаетъ съ ближайшимъ къ нему штрихомъ K лимба, то указатель ↧ верньера отодвинется вправо отъ штриха A лимба на точность t верньера.

Если второй штрихъ M верньера совпадаетъ со штрихомъ N лимба, то указатель по лимбу отодвинется отъ штриха A на двойную точность верньера, и т. д. Когда n-й штрихъ верньера совпадетъ со штрихомъ лимба B, то указатель верньера будетъ отстоять отъ штриха A лимба на nt, и наконецъ, если $(n+1$-й) штрихъ верньера сольется съ какимъ-либо штрихомъ лимба, то указатель верньера продвинется отъ штриха A лимба на $(n+1)t$, а такъ какъ $t=\frac{AK}{n+1}$ или $(n+1)t=AK$, то индексъ ↧ совпадетъ со слѣдующимъ штрихомъ K лимба.

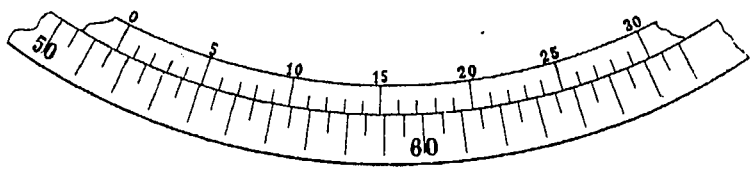
Справедливо и обратное заключеніе: Если указатель верньера (или такъ какъ указатель верньера подписывается цифрою ноль, то ноль верньера), отодвинулся отъ ближайшаго къ нему штриха A лимба на нѣкоторую дугу, то для опредѣленія ея величины nt, необходимо найти на верньерѣ штрихъ, сливающійся съ какимъ-либо штрихомъ лимба, и номеръ его n умножить на t; поэтому t, $2\,t$, $3\,t$,... называются *показаніями верньера*. Для правильности оцѣнки какой именно штрихъ верньера совпадаетъ со штрихомъ лимба дуга отклоненія индекса верньера отъ A *оцѣнивается сперва на глазъ*: $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$, $^2/_3$, $^3/_4$ отъ AK.

Пусть напр. $t=5'$, лимбъ раздѣленъ отъ 1^0 до 1^0, ноль верньера стоитъ между 20 и 21 штрихами лимба (черт. 108). На глазъ дуга отклоненія $=0{,}9\,AK$, т.-е. 0,9 отъ 1^0 или $54'$ и 11-й штрихъ верньера сливается со штрихомъ лимба. Полный отсчетъ по лимбу будетъ $20^0+11.5'=20^0 55'$.



Черт. 108.

Если точность верньера $t=1'$, лимбъ подраздѣленъ на полуградусы, какъ показано на чертежѣ 109, нуль верньера стоитъ послѣ короткаго полуградуснаго штриха, на глазъ отклоненіе $=^1/_4\,AK=^1/_4\,30'=7'-8'$, и 8-й штрихъ верньера сливается со

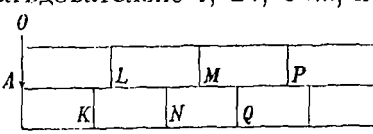


Черт. 109.

штрихомъ лимба, то полный отсчетъ будетъ:

$$51^0\ 30' + 8' = 51^0\ 38'.\ ^1)$$

Въ обратномъ верньерѣ $AL > AK$ (черт. 110) и при совмѣщеніи штриховъ L съ K, M съ N, P съ Q, хотя дуги KL, MN и PQ и будутъ послѣдовательно t, $2t$, $3t$..., но указатель (ноль) верньера будетъ отодвигаться влѣво по лимбу, т. е. въ сторону, противоположную возрастающей подписи штриховъ лимба. Такимъ образомъ, если бы допустили, что на черт. 110 штрихъ K соотвѣтствуетъ 20^0, а штрихъ N—21^0, то въ томъ случаѣ, когда L сольется съ K, по индексу A придется прочесть $19^0 - t$, когда M сольется съ N, пришлось бы прочесть $19^0 - 2t$ по указателю A. При совпаденіи P съ Q отсчетъ по верньеру былъ бы $19^0 - 3t$. Если



Черт. 110.

$$t = \frac{l}{n-1} = \frac{1^0}{4} = 15',$$

то
$$19^0 - t = 18^0\ 45' = 18^0 + 3t$$
$$19^0 - 2t = 18^0\ 30' = 18^0 + 2t$$
$$19^0 - 3t = 18^0\ 15' = 18^0 + t$$
$$19^0 - 4t = 18^0\ 0'.$$

Поэтому *для удобства употребленія* верньера съ n минусъ однимъ дѣленіемъ выгоднѣе [2]) у штриха L писать не $-t$, а $+3t$, у M не $-2t$, а $+2t$, у P не $-3t$, а $+t$ и наконецъ у крайняго праваго вмѣсто $-4t$ поставить 0, т. е. возрастающую подпись штриховъ верньера имѣть въ сторону, обратную направленію возрастающей подписи лимба, а потому и самый верньеръ съ $n-1$ дѣленіемъ принято называть обратнымъ.

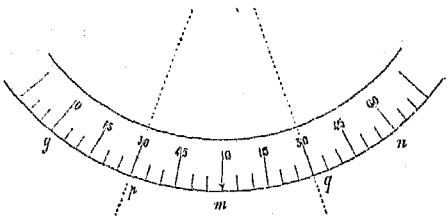
§ 78. Подпись верньера. Индексъ верньера обыкновенно подписывается нулемъ, всѣ же остальные штрихи или оставляются безъ подписи или же подписываются черезъ нѣсколько штриховъ. При этомъ на угломѣрныхъ инструментахъ *подпись при штрихѣ* означаетъ произведеніе *номера штриха на точность верньера*. На чертежѣ 111 изображена подпись верньера съ точностію въ 5 минутъ. Если вообразимъ себѣ, *что влѣво* отъ индекса ↧ нанесенъ *еще разъ* верньеръ mg, равный по длинѣ mn, то изъ этихъ двухъ верньеровъ можно составить одинъ верньеръ такъ: правую

---

[1]) Для упражненія предлагается построить верньеры при
$$l = 1^0 \text{ и } t = 2'$$
$$l = 10' \text{ и } t = 10''$$

[2]) Въ томъ смыслѣ, чтобы не дѣлать вычитанія, а непосредственно читать по верньеру по направленію возрастающей подписи лимба отъ младшаго штриха, отъ котораго отодвинутъ индексъ.

половину *pm* лѣваго верньера соединить съ лѣвою половиною *mq* праваго верньера и образовать цѣлый верньеръ *pq*, на которомъ индексъ будетъ стоять по серединѣ, а подпись штриховъ расположится такъ: до 30′ она будетъ вправо отъ нуля, а съ 30′ до 60′ она расположится влѣво отъ него, возрастая отъ лѣваго крайняго штриха до середины верньера, т. е. до индекса. Отсюда видимъ, что полный верньеръ *pq* можно было бы составить и иначе, (т.-е. брать и не равныя по длинѣ части *mp* и *mq*, а разныя, напр. слѣва отъ нуля $^1/_4$ *mg*, а справа $^3/_4$ *mn*), лишь бы длина его дуги *pq* равнялася общей длинѣ начальнаго верньера *mn*, а слѣдовательно *О верньера можетъ стоять* и не по серединѣ верньера и не въ началѣ его дуги, а *при какомъ угодно изъ его штриховъ*.



Черт. 111.

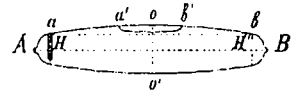
§ 79. Е. Отвѣсъ. Такъ какъ *необходимымъ условіемъ* полученія горизонтальнаго проложенія угла на мѣстности является *возможность приведенія плоскости лимба въ горизонтальное положеніе*, (ибо плоскостью проекцій для горизонтальныхъ угловъ является лимбъ, а плоскость вполнѣ опредѣляется двумя пересѣкающимися линіями), то мы остановимъ наше вниманіе на приборахъ, дающихъ направленіе вертикальной и горизонтальной линій: на отвѣсѣ и уровнѣ.

Отвѣсъ представляетъ собою шнуръ съ грузомъ (черт. 3) и даетъ направленіе вертикальной линіи.

§ 80. Уровни. Два вида уровней. Уровень состоитъ изъ мѣднаго сосуда со стеклянною крышкою (или изъ заключеннаго въ мѣдную оправу стекляннаго сосуда), наполненнаго жидкостью съ *безвоздушнымъ пузырькомъ*, который по своей легкости занимаетъ всегда *высшее мѣсто* въ сосудѣ. Уровни, по формѣ сосуда съ жидкостью, раздѣляются на *цилиндрическіе* и *круглые*. Первоначально наполняли уровни водою, и пузырьки ихъ были воздушные. Въ настоящее время менѣе точные уровни наполняются виннымъ спиртомъ, а болѣе точные—сѣрнымъ эфиромъ и пузырьки ихъ дѣлаются всегда безвоздушными. Безвоздушный пузырекъ образуется слѣдующимъ образомъ: при обыкновенной температурѣ жидкость вливаютъ въ сосудъ, оставляя часть сосуда, у краевъ, немного незаполненной. Сосудъ нагрѣваютъ до температуры около $+30^0$ *R*. Жидкость, постепенно нагрѣваясь, расширится и достигнетъ краевъ сосуда. Въ этотъ моментъ стараются сосудъ или плотно закупорить пробкою со свинымъ пузыремъ и замазать лакомъ, или запаять отверстіе сосуда. По охлажденіи жидкости образуется безвоздушный пузырекъ, наполненный ея парами. Преимущество тако-

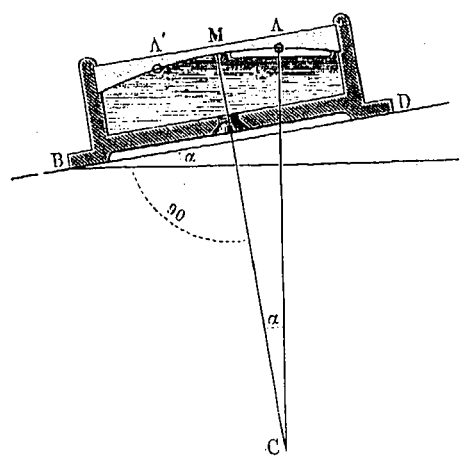
го уровня заключается въ томъ, что въ запаянномъ сосудѣ жидкость при нагрѣваніи расширяется, пары сгущаются и наполняютъ безвоздушный пузырекъ, наличность котораго предупреждаетъ образованіе опасной упругости паровъ внутри сосуда. Кромѣ того, камера дѣлается иногда двойною съ помощью перегородки H (черт. 112 и ~~114~~), что позволяетъ регулировать въ главной части уровня *длину пузырька*, удлиняя ее, при высокой температурѣ, (если пузырекъ сдѣлался слишкомъ малъ отъ расширенія жидкости) и сокращая чрезмѣрную его длину при низкой температурѣ, простымъ наклоненіемъ уровня, переливая часть жидкости изъ одной камеры въ другую.

§ 81. Математическая форма внутренней поверхности цилиндрическаго уровня образуется отъ вращенія дуги круга AoB весьма значительнаго радіуса около ея хорды $AHH'B$ (черт. 128). Такая поверхность уровня приготовляется шлифовкою стекла, движеніемъ его по тонкому изогнутому стальному стержню, посыпаемому отъ времени до времени наждачнымъ порошкомъ. *Шлифованные* уровни цѣнятся дороже, чѣмъ уровни, внутренняя поверхность которыхъ образуется сгибаніемъ на огнѣ простой цилиндрической трубки (какъ это дѣлалось въ прежнее время), вслѣдствіе большой трудности и тщательности процесса шлифовки.



Черт. 112.

§ 82. Ось цилиндрическаго уровня. Поверхность цилиндрическаго уровня въ сѣченіи плоскостями, перпендикулярными къ линіи HH', даетъ окружности различныхъ радіусовъ. Прямая HH', идущая *вдоль уровня* и представляющая геометрическое мѣсто центровъ этихъ окружностей, относительно которой точки внутренней поверхности расположены *симметрично*, называется *осью цилиндрическаго уровня*.



Черт. 113.

§ 83. Внутренняя поверхность круглаго уровня представляетъ изъ себя мѣдную коробку BMD (черт. 113) цилиндрической формы, прикрытую сверху стеклянною, наглухо врѣзанною и вмазанною въ края коробки крышкою AMA'. Внутренняя поверхность крышки есть поверхность шарового сегмента. Внизу, въ се-

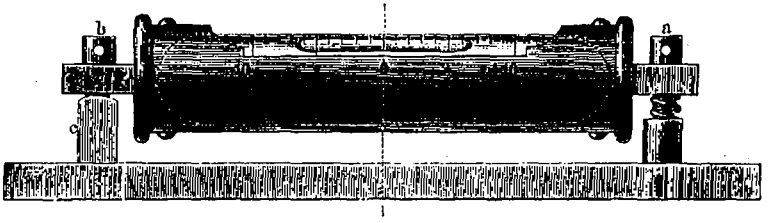
рединѣ дна коробки, сдѣлано отверстіе съ винто- вою нарѣзкою, черезъ которое наполняется уровень. Послѣ нагрѣванія жидкости отверстіе прикрывается винтомъ, смазаннымъ мастикою.

Пусть M есть средняя точка шаровой поверхности крышки, а C ея центръ, внутренняя поверхность всей коробки располагается симметрично относительно радіуса MC; эта линія называется *осью круглаго уровня*. Замѣткою середины M служитъ центръ выгравированнаго на крышкѣ круга. Такимъ образомъ, *ось круглаго уровня есть радіусъ, соединяющій центръ C шароваго сегмента крышки уровня съ средней его точкою M*. Радіусы круглыхъ уровней всегда дѣлаютъ меньше радіусовъ цилиндрическихъ уровней.

§ 84. Признакъ горизонтальности (вертикальности) **оси цилиндрическаго** (круглаго) **уровня.** Безвоздушный пузырекъ $a'b'$ (черт. 112) уровня, какъ тѣло болѣе легкое, чѣмъ жидкость уровня, всегда стремится занять высшее мѣсто въ трубкѣ, поэтому понятно, что *по мѣсту пузырька узнаютъ приподнятый конецъ трубки*. Чтобы замѣтить мѣсто пузырька на трубкѣ, на ней нанесенъ рядъ равноотстоящихъ штриховъ (черт. №№ 113, 114, планъ—верхъ). Въ случаѣ, когда оба конца оси трубки лежатъ на горизонтальной прямой AB, высшею точкою трубки будетъ ея середина O, и середина пузырька совпадетъ съ серединой трубки O. Справедливо и обратное положеніе,—*ось цилиндрическаго уровня горизонтальна, когда середина пузырька совпадаетъ съ серединой трубки O*, ибо при совпаденіи необходимо дуга $Aa' = Bb'$ (такъ какъ $AO - a'O = OB - Ob'$) и хорды AB и $a'b'$ будутъ параллельны, какъ соединяющія одноименные концы равныхъ дугъ Aa' и Bb'. Но хорда $a'b'$ представляетъ горизонтальную линію, а слѣдовательно, и ось уровня будетъ также горизонтальна. Изъ чертежа 113 видно, что сѣченіе вертикальною плоскостью поверхности круглаго уровня получается дуга большого круга съ хордою, параллельною основанію BD уровня и уголъ $ACM = \alpha$ измѣряется дугою AM, отъ середины A пузырька до середины M трубки, сверхъ того, тотъ же уголъ выражаетъ отклоненіе оси CM уровня отъ вертикальной линіи AC или линіи BD отъ горизонтальнаго положенія. И признакомъ *вертикальности оси круглаго уровня* служитъ *совпаденіе* середины A пузырька съ серединою M крышки.

§ 85. Оправа уровня. Цилиндрическій уровень помѣщается въ мѣдную оправу; она состоитъ изъ мѣднаго цилиндра (черт. 114) съ продолговатымъ прорѣзомъ вверху, черезъ который и виденъ пузырекъ уровня. Цилиндръ оканчивается двумя рукавами, въ которые входятъ два винта a и b, называемые *исправительными* винтами уровня. Назначеніе ихъ—наклонять ось уровня относительно нижней плоскости линейки, служащей подставкою уровня. Внизу на винтѣ a надѣта спиральная пружина. Отъ дѣйствія ея зависитъ плав-

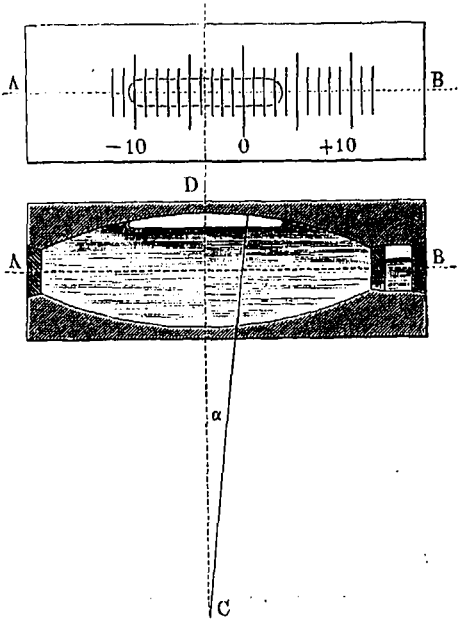
ность поднятія и опусканія оси уровня. Верхъ столбика *c*, на которомъ лежитъ лѣвый рукавъ цилиндра, скругленъ благода-



Черт. 114.

ря чему ось уровня и можетъ безпрепятственно наклоняться, (при дѣйствіи винтовъ *a* и *b*), какъ вверхъ, такъ и внизъ.

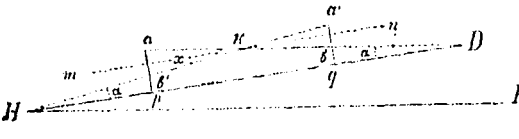
§ 86. Повѣрка уровня. Для того, чтобы уровень въ оправѣ отвѣчалъ своему назначенію, необходимо, чтобы въ немъ возможно точно выполнялось условіе, которое неизбѣжно вытекаетъ изъ устройства его оправы и должно быть повѣрено передъ употребленіемъ уровня. а) Отъ цилиндрическаго уровня, перестанавливаемаго на плоскости инструмента, требуется, чтобы *ось его была параллельна нижней плоскости его подставки*. Для повѣрки этого условія берутъ доску, имѣющую хотя бы одинъ подъемный винтъ ставятъ на нее испытуемый уровень приблизительно такъ, чтобы одинъ его конецъ стоялъ по направленію на подъемный винтъ и, дѣйствуя имъ, приводятъ середину пузырька *точно* въ совмѣщеніе съ *серединой трубки*. Для обозначенія *середины трубки* на стеклѣ цилиндрическаго уровня наносятся и нумеруются дѣленія, какъ указано на черт. 115. Затѣмъ обчерчиваютъ карандашемъ низъ подставки уровня. Послѣ чего, снявъ уровень съ доски, повертываютъ его на 180° и ставятъ опять на обчерченное мѣсто, но только уже такъ, чтобы правый конецъ его пришелся на мѣсто, занятое прежде лѣвымъ концомъ, а лѣвый конецъ—на мѣсто праваго. Если



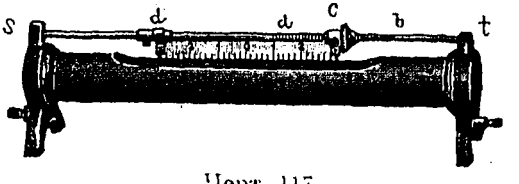
Черт. 115 (профиль).

послѣ перекладыванія на 180° середина пузырька будетъ опять совмѣщаться съ серединой трубки (*а это легко усмотрѣть по положенію концовъ пузырька*, то условіе, требуемое отъ уровня, выполняется; въ противномъ случаѣ *дуга уклоненія пузырька отъ средины трубки отмѣтитъ двойной уголъ, составляемый осью уровня съ плоскостью подставки.* Для уничтоженія погрѣшности (т. е. угла между осью уровня и плоскостію подставки) вращаютъ *исправительный винтъ при оправѣ уровня* до тѣхъ поръ, пока середина пузырька не передвинется *на половину дуги* уклоненія. Послѣ этого, приведя подъемнымъ винтомъ пузырекъ уровня вновь на средину трубки, повторяютъ предыдущія дѣйствія перекладыванія уровня на 180° до тѣхъ поръ, пока середина пузырька не будетъ совмѣщаться съ серединой трубки при двухъ противоположныхъ положеніяхъ уровня.

Исправленіе уровня, въ случаѣ невыполненія требуемаго отъ него условія, основано на слѣдующемъ: положимъ, что ось *ab* (черт. 116) не параллельна подставкѣ *HD* и составляетъ съ нею нѣкоторый уголъ α; дѣйствуя подъемнымъ винтомъ, приведемъ пузырекъ на средину трубки, причемъ ось *ab* займетъ горизонтальное положеніе; переставимъ уровень обратными концами тогда ось *ab* займетъ положеніе *a'b'*, составляющее съ *HD* тотъ же уголъ α, а съ линіею горизонтальною—уголъ $x = akb'$, измѣряющійся дугою уровня, которая заключается между срединою пузырька и срединою трубки. Изъ чертежа видно, что этотъ *уголъ* (какъ внѣшній въ треугольникѣ *kDH*) $x = 2\alpha$, *т. е. двойной погрѣшности*; вслѣдствіе этого, положеніе оси *a'b'* надо измѣнить настолько, чтобы она заняла положеніе параллели къ линіи *mn*, дѣлящей уголъ x пополамъ и параллельной плоскости *HD*; другими словами—*надо передвинуть исправительнымъ винтомъ средину пузырька на половину дуги уклоненія.* Механикъ Рейсъ въ Либенвердѣ (R. Reiss, Liebenwerda) для исправленія уровня по указанію Zwicky наноситъ дѣленія не на стеклѣ уровня, а на стеклянной пластинкѣ *dc*, прикрѣпленной къ стержню *st* (черт. 117) оправы уровня; настержнѣ сдѣланаа винтовая нарѣзка *ab* съ гайкой *c*, вращая которую можно из-



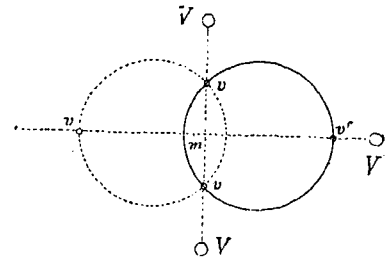
Черт. 116.



Черт. 117.

мѣнять мѣсто нуля дѣленій шкалы относительно пузырька [1]).

б) Отъ круглаго уровня, ставимаго на плоскость инструмента, требуется, чтобы *ось его была перпендикулярна къ плоскости его подставки, на которой онъ помѣщается.* Если уровень переставляется на плоскости инструмента, то повѣрка производится такъ: прочерчиваютъ предварительно на плоскости двѣ линіи—одну vv (черт. 118) и другую mv', къ ней перпендикулярную. Ставятъ уровень на плоскость такъ, чтобы два исправительные винта V его размѣстились по линіи vv, а третій—по линіи mv'. Дѣйствуя всѣми тремя подъемными винтами V плоскости, на которую поставленъ уровень, приводятъ пузырекъ его на средину крышки; переставляютъ уровень на плоскости на 180° и придаютъ ему симметричное положеніе, обозначенное на чертежѣ пунктиромъ. Если послѣ этого средина пузырька опять совмѣщается съ серединой стеклянной крышки, то условіе выполнено; если не совмѣщается, то пузырекъ передвигается на половину дуги отклоненія исправительными винтами уровня. Если уровень не имѣетъ исправительнаго винта, то исправленіе производится механикомъ, который долженъ сточить нижнюю плоскость мѣднаго круга подставки такъ, чтобы условіе выполнялось, или же опредѣляется на уровнѣ такъ называемый нуль-пунктъ, т. е. та точка, съ которой слѣдуетъ совмѣщать средину пузырька, чтобы подставка принимала горизонтальное положеніе.



Черт. 118.

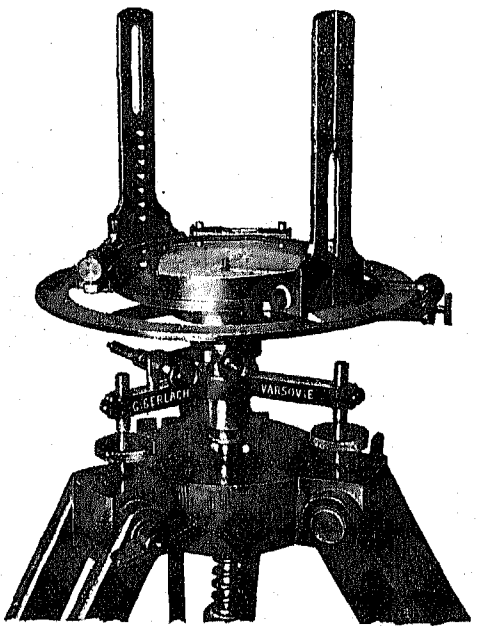
§ 87. Чувствительность уровня. Уровень считается тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ болѣе уклоняется средина его пузырька отъ средины трубки (или круглой крышки) *при одномъ и томъ же углѣ наклоненія его оси.* На этомъ основаніи *чувствительностью* уровня называется способность уровня уклоняться на значительную дугу при маломъ углѣ наклона его оси. Очевидно, что дуга d при радіусѣ R и углѣ наклона α даетъ соотношеніе: $\frac{\pi R}{180} = \frac{d}{\alpha}$. Откуда $d = \frac{\alpha}{\rho} \cdot R$, гдѣ $\rho = \frac{180^0 \times 60 \times 60}{\pi} = 206265''$, т. е. что *чувствительность уровня*, характеризующаяся дугою d, *прямо*

[1]) Впервые о подвижной шкалѣ упоминается въ 1873 г. въ французской литературѣ, и изобрѣтеніе ея приписывается полковнику Гульe.

пропорціональна его радіусу. Если бы внутренняя поверхность цилиндрическаго уровня *не* имѣла кривизны по направленію его оси [1]), то чувствительность такого уровня была бы безконечно велика, ибо для прямой радіусъ R равенъ безконечности, и при малѣйшемъ наклоненіи оси этого уровня пузырекъ отходилъ бы къ приподнятому концу трубки, а при горизонтальномъ ея положеніи онъ расположился бы по верху вдоль всей трубки. Этимъ и объясняется, почему простыя цилиндрическія трубки и плоскія стеклянныя крышки для уровней не пригодны. Радіусъ уровня имѣетъ различныя длины: въ круглыхъ уровняхъ онъ около 5 футовъ, тогда какъ въ очень чувствительныхъ цилиндрическихъ уровняхъ онъ достигаетъ 1000 футовъ.

§ 88. **Недостатки астролябіи на баксѣ.** Неустойчивость баксы имѣющей одну точку опоры для лимба — зажатое яблоко,

Астролябія съ одними подвижными діоптрами механика Герляха.



Черт. 119.

держащееся треніемъ въ губахъ баксы, устранена въ разсмотрѣнномъ нами новѣйшемъ типѣ астролябіи, замѣною баксы треножникомъ, напр. у фирмы Герляха въ Варшавѣ (черт. 119). Однако кромѣ подставки въ угломѣр-

[1]) Т. е. въ сѣченіи давала бы прямую линію, а не дугу AB.

номъ инструментѣ на точность результата измѣряемаго угла несомнѣнно должна вліять и *правильность вращенія алидады по лимбу, обусловливаемая длиною оси вращенія алидады.* Если ось коротка, какъ это имѣетъ мѣсто въ астролябіи, то нельзя ручаться, что алидада не колеблется на лимбѣ, а вмѣстѣ съ нею и индексъ верньера, а слѣдовательно измѣняется (при колебаніяхъ оси алидады) отсчетъ по лимбу, въ зависимости отъ того — какое положеніе заняла алидада во втулкѣ лимба. Сверхъ того на величину отсчета по верньеру должна имѣть вліяніе точность наведенія коллимаціонной плоскости визирнаго снаряда на точку, опредѣляющую сторону измѣряемаго угла. Поэтому ниже мы укажемъ на недостатки визированія черезъ діоптры. Здѣсь же замѣтимъ, что если принять толщину волоса предметнаго діоптра равной $\frac{1}{400}$ дюйма, а разстояніе между діоптрами 9 дюймамъ, то уголъ зрѣнія будетъ

$$tgz = \frac{1}{400} : 9 = \frac{1}{3600},$$

т. е. около 1 минуты.

Упомянутые недостатки простѣйшихъ угломѣрныхъ инструментовъ съ діоптрами по возможности устранены въ такъ называемыхъ *теодолитахъ.*

§ 89. **Теодолитъ** есть такой угломѣрный инструментъ, который по сравненію съ астролябіею, 1) обладаетъ надлежащею устойчивостію, 2) имѣетъ достаточную плавность и равномѣрность движеній отдѣльныхъ частей, 3) представляетъ возможность болѣе точнаго и удобнаго визированія вдоль сторонъ измѣряемаго угла и 4) снабженъ приспособленіемъ къ болѣе быстрой центрировкѣ инструмента надъ вершиною измѣряемаго угла.

Устройствомъ болѣе совершенной подставки—треножника достигается надлежащая устойчивость и болѣе быстрое приведеніе инструмента въ горизонтальное положеніе. Плавность и равномѣрность движеній въ теодолитѣ достигается болѣе *длинными* и хорошо *шлифованными* осями алидады и лимба, а равно и микрометреннымъ, т. е. малымъ вращеніемъ лимба и алидады около ихъ осей, для чего устраиваются *микрометренные* винты. Болѣе точное визированіе получается черезъ замѣну діоптровъ *зрительною трубою.* Помимо этого въ теодолитахъ точность верньеровъ доводится, начиная съ 2 минутъ до 10 секундъ. Наиболѣе часто встрѣчающіяся точности верньеровъ 2′, 1′, 30″, 20″ и 10″.

Прежде чѣмъ перейти къ болѣе подробному описанію устройства теодолитовъ и ихъ штативовъ, головы которыхъ

приспособлены для болѣе быстрой центрировки лимба теодолита, замѣтимъ, что [1]) зрительная труба въ теодолитѣ закрѣпляется на алидадѣ. Закрѣпленіе совершается помощью особой подставки или *трегера*, на которую цилиндръ зрительной трубы накладывается посредствомъ горизонтальнаго стержня, припаяннаго къ трубѣ перпендикулярно къ образующей цилиндра, носящаго названіе *горизонтальной оси вращенія трубы*.

Здѣсь же замѣтимъ себѣ, что теодолиты иногда имѣютъ прибавленія къ основнымъ своимъ частямъ, предназначаемыя 1) для измѣренія вертикальныхъ угловъ, напр., наклона линій мѣстности къ горизонту (вертикальные круги и секторы), 2) для опредѣленія разстояній непосредственнаго безъ измѣренія ихъ цѣпью или лентою (дальномѣры), 3) для полученія горизонтальной линіи визированія (съ цѣлью опредѣлять относительныя высоты точекъ земной поверхности—уровни для нивеллированія) и 4) для опредѣленія направленія линій относительно странъ свѣта (для чтенія азимутовъ или румбовъ—буссоли съ магнитной стрѣлкой).

§ 90. Раздѣленіе теодолитовъ на простые и повторительные. Теодолиты дѣлятся на двѣ основныхъ группы: 1) *простые* теодолиты, лимбы которыхъ *не* имѣютъ вращательнаго движенія около вертикальной оси подставки и 2) *повторительные* теодолиты, лимбы которыхъ имѣютъ самостоятельное движеніе вокругъ *вертикальной* оси вращенія.

§ 91. Составныя части теодолита слѣдующія: 1) штативъ (тренога), 2) подставка-треножникъ, 3) подраздѣленный лимбъ, 4) алидада или алидадный кругъ съ верньеромъ, 5) вертикальныя оси вращенія лимба и алидады, 6) закрѣпительные или нажимательные винты лимба и алидады, 7) микрометренные винты лимба и алидады, 8) зрительная труба на подставкѣ съ нажимательнымъ и микрометреннымъ винтомъ для трубы, 9) уровни, иногда, 10) вертикальный кругъ или секторъ съ алидадою, 11) лупы при лимбѣ и секторѣ, 12) буссоль.

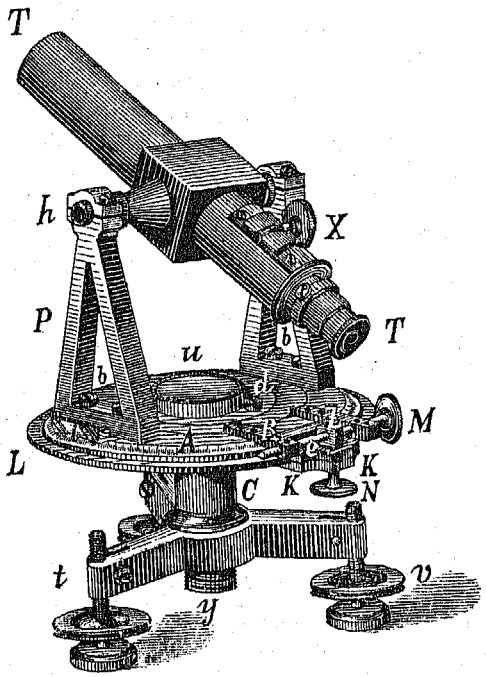
§ 92. Отдѣльные виды теодолитовъ. Малый (простой) теодолитъ нѣмецкаго механика Бамберга [2]) имѣетъ незначительные размѣры и отличается своею легкостію при переноскѣ или такъ *называемою портативностію*. Общій его видъ помѣщенъ на чертежѣ 120, а вертикальный разрѣзъ на чертежѣ 121.

---

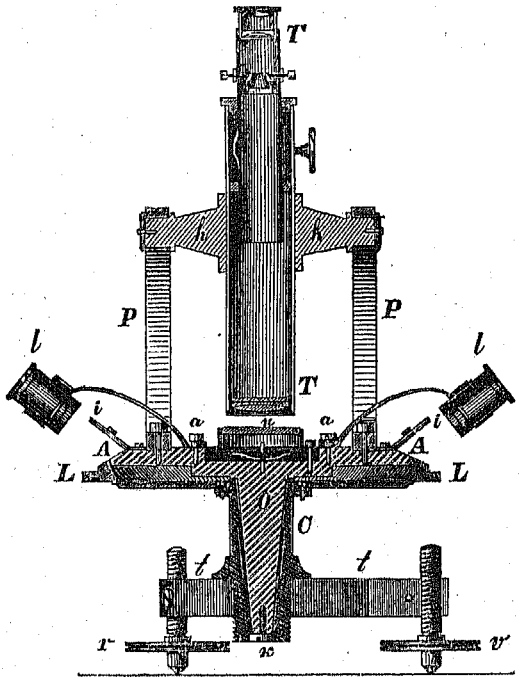
[1]) Сдѣлавъ предварительно при помощи нити съ отвѣсомъ центрировку лимба надъ вершиною измѣряемаго угла, начинаютъ приводить лимбъ въ горизонтальное положеніе и это дѣйствіе нарушаетъ первоначальную центрировку.

[2]) Впервые сталъ извѣстенъ въ Россіи съ 1883 года.

Малый теодолитъ Бамберга — простой теодолитъ, его *лимбъ* *L* конической формы представляетъ изъ себя сплошную круговую шейбу съ краями конической поверхности, на которой и назначены дѣленія лимба, подписанныя черезъ каждые 10° слѣва направо, т. е. *по ходу часовой стрѣлки*. Втулка *C* соединяетъ лимбъ съ тремя рукавами *t* треножника; черезъ винтовыя нарѣзки концовъ рукавовъ треножника проходятъ подъемные (или уравнительные) винты *v*. Алидада *A* такъ же, какъ и лимбъ, представляетъ изъ себя сплошной кругъ, коническая поверхность котораго составляетъ непосредственное продолженіе поверхности лимба. Алидада наглухо соединена съ своею стальною вертикальною осью *O* (черт. 121) вращенія, также конической формы; ось проходитъ черезъ втулку *C* и закрѣпляется въ ней снизу винтомъ *k*. Между осью и втулкою оставляется небольшой зазоръ по серединѣ втулки, для уменьшенія тренія

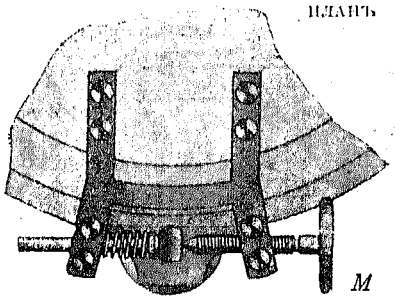


Черт. 120.

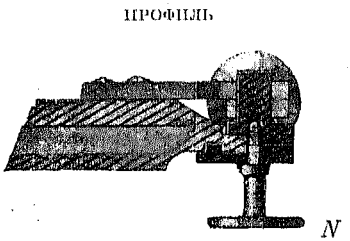


Черт. 121.

оси о стѣнки втулки C (такъ называемое Spielraum). На алидадѣ нанесены два діаметрально противоположные верньера съ точностію отсчитыванія до 1′, освѣщаемые двумя иллюминаторами *i* въ видѣ пластинокъ изъ молочнаго стекла въ металлическихъ рамахъ, наклонно привинченныхъ къ алидадѣ. Иногда надъ верньерами помѣщаются двѣ лупы *l*, вращающіяся на винтикахъ *a*, для разсматриванія дѣленій лимба и верньеровъ. На алидадѣ, въ центрѣ помѣщается на пружинѣ круглый уровень *u*, привинчиваемый къ ней 3-мя винтиками *d* (черт. 120). Визирнымъ снарядомъ служитъ зрительная труба *T* съ горизонтальною осью вращенія *h*, накладываемою на двѣ подставки *P*; каждая изъ подставокъ соединяется съ алидадою 2-мя винтами *b*. Алидада сверху лимба прихватывается къ нему съ помощію двухъ пластинокъ *клещей K* (черт. 120, 122 и 123), нажимательнымъ

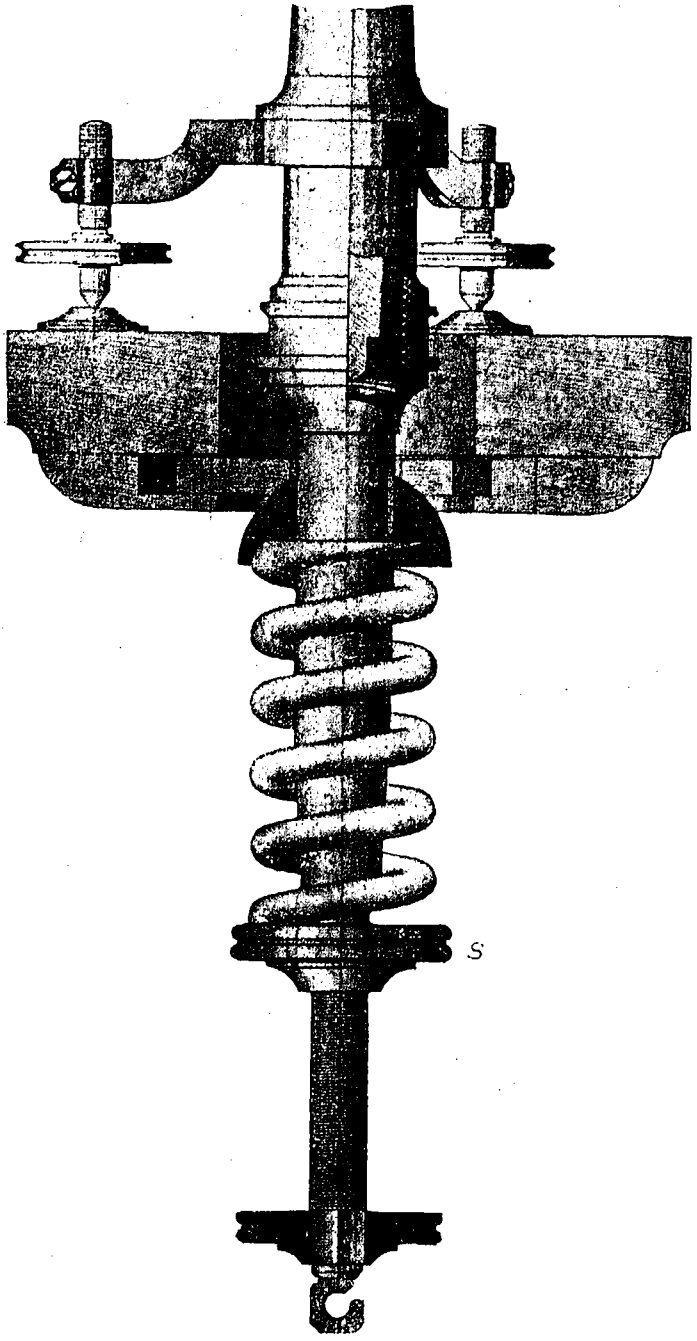


Черт. 122.



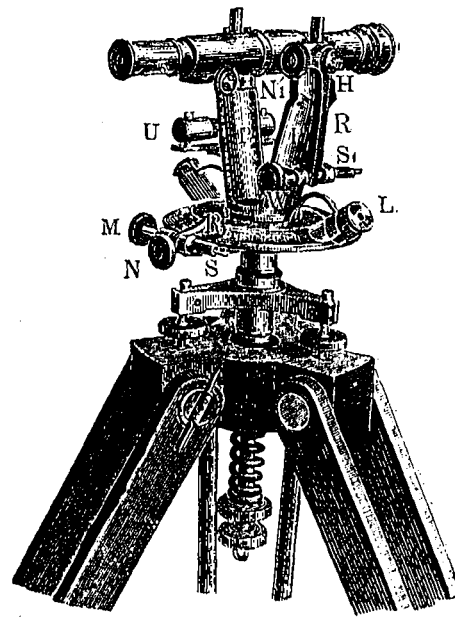
Черт. 123.

винтомъ *N*. Клещи *K* могутъ двигаться по выступающему ранту лимба, когда отпущенъ винтъ *N*, и соединяются съ алидадою при посредствѣ привинченной къ ней рамы *R*, микрометреннаго винта *M*, его спиральной пружины *e* и выступа *Z* клещей *K*. Въ выступъ *Z* съ одной стороны упирается лѣвый конецъ микрометреннаго винта *M*, а съ противоположной стержень *e* со спиральною пружиною. Размѣръ микрометреннаго движенія алидады обусловливается величиною вилко-образной (въ видѣ буквы *U*) рамы *R*. Винтъ *X* при *кремальерѣ* трубы служитъ для перемѣщенія окулярнаго колѣна зрительной трубы внутри объективнаго. Инструментъ ставится на штативъ и соединяется съ нимъ становымъ винтомъ (черт. 124), навинчивающимся своею гайкою на винтъ *y* инструмента. Въ головѣ штатива выпилено круглое отверстіе, черезъ которое проходитъ гайка станового винта. Закрѣпленіе теодолита на головѣ штатива гайкою станового винта и спиральною пружиною, перемѣщающеюся вдоль *ручки* гайки, видно на чертежѣ 126. Внизу ручка гайки оканчивается винтовою нарѣзкою, по которой ходитъ *шейба S*, служащая опорою спиральной пружинѣ. На верху спираль упирается въ полую шейбу—полусферу,



Черт. 124.

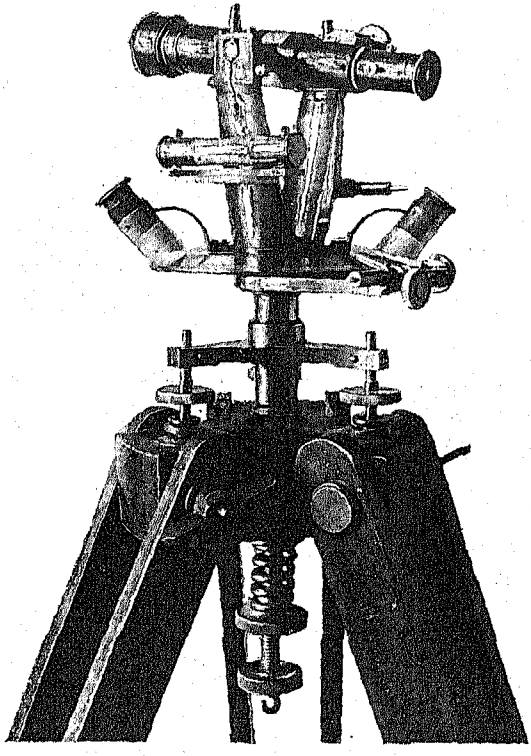
соприкасающуюся съ досчечкой, обхватывающей становой винтъ и движущейся въ отверстіи нижней доски головы штатива. На нижнемъ своемъ концѣ ручка гайки станового винта, подъ винтовою нарѣзкою, обдѣлана въ видѣ призмы, на которую надвигается *грифъ-кружекъ*, придерживаемый (ввинчиваемымъ въ становой винтъ снизу) крючкомъ для нити отвѣса. Отвернувъ шейбу S, можно ослабить треніе между головой штатива и концами подъемныхъ винтовъ, вслѣдствіе чего является возможность теодолитъ немного перемѣщать по головѣ штатива.



Черт. 125.

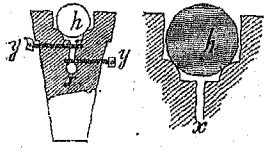
§ 93. Малый (простой) теодолитъ русскаго механика Герляха [1]) изображенъ на чертежахъ 125 и 126 и отличается отъ предшествующаго: 1) устройствомъ подставки—трубы (или трегера) P, отлитаго изъ одного куска металла: одна сторона подставки P вертикально пропилена (черт. 126), въ пропиленную щель x (черт. 127 и 128) съ двухъ противоположныхъ сторонъ входятъ 2 винта y. Эти два винта, сжимая или разжимая скважину x подставки, могутъ приподнять или опустить лежащій на подставкѣ P конецъ h горизонтальной оси вращенія трубы T. Горизонтальная ось трубы имѣетъ нажимательный винтъ N_1, и микрометренный W, дѣйствующій на нижній конецъ рычага R, составляющаго одноцѣлое съ гнѣздомъ винта N_1. Съ противоположной винту W стороны въ рычагъ R упирается спиральная пружина S_1, помѣщенная въ горизонтальный цилиндрикъ. 2) Круглый уровень здѣсь замѣненъ цилиндрическимъ U, сидящимъ на подставкѣ P, параллельно коллиманіонной плоскости трубы (плоскости визированія) и 3) устройствомъ нажимательнаго винта N алидаднаго круга, который вмѣстѣ съ микрометреннымъ винтомъ M и со спиралью S вынесенъ въ отдѣльный чертежъ 130, изъ котораго вмѣстѣ съ чертежемъ 129 видно,

[1]) Фирма Г. Герляха въ Варшавѣ изготовляетъ инструменты, по своему изяществу и тонкости выполненія напоминающіе качество лучшихъ нѣмецкихъ механиковъ.



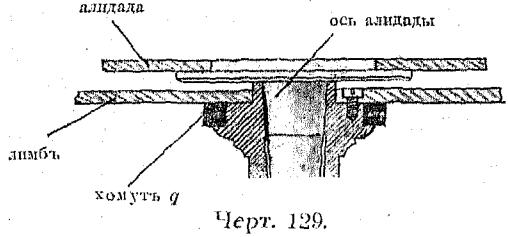
Черт. 126.

что винтъ N дѣйствуетъ не на ось O алидады, а помѣщаясь въ особой рамѣ—*хомутѣ* q подъ лимбомъ инструмента, нажимаетъ на втулку C лимба особою пластинкою p_1. Эта пластинка, выступая внутрь окружности хомута, треніемъ уничтожаетъ вращеніе хомута около втулки C,



Черт. 127.

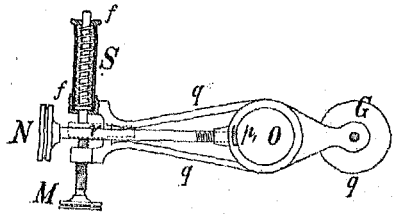
Черт. 128.



Черт. 129.

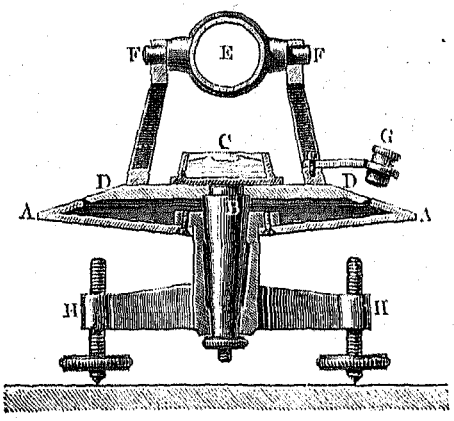
вслѣдствіе чего рама хомута становится однимъ цѣлымъ съ втулкою C по закрѣпленіи винта N; винтъ N имѣетъ себѣ противовѣсомъ тяжесть G. Микрометренный винтъ M соединяется съ алидадою A при помощи привернутаго къ ней выступа — рычажка r (на чер-

тежѣ 130) онъ сдѣланъ пунктиромъ, а на 125 обозначенъ черезъ R') упираясь въ него со стороны, противоположной штифту f со спиральною пружиною S. Микрометренное движеніе алидады обусловлено размѣромъ вырѣза между зубцами рамы хомута, между которыми перемѣщается выступъ r алидады. Оба верньера имѣютъ точность $1'$; причемъ лимбъ подраздѣленъ на полуградусы. Верньеры находятся въ направленіи горизонтальной оси вращенія трубы, т.-е. примѣрно отстоятъ отъ объектива и окуляра трубы на 90°.



Черт. 130.

Въ дополненіе къ описанію малаго теодолита помѣщаемъ здѣсь второй рисунокъ вертикальнаго разрѣза простого теодолита (черт. 131). На немъ показанъ лимбъ A, алидада D съ вертикальною осью B вращенія, съ круглымъ уровнемъ C и лупою G, подставкою-трегеромъ трубы DF, *горизонтальною осью* FF *вращенія трубы* и кругомъ E, предаставляющимъ поперечное сѣченіе цилиндра зрительной трубы. Лимбъ A связанъ наглухо съ втулкой треножника (при помощи винтовъ, симметрично на чертежѣ расположенныхъ относительно оси B). Въ винтовыя нарѣзки H *рукавовъ треножника* входятъ подъемные винты. На нижнемъ концѣ оси B надѣта гайка, препятствующая алидадѣ отдѣляться отъ лимба.



Черт. 131.

§ 94. Недостатки діоптровъ. Зрительныя трубы геодезическихъ инструментовъ, ихъ устройство. Употребленіе зрительныхъ трубъ вызвано недостатками діоптровъ; они заключаются въ слѣдующемъ: 1) количество свѣта, поступающее въ глазъ черезъ скважину глазного діоптра, значительно менѣе того количества свѣтовыхъ лучей, которое непосредственно попадаетъ на невооруженный глазъ отъ того же предмета, а потому и наведеніе волоса діоптра на визируемые предметы не можетъ совершаться съ достаточною точностію; сверхъ того предметы находятся на различныхъ разстояніяхъ отъ глаза, и болѣе удаленные менѣе ясно видны черезъ діоптры; 2) глазъ долженъ *приспособляться* къ одновременно-

му ясному видѣнію волоса предметнаго діоптра и того предмета, на который волосъ наводится, не смотря на то, что волосъ и предметъ находятся на разныхъ разстояніяхъ отъ глаза и слѣдовательно даютъ на сѣтчатой оболочкѣ глаза *не* одинаково ясныя изображенія. Слѣдствіемъ этихъ недостатковъ является полная невозможность визировать на весьма отдаленные предметы, какъ совсѣмъ не видимые черезъ діоптры, а это служитъ причиною того, что діоптры замѣняются зрительною трубою.

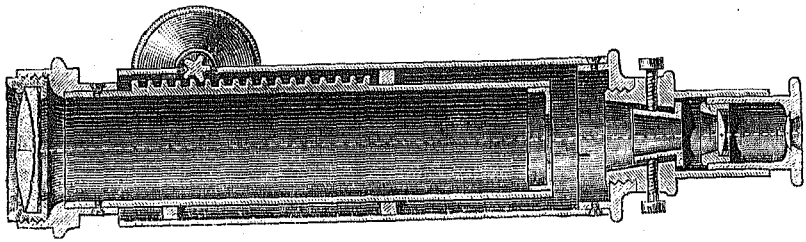
Большая или меньшая видимость предмета обусловливается такъ называемымъ *угломъ зрѣнія*, т. е. угломъ, образуемымъ лучами свѣта, идущими отъ крайнихъ (конечныхъ) точекъ предмета къ оптическому центру глаза, ибо при большемъ углѣ зрѣнія, большее число оконечностей зрительнаго нерва оказываются возбужденными изображеніемъ предмета на сѣтчатой оболочкѣ глаза. Стремленіе увеличить уголъ зрѣнія вызываетъ необходимость приближать предметъ къ глазу. Однако такое приближеніе не всегда въ нашей власти или же сопряжено съ большими неудобствами. Сверхъ того приблизить предметъ болѣе, чѣмъ допускаетъ предѣльная величина *разстоянія наилучшаго зрѣнія* (около 25$^{смт.}$ или 9—10$^{дюйм.}$) безцѣльно. Эти недостатки глаза уничтожаются *оптическими приборами* (лупами, микроскопами, зрительными трубами).

Въ геодезическихъ инструментахъ употребляются зрительныя трубы, состоящія изъ однихъ сферическихъ стеколъ, т. е. *діоптрическія*, при томъ только *астрономическія*, дающія изображенія въ обратномъ видѣ.

Астрономическія трубы предпочитаются *земнымъ*, дающимъ изображенія въ прямомъ видѣ, потому что земныя трубы обладаютъ меньшею ясностію изображеній; въ земныхъ трубахъ происходитъ потеря части свѣта при прохожденіи лучей черезъ добавочныя (сравнительно съ астрономическими трубами) стекла, предназначенныя для того, чтобы повернуть обратное изображеніе предмета. Земная труба значительно длиннѣе астрономической, имѣющей то же самое увеличеніе.

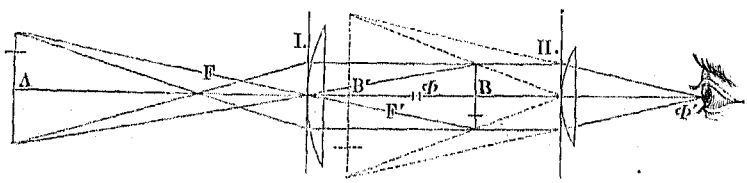
Простѣйшая зрительная труба есть труба Кеплера, состоящая изъ двухъ цилиндровъ, изъ которыхъ каждый имѣетъ по двояковыпуклому стеклу. Если эти цилиндры металлическіе, то ихъ внутри чернятъ для устраненія отблеска. Изъ двухъ стеколъ большее, съ большимъ фокуснымъ разстояніемъ, обращается къ наблюдаемому предмету, и эта чечевица или линза носитъ названіе *объектива*. Стекло меньшаго размѣра и съ меньшимъ фокуснымъ разстояніемъ обращается къ глазу и называется *окуляромъ*. Соотвѣтственно съ этимъ и цилиндры, въ которые вставлены стекла, называются *окулярнымъ кольномъ* и *объективнымъ кольномъ* трубы. Окулярное колѣно перемѣщается внутри объектив-

наго, плотно входя въ это послѣднее. Встрѣчаются инструменты, у которыхъ объективное колѣно перемѣщается внутри окулярнаго (преимущественно въ старыхъ англійскихъ инструментахъ) (черт. 132). Для болѣе равномѣрнаго плав-



Черт. 132.

наго перемѣщенія колѣнъ (одного внутри другого) употребляется зубчатое колесо, задѣвающее за зубчатую пластинку, *трибку* [1]), привернутую къ внутреннему колѣну; трибку также часто называютъ вмѣстѣ съ шестернею *кремальеркою* трубы. Объективъ I (черт. 133) даетъ *дѣйстви-*



Черт. 133.

тельное обратное и *уменьшенное* изображеніе *B* отдаленнаго предмета *A*; это изображеніе должно въ *увеличенномъ* видѣ получиться черезъ окуляръ II; слѣдовательно *окуляръ играетъ роль лупы*.

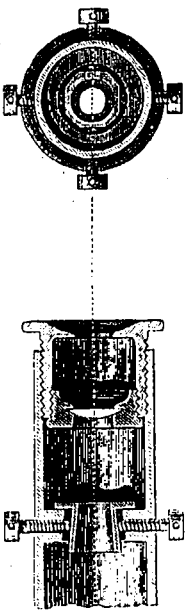
Отдаляя окулярное колѣно отъ объективнаго настолько, чтобы разстояніе изображенія *B* отъ центра окуляра было менѣе его главнаго фокуснаго разстоянія, мы увидимъ черезъ окуляръ обратное *мнимое*, *увеличенное изображеніе* B' предмета *A*.

Изъ физики извѣстно правило построенія хода лучей черезъ линзы [2]), а также и формула $\frac{1}{D}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$ для двояковыпуклаго стекла, гдѣ D есть разстояніе предмета *A* отъ центра объектива I, d—разстояніе изображенія *B* отъ того же центра, и f—главное фокусное разстояніе объек-

[1]) Названіе происходитъ отъ нѣмецкаго слова treiben—гнать, перемѣщать.

[2]) Мы будемъ проводить лучи, идущіе отъ концовъ предмета A, 1) черезъ центръ окуляра *I* и 2) черезъ его передній фокусъ *F*.

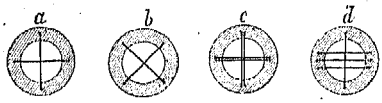
тива. Такъ какъ въ этой формулѣ $\frac{1}{f}$ — величина постоянная, то и сумма $\left(\frac{1}{D}+\frac{1}{d}\right)$ при различныхъ D и d должна оставаться безъ перемѣны, а слѣдовательно съ перемѣною разстоянія D трубы отъ предмета должно мѣняться соотвѣтственно и разстояніе d изображенія. Неизбѣжно съ этимъ придется отодвигать объективъ отъ окуляра (или окуляръ отъ объектива), такъ какъ для полученія увеличеннаго мнимаго изображенія B' необходимо, чтобы B было между фокусомъ Φ и центромъ окуляра II. Если D возрастетъ, то $\frac{1}{D}$ уменьшится и слѣдовательно $\frac{1}{d}$ должно настолько увеличиться, чтобы $\frac{1}{f}$ осталось безъ перемѣны, а это равносильно, чтобы d уменьшилось. Уменьшеніе d влечетъ за собою приближеніе окуляра къ B или что то-же самое. требуется, чтобы окулярное колѣно, если оно перемѣщается въ объективномъ— было вдвинуто. Напротивъ того для разсматриванія близкихъ къ объективу предметовъ приходится раздвигать оба колѣна. Однако легко замѣтить, что при $f=10$ дюйм. измѣненіе D отъ $D=10$ саж. до $D_1=\infty$ даетъ для $\frac{1}{d}$ значенія: отъ 8,3 саж. до 8,4 саж., т.-е. $d-d_1=\frac{0,1}{8,4\times 8,3}=\frac{1}{697,2}$ саж. $\equiv$ 0,12 дюйма, показывающее какъ мало мѣняется d даже при весьма значительныхъ измѣненіяхъ D. Установка, сдѣланная для нормальнаго глаза, не пригодна для дальнозоркаго и близорукаго: первый выдвинетъ, а близорукій вдвинетъ окулярное колѣно.



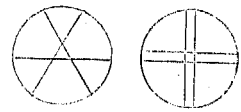
Черт. 134.

§ **95. Сѣтка нитей трубы и визирная ось трубы.** Чтобы имѣть нѣкоторую постоянную точку въ трубѣ, которою можно было бы наводить трубу на предметы мѣстности или, говоря иначе, чтобы имѣть линію визированія въ трубѣ, въ окулярномъ колѣнѣ помѣщается такъ называемый *крестъ нитей* или *сѣтка*. Сѣтка натягивается изъ паутинныхъ нитей на діафрагму особой формы, закрѣпляемую на винтахъ вблизи окуляра (черт. 134) съ такимъ расчетомъ, чтобы пересѣченіе нитей лежало на геометрической оси окулярнаго колѣна въ томъ мѣстѣ, куда приходится изображеніе B

удаленнаго предмета *A*. Видъ сѣтки бываетъ различенъ. Чертежи 135, 136 и 137 даютъ понятіе объ этихъ видахъ.



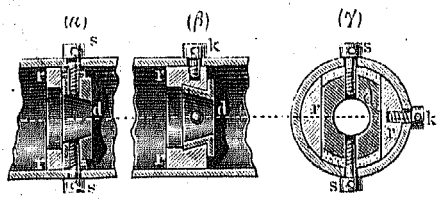
Черт. 135.



Черт. 136.

Изъ черт. 136 видно, что постоянною визирною точкою трубы можетъ быть центръ квадрата или треугольника. Сѣтка съ тремя горизонтальными нитями называется *дальномѣрной* сѣткой; въ ней для визированія служитъ точка пересѣченія средней горизонтальной нити съ вертикальною. Перемѣщеніе верхней и нижней нитей въ ней достигается винтами *S* (черт. 137). Здѣсь (α) вертикальный и (β) горизонтальный разрѣзы сѣтки.

Нити разсматриваются черезъ окулярную лупу, помѣщающуюся въ *окулярной трубочкѣ*, ввинчиваемой въ окулярное колѣно трубы. *Линія, соединяющая оптическій центръ объектива съ точкою пересѣченія креста нитей сѣтки, служитъ линіею визированія въ трубѣ и называется визирною осью зрительной трубы.*



Черт. 137.

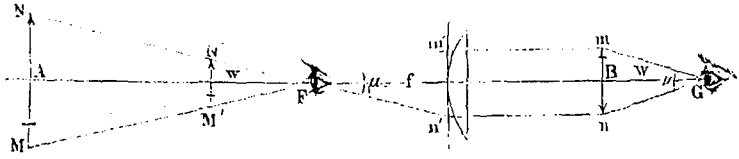
Положеніе визирной оси въ трубѣ всецѣло зависитъ отъ взаимнаго расположенія 4-хъ винтовъ сѣтки, какъ это видно изъ чертежа.—Ось объективнаго колѣна принято называть *геометрическою осью* зрительной трубы. Ось объективнаго колѣна должна, при правильномъ устройствѣ трубы, совмѣщаться или быть параллельной оси окулярнаго колѣна; точно также и *оптическая ось трубы* (линія соединяющая центръ объектива съ центромъ окуляра) *какъ и визирная* ось трубы, *должны совмѣщаться съ геометрическою осью.*

Для накладыванія зрительной трубы на подставку алидады угломѣрнаго инструмента — къ трубѣ припаивается, приблизительно въ серединѣ всей ея длины, перпендикулярно къ образующей цилиндра *E* (черт. 131) объективнаго колѣна *горизонтальный* металлическій стержень *FF*, около геометрической оси котораго труба можетъ вращаться. Геометрическую ось этого горизонтальнаго стержня принято называть *горизонтальною осью вращенія* зрительной трубы. Плоскость, описываемая *визирною* осью трубы около ея *горизонтальной* оси вращенія, называется *коллимаціонной плоскостью зрительной трубы.* Если при

вращеніи трубы около горизонтальной ея оси, визирная ось проходитъ черезъ точку зенита на небѣ, то принято выражаться, что „труба переводится черезъ зенитъ".

§ 96. Увеличеніе трубы. Увеличеніемъ трубы принято считать отношеніе величины видимаго въ трубу изображенія предмета къ величинѣ предмета, видимаго простымъ (невооруженнымъ) глазомъ. Величины изображенія и предмета должны быть измѣрены одной и той же единицей. Съ другой стороны изъ оптики извѣстно, что видимая величина предмета опредѣляется угломъ зрѣнія, т.-е. тѣмъ угломъ, который составляетъ въ оптическомъ центрѣ глаза лучами, идущими отъ краевъ (точекъ) предмета. Поэтому будемъ называть *увеличеніемъ зрительной трубы* геометрическое отношеніе угла зрѣнія трубы къ углу зрѣнія глаза на одинъ и тотъ же удаленный предметъ.

Такъ какъ часть предмета и ея дѣйствительное изображеніе всегда помѣщаются между главными лучами объектива, то линейное отношеніе дѣйствительной части къ видимой въ трубу части предмета равно отношенію разстояній D (до предмета) къ разстоянію d (до изображенія) отъ центра линзы объектива. Если f — главное фокусное разстояніе объектива, то изъ основной формулы оптики $\frac{1}{D}+\frac{1}{d}=\frac{1}{f}$ для двояковыпуклой линзы слѣдуетъ, что линейныя величины изображенія и предмета тогда будутъ равны, когда $D=d=2f$. Но такъ какъ въ большинствѣ случаевъ D значительно больше d, то дѣйствительное изображеніе менѣе самого предмета. Тѣмъ не менѣе маленькое изображеніе можетъ быть увеличено, если глазъ станетъ видѣть это изображеніе подъ бо́льшимъ угломъ зрѣнія, чѣмъ самый предметъ. Если глазъ, находящійся въ G (черт. 138), видитъ изображеніе mn на



Черт. 138.

разстояніи W яснаго зрѣнія подъ угломъ зрѣнія ν, то глазъ, находящійся въ переднемъ фокусѣ F объектива, усматриваетъ часть MN предмета подъ угломъ μ, подъ которымъ также виденъ предметъ $M'N'$ на разстояніи W наилучшаго яснаго зрѣнія.

За увеличеніе трубы Кеплера мы примемъ (черт. 139)

$$\frac{m''n''}{M'N'}=\frac{m''n''}{mn}\cdot\frac{mn}{M'N'}=\frac{W}{\varphi}\cdot\frac{f}{W}=\frac{f}{\varphi}$$

или также дробь $v=\frac{\nu}{\mu}$. Полагая глазъ въ Φ' (въ заднемъ фокусѣ окуляра) и принимая по малости угловъ μ и ν за ихъ мѣру дуги $M'N'$ и $m''n''$ радіуса W, получимъ

$$v=\frac{m''n''[1])}{N'M'}.$$

Изъ подобія треугольниковъ Omn и $Om''n''$, а также $Fm'n'$ и $FM'N'$ находимъ

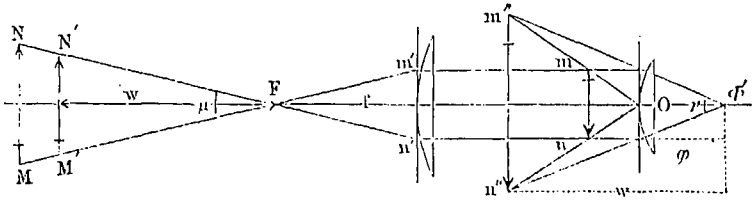
$$m''n''=mn\cdot\frac{W}{\varphi}\text{ и }M'N'=mn\,\frac{W}{f}.$$

[1]) Отношеніе $v=\frac{\nu}{\mu}=\frac{2Tg\frac{\nu}{2}}{2Tg\frac{\mu}{2}}=\frac{m''n''}{W}:\frac{M'N'}{W}=\frac{m''n''}{M'N'}$.

вслѣдствіе чего

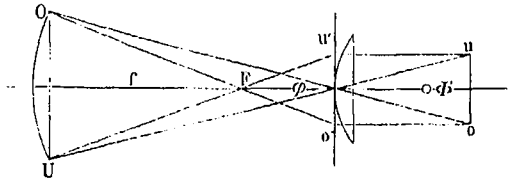
$$v = \frac{f}{\varphi},$$

т. е. *увеличеніе трубы почти равно геометрическому отношенію главныхъ фокусныхъ разстояній объектива и окуляра* и для того, чтобы труба увеличивала, а не уменьшала, необходимо всегда имѣть $v > 1$; а это накладываетъ условіе на стекла зрительной трубы: $f > \varphi$, о которомъ уже упоминалось выше, а именно, что главное фокусное разстояніе объективаа должно быть болѣе главнаго фокуснаго разстоянія окуляра; однако оптики нашли, что безъ ущерба для ясности изображенія нельзя φ дѣлать менѣе 0,3 дюйма; вслѣдствіе этого выходитъ, что болѣе, чѣмъ $f : 0{,}3$ (если f измѣрено въ дюймахъ) увеличеніе v быть не можетъ, т. е. $v_{\max.} = f : 0{,}3$ дм. Напр., при $f = 6{,}5$ дюйм., выходитъ $v_{\max.} = 22$.



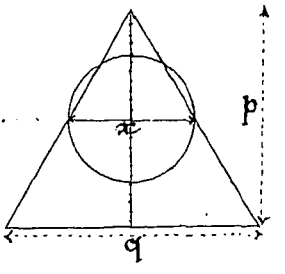
Черт. 139.

§ 97. **Пріемы нахожденія увеличенія трубы.** Для практическаго опредѣленія v совершенно *достаточно установить трубу на весьма отдаленный предметъ*, напр., на звѣзду, солнце или вообще на предметъ, находящійся на горизонтѣ; тогда лучи, идущіе отъ удаленнаго предмета, должны собраться въ главн. фокусѣ объектива, такъ какъ D можно будетъ принять безконечно большимъ, и вслѣдствіе этого $\frac{1}{D}$ приравнять нулю, и основная формула даетъ намъ $\frac{1}{d} = \frac{1}{f}$ или $d = f$, т. е. укажетъ, что изображеніе находится въ фокусѣ. Если затѣмъ передвиженіемъ окулярнаго колѣна совмѣстимъ фокусъ окуляра съ фокусомъ объектива, то лучи OF и UF выйдутъ изъ окуляра (см. чертежъ 140) параллельными оптической оси $F'O$, и за окуляромъ, на экранѣ, (примѣрно) на разстояніи его фокуснаго разстоянія φ получится *изображеніе ои объектива OU черезъ окуляръ o'u'*. Длина же трубы будетъ равна $f + \varphi$. Изъ чертежа видно, что $OU : o'u' = f : \varphi = v$, ибо $o'u' = ou$. Если же ou діаметръ зрачка, наибольшая величина котораго равна 0,2 дюйма, то наим. увеличеніе $v_{min} = OU : 0{,}2$ гдѣ OU дано въ дюймахъ.



Черт. 140.

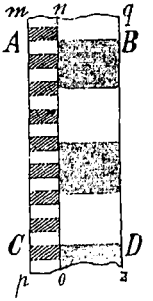
Экранъ можно употреблять изъ проволочной рамки съ наклеенной на нее восковой или масляной бумагой, на которой нанесены двѣ равныя пересѣкающіяся прямыя (въ видѣ равнобедреннаго треугольника съ основаніемъ q и высотою p), между которыми улавливается (черт. 141) діаметръ x свѣтлаго пятна изображенія. По линіи, дѣлящей уголъ между прямыми пополамъ, читаютъ по нанесеннымъ дѣленіямъ разстояніе a отъ вершины равнобедреннаго треугольника до центра свѣтлаго пятна, касающагося концами своего діаметра расходящихся линій. Діаметръ свѣтлаго пятна высчитываютъ изъ пропорціи $\frac{x}{a} = \frac{q}{p}$ или $x = a.\ \frac{q}{p}$, т.-е. получаютъ его, умножая прочтенное разстояніе на отношеніе основанія начерченнаго треугольника къ его высотѣ.



Черт. 141.

То же увеличеніе v трубы можно *практически* получить еще и такъ: передъ трубою ставятъ простую деревянную рейку съ дѣленіями на сотыя доли сажени съ перемѣнною ихъ окраскою въ два цвѣта, напр., бѣлый и красный и смотрятъ *одновременно* на дѣленія рейки однимъ глазомъ черезъ трубу, а другимъ невооруженнымъ глазомъ непосредственно, помимо трубы, на дѣленія рейки. При этомъ стараются отсчитать, какому числу дѣленій, видимыхъ простымъ глазомъ, соотвѣтствуетъ число дѣленій, усматриваемыхъ въ трубу (черт. 142). Пусть между линіями AB и CD видно въ трубу 4 дѣленія, а простымъ глазомъ 15, это показываетъ, что длина четырехъ дѣленій, видимыхъ въ трубу, измѣряется пятнадцатью единицами, въ то время какъ длина тѣхъ же четырехъ дѣленій, видимыхъ простымъ глазомъ, четырьмя единицами, слѣдовательно

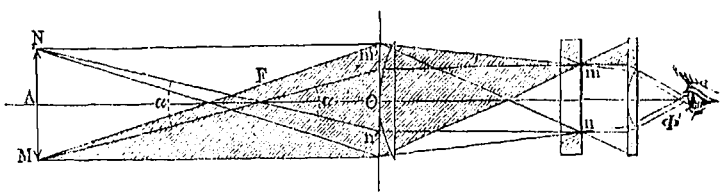
$$v = \frac{15}{4},$$



Черт. 142.

т.-е. труба увеличиваетъ въ $3^3/_4$ (или круглымъ числомъ въ 4) раза. Этотъ способъ — приближенный и зависитъ отъ угла зрѣнія на рейку. Само собой разумѣется, что найденное v должно заключаться между возможнымъ наименьшимъ для данной трубы увеличеніемъ $v_{min.}$ и возможнымъ наибольшимъ для нея увеличеніемъ $v_{max.}$, т.-е. $v_{min.} < v < v_{max.}$ Въ большинствѣ случаевъ v весьма близко къ среднему ариѳметическому изъ $v_{min.}$ и $v_{max.}$, т.-е. $v = {}^1/_2 (v_{max.} + v_{min.})$; напр., $v_{max.} = 22$ и $v_{min.} = 9$, найдемъ $v = 15$.

§ 98. **Поле зрѣнія. Діафрагма.** Тѣ изъ свѣтовыхъ конусовъ, лучи которыхъ только на половину поступаютъ въ зрачекъ, даютъ слабыя и неясныя изображенія, а потому лучше, если они совсѣмъ будутъ затемнены. Достигается это тѣмъ, что въ томъ мѣстѣ, гдѣ конусъ лучей сходится по преломленіи въ одну точку (черт. 143), т. е. въ томъ мѣстѣ, гдѣ получается дѣйствительное изображеніе предмета, ставится зачерненная перегородка—*блендa* съ круглымъ отверстіемъ, иначе *діафрагма*; она ограничиваетъ такъ называемое *поле зрѣнія* трубы и задерживаетъ тѣ свѣтовые конусы, оси которыхъ выходятъ за края окуляра. Плоскость изображенія должна совпадать съ діафрагмой, и разстояніе послѣдней отъ окуляра для одного и того же глаза является вполнѣ опредѣленной величиной, оно почти равняется фокусному разстоянію окуляра и должно оставаться неизмѣннымъ во все время перемѣщенія окуляра относительно объектива.



Черт. 143.

Уголъ α (черт. 143), подъ которымъ невооруженный глазъ усматриваетъ изъ передняго фокуса объектива часть предмета *MN*, видимую въ видѣ *mn* въ трубу, называютъ *полемъ зрѣнія* трубы; онъ опредѣляется отверстіемъ *mn=m'n'* діафрагмы и фокуснымъ разстояніемъ объектива. Отверстіе это почти равно діаметру окуляра, чѣмъ и достигается затемненіе крайнихъ лучей, о которомъ упоминалось въ началѣ параграфа. Такимъ образомъ въ точкѣ за окуляромъ, гдѣ находится глазъ наблюдателя, получается не все количество свѣта, падающее на объективъ, но за то здѣсь собираются лучи, падающіе отъ каждой точки объектива на окуляръ. Легко также усмотрѣть, что *полезрѣнія* (это названіе сохранимъ и для видимой части изображенія чер резъ окуляръ) менѣе ясно по краямъ, чѣмъ по серединѣ. Тотъ же чертежъ 143 указываетъ намъ, что глазъ не отовсюду можетъ охватить *все* поле зрѣнія; это становится вполнѣ яснымъ, если прослѣдить распространеніе свѣта въ начерченныхъ свѣтовыхъ конусахъ, одинъ изъ коихъ для видимости заштрихованъ на чертежѣ.

На основаніи всего вышеприведеннаго можно сказать, что *подъ полемъ зрѣнія мы понимаемъ то пространство, которое можно обозрѣвать въ трубу при ея спокойномъ положеніи*, при нахожденіи глаза за окуляромъ на оптической оси трубы въ разстояніи φ=фокусному разстоянію окуляра; мѣрою поля зрѣнія служитъ уголъ α. Опредѣлить его можно такъ: въ *A* (чертежъ 143) помѣщается рейка, и по ней читается видимая въ трубу ея часть *MN* (изображеніе ея—*mn* представляется діаметромъ діафрагмы, т. е. діаметромъ проектирующагося на рейку свѣтлаго круга), разстояніе *AO* измѣряется непосредственно въ тѣхъ же единицахъ, что и *MN*, и тогда уголъ α (въ минутахъ) будетъ:

$$\alpha' = 3438'.\frac{MN}{AO}.$$

Если $AO = 7{,}2$ саж. и $MN = 18$ сотокъ, то $\alpha = 3438 \cdot \frac{0{,}18}{7{,}2} = 86'$, т.-е. около $1^1|_2{}^0$.

Обыкновенно діаметръ діафрагмы почти равенъ діаметру окуляра и дѣлается около $^2/_3$ φ. Вслѣдствіе чего, по малости угла α, можно написать

$$\alpha = \frac{2}{3\ Sin\ 1''} \cdot \frac{\varphi}{f}.$$

Но такъ какъ $\frac{\varphi}{f} = \frac{1}{v}$, то окончательно можно принять, полагая

$$\frac{2}{3\ Sin\ 1''} = k,$$

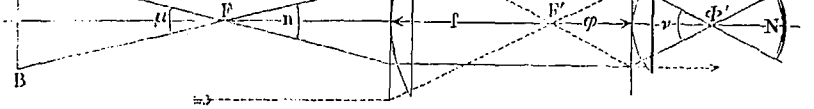
$$\text{что } \alpha = \frac{k}{v},$$

т. е. *поле зрѣнія обратно пропорціонально увеличенію трубы.*

§ 99. **Яркость трубы.** *Яркостью вообще* принято называть количество свѣта, приходящееся на единицу поверхности (площади), и для полученія, напр., яркости изображенія, необходимо составить частное отъ дѣленія всего количества свѣтовыхъ лучей, поступившихъ черезъ зрачекъ въ глазъ, на поверхность изображенія предмета, получившагося на сѣтчаткѣ глаза. На первый взглядъ могло бы казаться, что яркость изображенія въ невооруженномъ глазѣ и черезъ зрительную трубу будутъ различны. Если станемъ сличать эти двѣ яркости и будемъ подъ яркостію h трубы подразумѣвать отношеніе количествъ свѣта, приходящихся съ одной стороны на единицу поверхности (напр. на квадратный миллиметръ) сѣтчатой оболочки (ретины) вооруженнаго глаза, а съ другой стороны—приходящагося на ту же единицу поверхности невооруженнаго глаза, то оказывается (см. полный курсъ), что, принявъ діаметръ зрачка равнымъ діаметру окуляра трубы,

яркость трубы $h = 1$,

т. е. *ярче, чѣмъ простымъ глазомъ, нельзя въ трубу видѣть предмета.* Это и понятно, такъ какъ, хотя въ зрачекъ вооруженнаго глаза и поступаетъ большее количество свѣта ($S = sv^2$), но оно распредѣляется и на большую поверхность $N = nv^2$ (черт. 144).



Черт. 144.

Вслѣдствіе поглощенія и отраженія свѣта линзою теоретическая яркость отчасти пострадаетъ и приблизительно уменьшится на $^1/_6$ своей величины. Она также уменьшится, если зрачекъ глаза окажется менѣе діаметра выходящаго изъ окуляра свѣтового цилиндра, (такъ какъ зрачекъ не воспринметъ всего свѣта), или окажется значительно болѣе его, такъ какъ не весь зрачекъ будетъ заполненъ свѣтомъ, выходящимъ изъ окуляра.

§ 100. **Сферическая и хроматическая аберрація.** Преломляемость лучей зависитъ отъ мѣста луча, упавшаго на объективъ: лучи, падающіе вблизи краевъ объектива, преломляются сильнѣе и соединяются въ точкахъ, ближе лежащихъ къ стеклу, чѣмъ лучи, падающіе близъ центра объектива и собирающіеся въ болѣе удаленной отъ стекла точкѣ (черт. 144а).

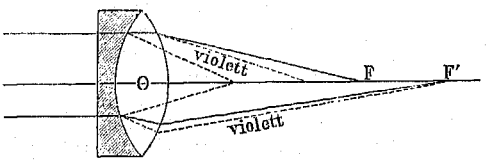
Явленіе несовпаденія фокусовъ крайнихъ и центральныхъ лучей объектива называется *сферической аберраціей.* Разстояніе, считаемое по главной оси, между фокусами крайнихъ и центральныхъ лучей наз. *продольною сферическою аберраціею,* а часть перпендикуляра, возставленнаго къ главной оси изъ главнаго фокуса, до точки пересѣченія перпендикуляра съ направленіемъ крайняго преломленнаго луча наз.

поперечною сферическою аберрацією. Для возможнаго ослабленія явленія сферической аберраціи объектива въ трубѣ позади объектива размѣщаются черныя кольца—*діафрагмы.*

Лучи солнечнаго (неоднороднаго) свѣта, падающіе на объективъ, преломляются не съ одинаковою степенью, а, преломившись, разлагаются на семь цвѣтныхъ составныхъ лучей.

Разложеніе луча на семь цвѣтныхъ лучей съ различными коэффиціентами преломленія влечетъ за собою окрашиваніе изображенія въ цвѣта радуги, искаженіе самаго изображенія и неясность (расплывчатость) очертаній изображенія и называется *хроматическою аберрацією.*

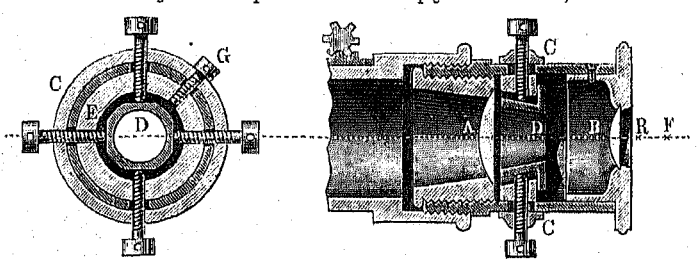
Уничтоженіе хроматической аберраціи достигается замѣною простого объектива сложнымъ—*ахроматическимъ*, состоящимъ изъ двухъ стеколъ; двояковыпуклаго и плосковогнутаго (или выпукловогнутаго), какъ указано на чертежахъ 144а и 147. Стекла эти дѣлаются изъ различнаго матеріала: первое изъ кронгласа и второе—изъ флинтгласа, имѣющія различную степень преломляемости.



Черт. 144а.

Удачнымъ подборомъ радіусовъ кривизны сферическихъ поверхностей стеколъ объектива можно достигнуть не только уменьшенія хроматической, но даже и сферической аберраціи. Такіе ахроматическіе объективы принято называть *апланатическими* [1]).

§ 101. Сложные окуляры. Чтобы уничтожить по возможности хроматическую и сферическую аберрацію окуляра (пользуются доказаннымъ въ физикѣ положеніемъ, что, распредѣляя преломленіе свѣтовыхъ лучей на нѣсколько сферическихъ стеколъ, можно уменьшить въ значительной степени сферическую аберрацію, а удачнымъ подборомъ разстояній между ними можно почти устранить хроматическую аберрацію), вмѣсто простого окуляра употребляютъ такъ называемые *сложные окуляры.* Въ геодезическихъ инструментахъ наиболѣе часто встрѣчаются два вида такихъ окуляровъ: одинъ *Гюйгенса* (*или Компана*), который чаще встрѣчается въ угломѣрныхъ инструментахъ; онъ изобра-



Черт. 145.

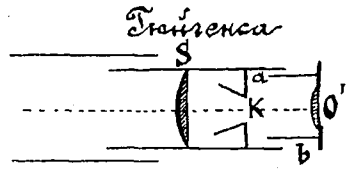
женъ на чертежѣ 145, и другой *Рамсдена*—съ большимъ увеличеніемъ — чаще примѣняющійся въ нивеллирныхъ и дальномѣрныхъ трубахъ [2]), послѣдній изображенъ на черт. 146.

[1]) Т. е. неизмѣняющими форму предмета въ изображеніи.

[2]) Т. е. инструментахъ, приспособленныхъ къ чтенію по рейкѣ съ дѣленіями.

У нѣкоторыхъ механиковъ, напр. у *Мейсснера* въ Берлинѣ, нивеллиры снабжены окулярами системы Гюйгенса, а у *Розенберга* теодолиты имѣютъ окуляры Рамсдена.

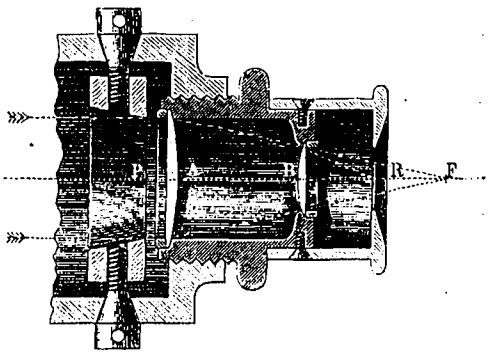
Схема окуляра Гюйгенса



Черт. 146.

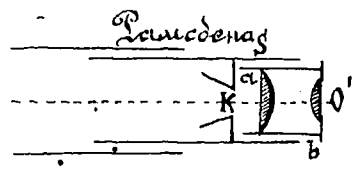
Въ трубѣ Гюйгенса сѣтка D помѣщается между собирательнымъ стекломъ A и собственно окуляромъ B. Въ трубѣ же Рамсдена сѣтка *P* помѣщена передъ собирательнымъ *A*.

Въ помѣщенныхъ на чертежахъ 146 и 148 схемахъ окуляровъ Гюйгенса и Рамсдена *K*—обозначаетъ сѣтку креста нитей, натянутую на діафрагму особой формы, *ab*—окулярную трубочку, *S*—собирательное стекло.



Черт. 147.

Схема окуляра Рамсдена

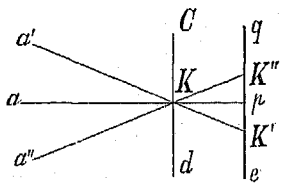


Черт. 148.

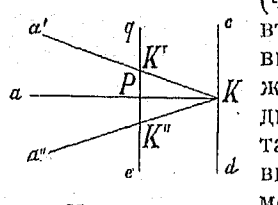
Иногда, вмѣсто паутинныхъ нитей наклеиваютъ на діафрагму *стеклянную сѣтку*, состоящую изъ весьма тонкаго стекла съ нарѣзанными алмазомъ черточками, замѣняющими паутину, способную опускаться (провисать) отъ сырости въ воздухѣ.

§ 102. Установка трубы для наблюденія. Зрительная труба состоитъ изъ трехъ частей—объективнаго колѣна, окулярнаго или сѣтчатаго колѣна и окулярной трубочки (черт. 147), плотно вдвинутыхъ одна въ другую. Установка трубы начинается I) съ перемѣщенія окулярной трубочки въ сѣтчатомъ колѣнѣ, а именно: или вращеніемъ ея отъ руки и одновременнымъ передвиженіемъ ея вдоль оси зрительной трубы, или однимъ отодвиганіемъ (инструменты Мейсснера) по продольнымъ прорѣзамъ у винтовъ сѣтки до тѣхъ поръ, пока въ трубѣ, направленной на бѣлую стѣну или на небо, *покажутся нити сѣтки и станутъ видимы рѣзкими черными чертами*, т. е. первая часть установки трубы заключается въ полученіи яснаго изображенія сѣтки черезъ окуляръ, (у инструментовъ, напр. механиковъ Керна и Герляха, окулярная трубочка привернута къ сѣтчатому колѣну винтикомъ, двигающимся въ косомъ прорѣзѣ), во II) установка заключается *въ полученіи ясныхъ отчетливыхъ изо-*

браженій предмета, даваемыхъ объективомъ *въ трубѣ и разсматриваемыхъ черезъ окулярѣ,*—это достигается наведеніемъ отъ руки оптической оси трубы на данный предметъ и передвиженіемъ окулярнаго колѣна въ объективномъ цилиндрѣ трубы (или наоборотъ) съ помощію вращенія шестерни, зубцы которой входятъ въ зубцы кремальерки (трибки) (черт. 132) и III) *въ уничтоженіи явленія параллакса (уклоненія) нитей* (отъ изображенія предмета); это явленіе обнаруживается перемѣщеніемъ глаза около центра окуляра (влѣво и вправо, вверхъ и внизъ). Параллаксъ нитей уничтожается вращеніемъ шестерни кремальерки, а слѣдовательно перемѣщеніемъ колѣна съ сѣткой относительно объективнаго колѣна. Явленіе параллакса нитей происходитъ отъ того, что плоскость изображенія сѣтки не совмѣщена съ плоскостью изображенія предмета, и глазъ, двигаясь влѣво и вправо около окуляра, проектируетъ сѣтку на разныя части изображенія. Такъ, если сѣтка K стоитъ ближе къ глазу a, чѣмъ изображеніе p предмета (черт. 149), то глазъ a, перемѣщаясь влѣво (кверху) въ a', спроектируетъ крестъ нитей K въ точку K', а при передвиженіи глаза вправо (внизъ) въ a'', точка K спроектируется въ K''. Если же сѣтка K стоитъ дальше отъ глаза, чѣмъ изображеніе p, то (черт. 150) глазъ, двигаясь вправо (внизъ) въ a'' замѣтитъ движеніе сѣтки также вправо (внизъ) въ K'', а при передвиженіи глаза влѣво (кверху) въ a' увидитъ сѣтку K, перемѣстившуюся въ K', также влѣво (кверху). Вдвинувъ или выдвинувъ колѣно съ сѣткой кремальеркой, можно совмѣстить плоскости K и p и уничтожить явленіе параллакса нитей.

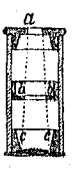


Черт. 149.



Черт. 150.

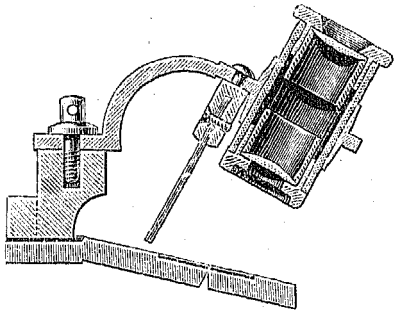
§ **103. Простой микроскопъ или лупа** состоитъ изъ одного двояко-выпуклаго стекла и служитъ для разсматриванія мелкихъ дѣленій на лимбѣ и вертикальномъ кругѣ. Лупа бываетъ или ручная или наглухо соединенная съ инструментомъ. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ двояко-выпуклое стекло *cc* помѣщается въ цилиндрической оправѣ, вверху которой оставлено отверстіе *a* для глаза. Между глазнымъ отверстіемъ и стекломъ находится діафрагма *bb* (черт. 151), устраняющая лучи, падающіе близъ краевъ стекла.



Черт. 151.

Цилиндрическая оправа двойной лупы изображена на чертежѣ 152-мъ. Она помѣщается въ кольцѣ рычага, вращающагося около винта—оси, вдѣланной въ алидаду инструмента. Для освѣщенія лимба и верньера къ лупѣ при-

вертывается иллюминаторъ изъ стеклянной или роговой пластинки, иногда изгибаемой въ трубку. У двойной лупы вмѣсто одного двояковыпуклаго стекла помѣщается въ цилиндрической оправѣ два плосковыпуклыхъ стекла, находящихся на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга. Второе стекло предназначено для уничтоженія аберраціи.



Черт. 152.

Увеличеніе простой лупы равно отношенію $v = \frac{W}{f}$ разстоянія яснаго видѣнія предмета простымъ глазомъ къ фокусному разстоянію лупы [1]), т. е. увеличеніе лупы обратно пропорціонально фокусному ея разстоянію, а слѣдовательно для лупъ надо брать стекла съ небольшимъ фокуснымъ разстояніемъ f, меньшимъ $W = 9$ дюймамъ. Разстояніе лупы отъ лимба всегда менѣе фокуснаго разстоянія лупы.

§ 104. Испытаніе трубы. Отъ исправной хорошаго качества зрительной трубы слѣдуетъ требовать выполненія слѣдующихъ условій: *1) правильности и ясности изображеній, разсматриваемыхъ въ трубу предметовъ, 2) полной центрировки окуляра и объектива, 3) совпаденія геометрической оси съ визирной и 4) правильности передвиженія окулярнаго (съточнаго) колѣна помощью кремальерки (трибки) въ объективномъ колѣнѣ.*

Соблюденіе перваго условія обнаруживается лучше всего разсматриваніемъ правильныхъ геометрическихъ фигуръ, начерченныхъ на свѣтломъ экранѣ на разстояніи 25—30 саженей черезъ трубу, *установленную для наблюденій*. Растянутость и искаженіе фигуръ (круга, квадрата, равносторонняго треугольника) съ окрашиваніемъ по краямъ въ сѣроватый, или иной какой-либо, помимо голубого, цвѣтъ укажетъ на плохое качество стеколъ трубы и на присутствіе обѣихъ аберрацій. Голубоватый оттѣнокъ замѣчается даже въ наилучшихъ трубахъ наиболѣе извѣстныхъ фирмъ [2]).

При изслѣдованіи второго условія выдвигаютъ окулярную трубочку изъ съточнаго колѣна настолько чтобы нити были *не* видимы и, направивъ трубу на ясно видимую точку предмета, вращаютъ трубу около геометрической оси. Это вращеніе производится въ вилкообразныхъ подставкахъ, причемъ труба снимается вмѣстѣ съ горизонтальною осью съ подставки алидады, изъ гнѣздъ для концовъ горизонтальной оси (изъ такъ называемыхъ лагеръ).

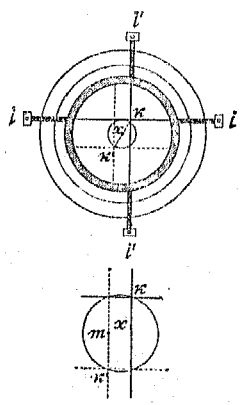
---

[1]) Для двойной лупы подъ f слѣдуетъ подразумѣвать эквивалентное фокусное разстояніе системы двухъ стеколъ лупы.

[2]) Вмѣсто отдѣльныхъ правильныхъ геометрическихъ фигуръ можно брать хорошую клѣтчатую (профильную) бумагу, представляющую сѣтку правильныхъ квадратовъ.

Если центръ объектива не лежитъ на геометрической оси объективнаго колѣна (цилиндра), то изображеніе начнетъ вращаться вмѣстѣ съ трубою и опишетъ кругъ. Такая труба подлежитъ исправленію механика. Указанное испытаніе предполагаетъ, что окуляръ хорошо центрированъ; если же относительно окуляра является сомнѣніе, то его совсѣмъ устраняютъ и замѣняютъ запаснымъ микроскопомъ, установленнымъ независимо отъ объектива, однако такъ, чтобы онъ не мѣнялъ своего положенія относительно вращающагося объектива. Если изображеніе предмета и безъ окуляра описываетъ кругъ, то плохо центрированъ объективъ. При неподвижности же изображеніи убѣждаются въ томъ, что устраненный окуляръ былъ причиною вращенія изображенія, т. е. центръ окуляра не лежалъ на геометрической оси трубы.

Испытаніе относительно третьяго условія дѣлается почти такъ же, какъ и для второго условія, т.-е. трубу, установленную для наблюденій (съ ясно видимой черезъ окуляръ сѣткою и ясно видимымъ изображеніемъ предмета и при отсутствіи явленія параллакса нитей) вращаютъ вокругъ геометрической оси. Если визирная ось совпадаетъ съ геометрической, то крестъ нитей сѣтки находится на геометрической оси, и при вращеніи трубы сѣтка стоитъ на мѣстѣ, если же 4 винта i и i' (черт. 153) сѣтки *не находятся на надлежащемъ имъ мѣстѣ*, и оси *не* совпадаютъ, то, при вращеніи трубы, сѣтка k будетъ описывать кругъ. Наибольшее удаленіе сѣтки k отъ изображенія будетъ при поворотѣ трубы на 180° (черт. 153) около геометрической оси x. Совпаденіе осей, т.-е. перемѣщеніе сѣтки изъ k' въ x достигается 4 винтами сѣтки, для чего сперва дѣйствуютъ 2-мя вертикальными винтами i' и передвигаютъ горизонтальную нить сѣтки на половину kk' въ точку m (черт. 153 низъ), а затѣмъ другою, горизонтальною парою винтовъ i перемѣщаютъ вертикальную нить сѣтки изъ m въ x. Если окажется, что винтами i и i' достигнуть совмѣщенія осей невозможно, то сѣтку надо перетянуть на діафрагмѣ, размѣстивъ нити болѣе симметрично относительно центра діафрагмы. Сѣтка и винты i и i' требуютъ крайне бережнаго и деликатнаго съ ними обращенія.

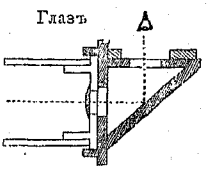


Черт. 153.

Правильность движенія сѣточнаго (окулярнаго) колѣна въ объективномъ (помощію кремальерки) можно обнаружить такъ: на мѣстности *ровной горизонтальной* ставятъ рейку и перпендикулярно къ ней трубу. Установленную для наблюденій трубу наводятъ на рейку,

дѣлаютъ по рейкѣ горизонтальной нитью отсчетъ и начинаютъ мѣнять разстояніе рейки до трубы. Съ перемѣною мѣста рейки должно передвигать и сѣточное колѣно, если нити будутъ перемѣщаться то вверхъ, то внизъ по рейкѣ (будетъ мѣняться отсчетъ), то труба не имѣетъ правильнаго перемѣщенія колѣнъ и подлежитъ исправленію механика.

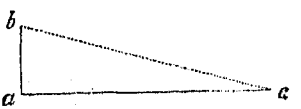
§ **105. Окулярная призма.** При наведеніи трубы на очень высокій предметъ (какъ, напр., на солнце, на звѣзду и т. п.) для удобства смотрѣнія черезъ низко опущенный окуляръ, на него надѣвается *стеклянная призма* (черт. 154). Одинъ катетъ ея обращенъ къ глазу наблюдателя, а другой къ окуляру перпендикулярно къ оптической оси трубы. Призма помѣщается въ оправу и навинчивается на окулярную трубочку. Гипотенуза призмы закрыта мѣдною оправою для большаго отраженія лучей, идущихъ изъ трубы.



Черт. 154.

Въ оправѣ призмы, въ глазномъ катетѣ, иногда помѣщается цвѣтное подвижное стекло для возможности производить (черезъ трубу) наблюденія надъ солнцемъ, не опасаясь сжечь глазъ.

§ **106. Дальномѣры, общее понятіе.** Приборы, дающіе прямолинейныя разстоянія между данными точками мѣстности безъ непосредственнаго наложенія на нихъ какого-либо мѣрительнаго снаряда (мѣрной цѣпи, ленты и т. п.), принято называть *дальномѣрами*. Дальномѣры рѣдко представляютъ собою самостоятельный снарядъ, въ большинствѣ же случаевъ,—они являются принадлежностью какого-либо другого геодезическаго инструмента,—обыкновенно зрительной трубы. Въ основаніе устройства всѣхъ дальномѣровъ кладется одна мысль,—*по небольшому*, заранѣе извѣстному или прочитываемому во время наблюденій, *базису ab* (черт. 155) опредѣлить разстояніе *ac* между базисомъ и удаленной отъ него точкой *c*. Искомое разстояніе и базисъ (или его часть) обыкновенно стремятся сдѣлать частями прямоугольнаго треугольника. Въ такомъ прямоугольномъ треугольникѣ во время употребленія дальномѣра измѣряютъ инструментомъ еще одинъ элементъ, а именно: или острый уголъ, или отрѣзокъ гипотенузы, или катетъ, связывающій искомое разстояніе съ другимъ *извѣстнымъ* уже элементомъ. Если базисъ *ab* находится при самомъ дальномѣрѣ, то отъ удаленной отъ него точки *c* требуется только ея видимость изъ точки стоянія *a* дальномѣра; если же наоборотъ при дальномѣрѣ *c* нѣтъ базиса, то въ удаленной точкѣ *a* дол-



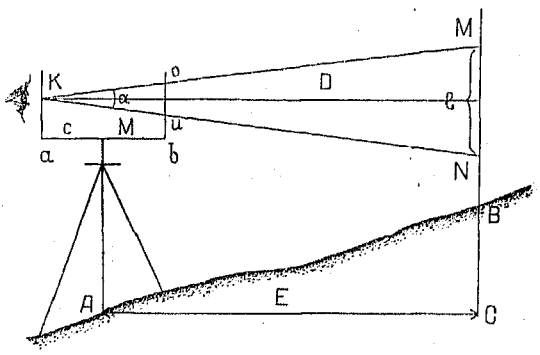
Черт. 155.

женъ или находиться такой заранѣе извѣстный базисъ ab, или онъ долженъ прочитываться во время наблюденія. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ къ дальномѣру присоединяется рейка съ дѣленіями, которую и устанавливаютъ для прочтенія базиса въ удаленную отъ дальномѣра точку; такой дальномѣръ называютъ также *дальномѣромъ съ рейкою* въ отличіе отъ дальномѣровъ перваго рода, называемыхъ *дальномѣрами безъ реекъ*.

§ 107. Общая идея дальномѣра съ постояннымъ угломъ. Устройство дальномѣра съ постояннымъ угломъ. Дальномѣръ Эртеля [1]).

Общая идея дальномѣра съ постояннымъ угломъ заключается въ томъ, что у визирнаго снаряда, будетъ ли то алидада съ діоптрами или зрительная труба, устраиваютъ двѣ *постоянныя точки* o и u (черт. 156) благодаря присутствію которыхъ получаются два постоянные луча зрѣнія Ko и Ku, идущіе отъ глаза K наблюдателя къ этимъ двумъ постояннымъ точкамъ o и u визирнаго снаряда, образуя постоянный уголъ $oKu = \alpha$, измѣряющій разстояніе D отъ глаза K до рейки MN.

Устроимъ *постоянныя* точки o и u такъ на визирномъ снарядѣ, чтобы треугольникъ oKu былъ равнобедреннымъ, тогда, проектируя o и u на рейку, въ точки M и N, и дѣлая отсчеты отъ нуля рейки, увидимъ, что разность l сдѣланныхъ отсчетовъ по рейкѣ съ дѣленіями будетъ основаніемъ равнобедреннаго треугольника MKN, въ которомъ разстояніе D будетъ высотою. Пусть длина линейки алидады $ab = 9—10$ дюймамъ и M—середина линейки ab, такъ что $aM = Mb = c$, гдѣ c величина постоянная, равная $4^1/_2$—5 дюймамъ.



Черт. 156.

[1]) Первоначально дальномѣръ появился въ Англіи. Въ семидесятыхъ годахъ XVIII столѣтія онъ былъ устроенъ лондонскимъ механикомъ Греномъ (Green) и оттуда перешелъ въ Германію, а около 1810 года онъ былъ введенъ въ употребленіе въ Баваріи, будучи предложенъ и построенъ механикомъ Рейхенбахомъ. Дальномѣръ Рейхенбаха напоминаетъ видъ простой трубы Кеплера; его окуляръ устроенъ въ видѣ двухъ плосковыпуклыхъ линзъ съ двумя діафрагмами, почему въ послѣднее время съ успѣхомъ замѣняется окулярами Рамсдена и ортоскопическимъ. Но болѣе усовершенствованнымъ по отношенію къ постоянному множителю, по которому получается разстояніе дальномѣромъ, является устройство Эртеля, почему мы и останавливаемся на немъ.

Изъ чертежа (изъ подобія треугольниковъ Kou и KMN) ясно, что $l : D = ou : ab$.

Откуда $D = l \times \frac{ab}{ou} = kl$ . . . . . (D)

гдѣ $k = \frac{ab}{ou}$ — постоянно, а l — перемѣнный отсчетъ, зависящій отъ разстоянія между рейкой и инструментомъ.

Искомое же разстояніе $E = AC$ отъ середины M инструмента до подошвы рейки B будетъ

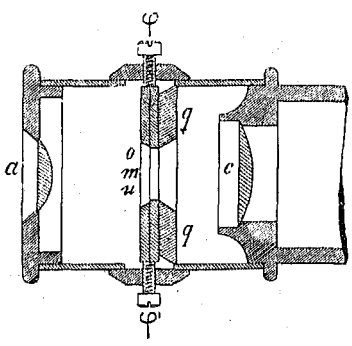
$$E = D - c$$
$$\text{или } E = kl - c.$$

Относя знакъ минусъ (—) къ самой постоянной c, откладываемой влѣво (назадъ), отъ середины инструмента—точки M, можно написать *общую формулу* дальномѣра съ постояннымъ угломъ

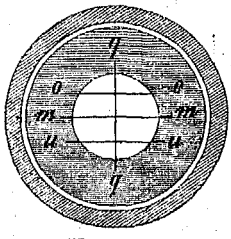
$$E = kl + c \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (E)$$

гдѣ k и c — постоянныя величины, изъ которыхъ первая зависитъ отъ малаго постояннаго угла $oKu = \alpha$, а вторая—отъ размѣровъ инструмента.

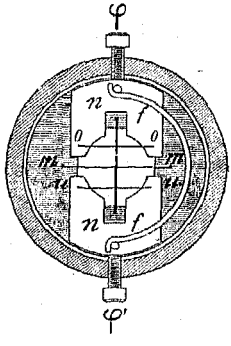
Разсмотримъ дальномѣръ съ зрительною трубою, съ постояннымъ угломъ и перемѣнною рейкою (съ дѣленіями)



Черт. 157.



Черт. 158.



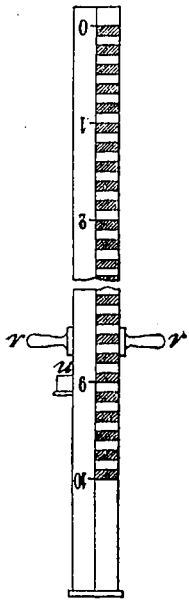
Черт. 159.

и остановимся при этомъ на дальномѣрѣ Эртеля. Устройство дальномѣра, усовершенствованнаго Эртелемъ (первоначально предложеннаго Рейхенбахомъ), заключается въ присоединеніи къ кресту нитей зрительной трубы Гюйгенса (черт. 157) еще двухъ нитей, параллельныхъ горизонтальной нити [1]). Такимъ образомъ сѣтка трубы съ дальномѣромъ Эртеля должна имѣть видъ, показанный на чертежѣ 158. Эти двѣ добавочныя нити oo и uu и называются *дально-*

[1]) Дальномѣрныя нити могутъ быть параллельны и вертикальной нити, но тогда рейка должна быть горизонтальна.

мѣрными. Онѣ или неподвижны и натянуты на общую съ крестомъ нитей діафрагму трубы (черт. 158), или же могутъ подвигаться съ помощію особаго приспособленія въ трубѣ (черт. 159; вертикальная и средняя горизонтальная нить *тт* прикрѣплены къ діафрагмѣ *q* (черт. 157), а дальномѣрныя *подвижныя* нити *оо* и *ии* прикрѣплены къ пластинкамъ *п* и *п′* (черт. 159). Эти пластинки—„салазки" могутъ быть передвигаемы въ пазахъ діафрагмы посредствомъ винтовъ φ и φ', причемъ при вывертываніи ихъ, подковообразная пружина *ff* раздвигаетъ пластинки *п* и *п′*, а съ ними и дальномѣрныя нити, а при ввертываніи винтовъ пластинки и нити сближаются. Вращеніемъ винтовъ φ и φ' можно регулировать какъ разстояніе между дальномѣрными нитями, такъ и сдѣлать одинаковыми разстоянія каждой изъ дальномѣрныхъ нитей отъ средней нити *тт*.

§ 108. Рейка, употребляющаяся при дальномѣрахъ съ постояннымъ угломъ, должна быть съ дѣленіями, она представляетъ собою узкій деревянный брусъ, длиною въ 1,5 сажени и шириною въ 2—3 вершка (черт. 160). Не рѣдко онъ дѣлается складнымъ по серединѣ, имѣя на обратной сторонѣ шарниръ и крючекъ съ гайкою. Сзади рейки на высотѣ груди человѣка, т. е. на высотѣ двухъ аршинъ отъ земли прикрѣпляется одна, а иногда съ боковъ двѣ ручки *rr*, за которыя рабочій держитъ рейку. Чтобы рейку легче было держать вертикально, къ ней подъ одною изъ ручекъ можетъ быть прикрѣпленъ круглый уровень *и*. На лицевой сторонѣ рейки наносятся равныя между собою дѣленія, подпись которыхъ идетъ сверху внизъ отъ нуля. Нуль на дальномѣрной рейкѣ ставится всегда наверху, а не внизу, для удобства отсчитыванія по ней разстояній, такъ какъ нижняя дальномѣрная нить обыкновенно направляется на нуль вертикально стоящей рейки. Если нуль помѣщать внизу рейки, то онъ могъ бы быть иногда не видимъ за мѣстными препятствіями, напр., высокой травой, кустарникомъ и т. п. Ниже мы увидимъ, что особенной надобности (кромѣ удобства) въ пользованіи нулемъ не представляется.

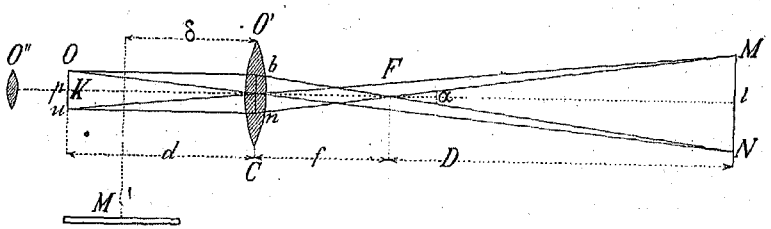


Черт. 160.

§ 109. Теорія дальномѣра Рейхенбаха. Пусть *O′C* (черт. 161)—объективъ трубы, *F*—передній изъ главныхъ фокусовъ, *O*—верхняя, *и*—нижняя дальномѣрныя нити сѣтки *K*, перпендикулярныя къ плоскости чертежа, *MN*—*перпендикулярно* стоящая къ оптической оси *FK* трубы рейка.

Въ окуляръ *O″*, играющій роль микроскопа, мы уви-

димъ между нитями O и u часть l рейки MN, на которую спроектируются дальномѣрныя нити. Допустимъ, что рейка удалена на разстояніе $(D+f)$ отъ оптическаго центра объектива O', причемъ f есть главное его фокусное разстояніе.



Черт. 161.

Означимъ разстояніе сѣтки нитей K отъ центра объектива O' при направленіи трубы на рейку черезъ d, [1]) а разстояніе между нитями O и u — черезъ p. Перенесемъ разстояніе $Ou=p$ въ центръ объектива, получимъ $bn=p$, тогда изъ подобныхъ равнобедренныхъ треугольниковъ bnF и FMN, съ параллельными основаніями MN и bn, перпендикулярными къ оптической оси KF, напишемъ пропорцію $\frac{D}{l}=\frac{f}{p}$. Отсюда находимъ:

$$D=\frac{f}{p}.l. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

или

$$D=kl. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Здѣсь $k=\frac{f}{p}$ *величина постоянная* для одного и того же объектива и для одной и той же сѣтки. Изъ этой формулы видно:

1) что, зная *длину* части рейки l и постоянную величину k (или p и f) можно опредѣлить D, т. е. разстояніе рейки отъ передняго фокуса F объектива и

2) что часть l рейки, видимая въ трубу дальномѣра между двумя крайними нитями, *прямо пропорціональна разстоянію отъ рейки до передняго фокуса F объектива.*

Уголъ $MFN=bFn=\alpha$, съ вершиною въ главномъ фокусѣ F, образованный лучами, идущими отъ нитей O и u параллельно оптической оси объектива и, по преломленіи, пересѣкающимися въ главномъ фокусѣ F объектива, есть *постоянный уголъ дальномѣра*; его иногда называютъ *діастимометрическимъ*, т. е. измѣряющимъ разстоянія, потому что

[1]) Разстояніе d есть также разстояніе изображенія рейки въ трубѣ отъ центра объектива.

между его сторонами заключается часть рейки, пропорціальная измѣряемому разстоянію.

По формулѣ (2) можно опредѣлять разстояніе D отъ рейки до передняго фокуса F объектива, на практикѣ же надо знать разстояніе отъ средины инструмента, въ которомъ устроенъ дальномѣръ, до рейки. Если это разстояніе обозначимъ чрезъ E, а разстояніе объектива отъ средины M' инструмента черезъ δ, то

$$E = D + f + \delta = kl + f + \delta. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

или, если обозначимъ чрезъ c — величину $(f+\delta)$, постоянную для одного и того же объектива и одного и того же инструмента, то получимъ окончательную формулу

$$E = kl + c. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (I),$$

гдѣ $k = \frac{f}{p}$ и $c = f + \delta$.

§ 110. Опредѣленіе постоянныхъ величинъ k и c дальномѣра съ постояннымъ угломъ. Въ формулу $E = kl + c$, по которой опредѣляется разстояніе дальномѣрами съ постояннымъ угломъ, входятъ двѣ постоянныя величины k и c. Величины эти находятся *опытнымъ путемъ* передъ употребленіемъ даннаго дальномѣра. Покажемъ пріемъ практическаго опредѣленія величинъ c и k.

Опредѣленіе c. Проще всего опредѣлить c непосредственнымъ его измѣреніемъ, для чего трубу слѣдуетъ направить на возможно отдаленный предметъ. Сѣтка нитей расположится въ моментъ наблюденія въ главномъ фокусѣ объектива, а потому разстояніе, измѣренное по верху трубы, отъ объектива до сѣтки, дастъ f, а разстояніе отъ объектива до горизонтальной оси вращенія трубы (или вообще до точки трубы, лежащей отвѣсно надъ срединою инструмента) дастъ δ, сумма этихъ разстояній даетъ c, ибо $c = f + \delta$. При $f = 10 - 20$ дюйм. и $\delta = 8$ дюйм., $c = 28$ дюйм., т. е. $c < 0{,}5$ саж.

Опредѣленіе k. Найдя величину c, опредѣляютъ величину k слѣдующимъ образомъ: на мѣстности возможно горизонтальной и ровной, напр. по шоссе или бровкѣ полотна желѣзной дороги, отмѣряютъ по направленію прямой сперва длину c, а потомъ отъ конца длины c, длины въ 25, 50, 75 и 100 саженъ; и на одномъ концѣ прямой въ $100 + c$ саженъ ставятъ дальномѣръ [1]), а на другомъ—рейку, раздѣленную на сотыя доли сажени. Затѣмъ наводятъ трубу на рейку и направляютъ нижнюю дальномѣрную нить сѣтки на верхъ рейки, гдѣ, какъ уже сказано, стоитъ ноль, по другой же дальномѣрной нити дѣлаютъ на рейкѣ отсчетъ. Этотъ отсчетъ дастъ въ сотыхъ доляхъ сажени величину l.

---

[1]) Такъ, чтобы середина трубы была надъ концомъ прямой.

Искомое k опредѣлится изъ равенства $E = kl + c$, а именно $k = \frac{E - c}{l}$.

Вслѣдствіе вліянія неизбѣжныхъ погрѣшностей, сопровождающихъ произведенное измѣреніе прямой и сдѣланный отсчетъ числа сотокъ въ длинѣ l по рейкѣ, k будетъ также сопровождаться ошибкой.

Для устраненія вліянія погрѣшностей измѣреній на k дѣлаютъ нѣсколько опредѣленій k; причемъ на мѣстности послѣдовательно берутъ разстоянія въ $c + (100, 75, 50,$ и 25) саж.

Пусть, напр., c найдено и оказалось $= 0{,}4$ саж., на мѣстности отмѣрены разстоянія въ 100,4 саж., 75,4 саж., 50,4 саж. и, наконецъ, 25,4 саж. При послѣдовательной постановкѣ рейки въ дальній конецъ этихъ прямыхъ на рейкѣ соотвѣтственно прочтено: 99,3 дѣленій рейки, 74,6 дѣленій, 49,5 и, наконецъ, 24,7 дѣленій. Вслѣдствіе чего найдено:

$$k_1 = \frac{100{,}4 - 0{,}4}{0{,}993} = \frac{100}{0{,}993} = 100{,}7;\ k_2 = 100{,}5;\ k_3 = 101{,}0 \text{ и } k_4 = 101{,}2;$$

окончательно

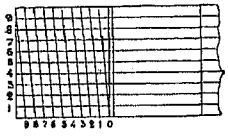
$$k = 100 + \frac{0{,}7 + 0{,}5 + 1{,}0 + 1{,}2}{4} = 100{,}85.$$

§. 111. Заготовка рейки къ дальномѣру съ постоянными нитями. Опредѣляя постоянное k, мы видѣли, что оно можетъ выражаться числомъ, состоящимъ изъ трехъ—четырехъ и болѣе цифръ, точно также и отсчетъ *числа сотокъ* (шашекъ) въ длинѣ l, при прочтеніи его по рейкѣ, выражается числомъ въ двѣ или три цифры, поэтому при примѣненіи формулы $E = kl + c$ приходится производить умноженіе многозначнаго числа на многозначное, что утомительно и потребуетъ непроизводительной затраты времени. Во избѣжаніе умноженія k на отсчеты l можно было бы заранѣе составить таблицу по аргументу l, но составленію таблицы предпочитаютъ заготовленіе рейки къ данному экземпляру дальномѣра.

Процессъ заготовленія рейки состоитъ въ томъ, чтобы 100 саженямъ мѣстности соотвѣтствовало 100 шашекъ на рейкѣ, т. е. заключается въ слѣдующемъ: на возможно ровной и горизонтальной мѣстности (напр. по бровкѣ полотна дороги) отмѣряютъ прямую, длиною въ $100 + c$ саженъ, на одномъ ея концѣ устанавливаютъ дальномѣръ, а въ другомъ отвѣсно загрунтованную бѣлой масляной краской *рейку безъ какихъ-либо на ней дѣленій*. Произведя установку и поручивъ рейку помощнику, наводятъ одну дальномѣрную нить (въ трубѣ—нижнюю) на верхъ рейки и замѣчаютъ—

куда проектируется другая (верхняя) нить на рейку. По подаваемымъ знакамъ помощникъ находитъ и отмѣчаетъ на рейкѣ мѣсто, покрываемое второй дальномѣрной нитью сѣтки. Замѣченный между дальномѣрными нитями промежутокъ на рейкѣ дѣлятъ на 100 частей. Нечетныя (или четныя) дѣленія покрываютъ красною (или синею) краскою, каждый десятокъ дѣленій, начиная сверху отъ нуля, подписываютъ цифрами 1, 2, 3, ... 9, *X*, стрѣлками отмѣчаютъ пятки и покрываютъ дѣленія рейки масляннымъ лакомъ; послѣ чего и считаютъ рейку готовою къ употребленію. Очевидно, что *число дѣленій рейки будетъ всегда соотвѣтствовать числу саженей* отъ передняго фокуса объектива до рейки, если рейка стоитъ *перпендикулярно къ оптической оси трубы* дальномѣра, такъ какъ 100 дѣленій рейки соотвѣтствуютъ 100 единицамъ (саженямъ) мѣстности.

Примѣчаніе. Постоянная дальномѣра *c* обыкновенно не достигаетъ полусажени, а потому не вводится въ разстояніе $D = kl$ въ тѣхъ случаяхъ, когда величина эта (*c*) не вырисовывается въ масштабѣ плана. Если же масштабъ плана достаточно крупенъ (напр., 50 или 25 саж. въ дюймѣ), то величину *c* механически прикладываютъ къ разстояніямъ $D = kl$, откладываемымъ по масштабу: для этого величину *c* помѣщаютъ справа отъ основанія поперечнаго масштаба, какъ показано на чертежѣ 162, т. е. между первымъ (лѣвымъ) и вторымъ отрѣзкомъ, принятымъ за основаніе масштаба.



Черт. 162.

§ 112. Установка подвижныхъ дальномѣрныхъ нитей по рейкѣ. Если дальномѣрная труба имѣетъ сѣтку, изображенную на чертежѣ 176, то установку дальномѣрныхъ нитей дѣлаютъ такъ, чтобы *k* обратилось въ 100. Для этого, какъ и прежде, опредѣливъ *c*, отмѣриваютъ на горизонтальной мѣстности прямую въ $100 + c$ саж. На одномъ концѣ этой линіи ставится дальномѣръ, а на другомъ рейка, на которой произвольная длина (примѣрно 1 сажень) раздѣлена на 100 равныхъ частей. Наклоняютъ трубу дальномѣра настолько, чтобы средняя нить сѣтки покрывала среднюю черту рейки [иначе 0,5 того ея промежутка, на которомъ нанесены дѣленія]; послѣ чего, не измѣняя положенія трубы, дѣйствуютъ винтами φ и φ' и наводятъ нижнюю нить сѣтки на нуль рейки, а верхнюю нить—на нижнюю черту рейки, въ этомъ и заключается установка нитей.

Здѣсь опять 100 дѣленіямъ рейки соотвѣтствуютъ 100 саженъ разстоянія на мѣстности. Подвижныя нити сѣтки дальномѣра Эртеля имѣютъ то преимущество передъ неподвижными нитями, что даютъ возможность употреблять при данномъ дальномѣрѣ всякую произвольную рейку съ равными между собою дѣленіями, чѣмъ и избѣгается изго-

товленіе особой рейки для каждаго дальномѣра. Это преимущество имѣетъ и свой недостатокъ, состоящій въ томъ, что отъ случайнаго прикосновенія съемщика къ винтамъ φ и φ' во время употребленія инструмента, они могутъ немного повернуться, чѣмъ и нарушится предварительная ихъ установка, а потому ежедневно, передъ началомъ работы, нужно повѣрять установку подвижныхъ нитей сѣтки. За послѣднее время у дальномѣрныхъ трубъ стремятся винты φ и φ' прикрыть особымъ цилиндрикомъ—кольцомъ, вращающимся около геометрической оси трубы и снабженнымъ 2 отверстіями для достиженія въ случаѣ надобности прикрытыхъ винтовъ.

§ 113. Употребленіе дальномѣра. Пользованіе установленнымъ дальномѣромъ для опредѣленія разстоянія отъ рейки до средины инструмента крайне просто. На дальнемъ концѣ опредѣляемаго разстоянія ставится отвѣсно рейка, а на ближнемъ—дальномѣръ; направивъ на рейку трубу, приводятъ нижнюю дальномѣрную нить въ совмѣщеніе съ нулевою чертою рейки и дѣлаютъ на рейкѣ отсчетъ по верхней дальномѣрной нити. Если дальномѣръ имѣетъ свою рейку или постоянное $k=100$, то прочтенное число дѣленій рейки между дальномѣрными нитями, (увеличенное на постоянное c) выразитъ искомое разстояніе въ саженяхъ. *Точность дальномѣровъ* не велика, она не даетъ возможности ручаться въ вѣрности сотыхъ, а тѣмъ болѣе тысячныхъ долей сажени. Относительно употребленія еще замѣтимъ слѣдующее. 1) По рейкѣ со 100 дѣленіями можно опредѣлять разстоянія и большія 100 саж. Дѣйствительно, если средняя нить помѣщается точно по серединѣ между дальномѣрными нитями, то, направивъ нижнюю дальномѣрную нить на нуль рейки, дѣлаютъ отсчетъ по средней нити, и полученный отсчетъ удваиваютъ; придавъ къ нему постоянное c, получаютъ разстояніе отъ рейки до средины инструмента. Въ случаѣ же, когда средняя нить не помѣщается на равныхъ разстояніяхъ отъ крайнихъ, нужно, наведя нижнюю нить на нуль рейки, сдѣлать отсчетъ по средней нити; затѣмъ навести среднюю нить на нуль и сдѣлать отсчетъ по верхней нити. Сумма этихъ отсчетовъ $+c$ даетъ искомое разстояніе. Вторымъ пріемомъ опредѣляютъ также разстоянія и меньшія 100 саженей въ томъ случаѣ, когда вслѣдствіе какихъ-либо мѣстныхъ препятствій нельзя сдѣлать отсчета по верхней нити. 2) Паутинныя нити сѣтки имѣютъ свойство провисать при большой влажности въ воздухѣ, потому вмѣсто паутинныхъ нитей помѣщается тонкое плоское стекло *съ награвированными* на немъ тремя горизонтальными и одною вертикальною *чертами*. Такой дальномѣръ, не подвергающійся измѣненію нитей, долженъ давать болѣе точные результаты. Линнее стекло въ трубѣ (для сѣтки) дѣлаетъ изображеніе рейки менѣе яснымъ, такъ

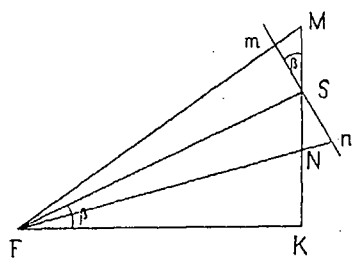
какъ нерѣдко стекло покрывается рядомъ мелкихъ пятенъ въ видѣ точекъ, вслѣдствіе осаждающейся пыли и вывѣтриванія стекла.

Въ новыхъ экземплярахъ дальномѣрныхъ трубъ этой неясности не замѣтно, такъ какъ стекло настолько тонко, что уменьшеніе ясности изображенія рейки въ трубѣ совершенно неощутительно.

§ **114. Опредѣленіе горизонтальныхъ проложеній наклонныхъ разстояній дальномѣромъ съ постояннымъ угломъ.** Въ теоріи дальномѣра Эртеля мы видѣли, что рейка должна быть перпендикулярна къ оптической оси трубы направленной на рейку, и слѣдовательно на горизонтальной мѣстности необходимо, чтобы рейка стояла отвѣсно. Между тѣмъ, это условіе на практикѣ не соблюдается ни на мѣстности наклонной, ни даже на горизонтальной, такъ какъ при употребленіи дальномѣра нижняя нить его сѣтки направляется на нуль отвѣсно стоящей рейки, назначенный всегда на верху ея.

Очевидно, что прочтенное по рейкѣ разстояніе не будетъ искомымъ: необходимо ввести въ него 1) поправку за отклоненіе рейки отъ перпендикуляра къ оптической оси трубы и 2) послѣ этого полученное наклонное разстояніе спроектировать на горизонтъ.

Приближенную формулу можно получить изъ разсмотрѣнія чертежа 163, если начертить рейку въ перпендикулярномъ положеніи къ лучу зрѣнія FS, тогда на рейкѣ вмѣсто MN прочтется mn, и уголъ $mSM = \beta = NSn$. Принимая треугольники mSM и nSN за прямоугольные, можно написать:



Черт. 163.

$$mS = MS \cdot \cos\beta$$
$$nS = NS \cdot \cos\beta.$$

Сложивъ, получимъ

$$mn = MN \cdot \cos\beta.$$

Но $mn = l'$ и $MN = l$, а потому $l' = l \cdot \cos\beta$, но $FS = k.l'$; слѣдов., $FS = k \cdot l \cdot \cos\beta$

и $D = FK = kl \cos^2\beta$.

Примѣчаніе. Здѣсь слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что для опредѣленія горизонтальнаго положенія D линіи мѣстности AB необходимо: 1) среднюю нить дальномѣра направлять на точку рейки, высота которой надъ землею равна высотѣ инструмента, 2) по рейкѣ дѣлать 2 отсчета: по верхней и нижней нитямъ и брать ихъ разность и 3) разстояніе, прочтенное по дальномѣру на отвѣсно стоящей рейкѣ (если $k = 100$), множить *на квадратъ* косинуса угла β наклона линіи мѣстности къ горизонту.

Такимъ образомъ выходитъ, что наклонное разстояніе FS получится по прочтенному на отвѣсно стоящей рейкѣ

разстоянію, если только въ отсчетъ MN по рейкѣ введемъ поправку (т. е. умножимъ его на $Cos\beta$) за отклоненіе рейки отъ перпендикулярнаго положенія къ оптической оси трубы—въ отвѣсное (при чемъ уголъ отклоненія равенъ β), а искомое горизонтальное разстояніе D получается, если въ величину FS введемъ поправку за наклонъ линіи FS къ горизонту, т. е. еще разъ помножимъ на $Cos\beta$. Итакъ для полученія D приходится вводить въ отсчетъ по рейкѣ двѣ поправки: одну—за отклоненіе рейки, а другую—за наклонъ линіи мѣстности къ горизонту.

Въ среднемъ точность дальномѣра $= {}^1/_{365}$ или около $0{,}33\%$, а наименьшая точность (предѣльная ошибка), даваемая дальномѣромъ считается $= {}^1/_{125}$ или 1% отъ опредѣляемаго разстоянія D.

§ 115. Повѣрка астролябіи съ діоптрами. Допустимъ, что астролябія состоитъ только изъ 1) дѣленнаго на градусы (или полуградусы) *лимба*, 2) вращающейся въ его центрѣ линейки—*алидады* съ нарѣзанными на ея концахъ 3) двумя индексами—*верньерами*, 4) *уровня*, помѣщеннаго на алидадѣ (или лимбѣ) и 5) двухъ паръ *діоптровъ;* неподвижныхъ на лимбѣ и подвижныхъ на алидадѣ.

Повѣрка условій, требуемыхъ отъ первыхъ четырехъ частей будетъ та же, что и для малыхъ теодолитовъ (см. слѣдующій §).

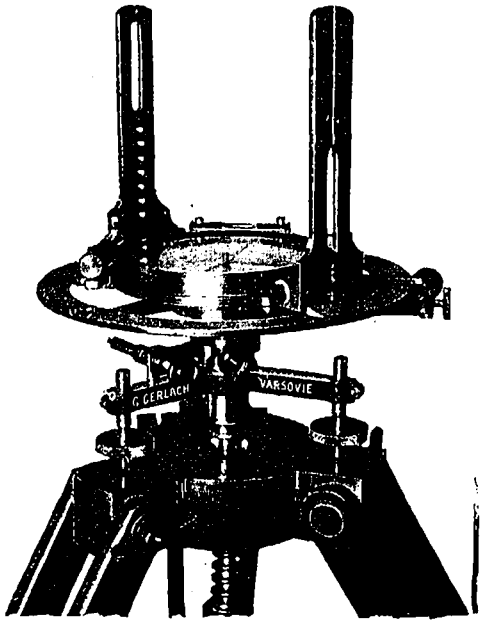
Отъ каждой пары діоптровъ необходимо требовать *перпендикулярности ея плоскости къ плоскости лимба.* Это условіе провѣряется по шнуру отвѣса аналогично условію 7-му въ буссоли.

Наконецъ, отъ обѣихъ паръ (неподвижной и подвижной) слѣдуетъ требовать, чтобы *при совмѣщеніи ихъ коллимаціонныхъ плоскостей нуль алидады совмѣщался съ нулемъ лимба* (или обратно при совмѣщеніи нулей лимба и алидады должны совмѣщаться коллимаціонныя плоскости неподвижныхъ и подвижныхъ діоптровъ).

Эта такъ называемая *коллимаціонная ошибка лимба* провѣряется измѣреніемъ одного и того же угла сперва помощію неподвижныхъ и подвижныхъ діоптровъ, а затѣмъ помощію только однихъ подвижныхъ діоптровъ. Сличеніе результатовъ даетъ искомую ошибку. Пусть подпись дѣленій идетъ противъ хода часовой стрѣлки (справа налѣво). Направимъ неподвижные діоптры на правый (задній) предметъ и закрѣпимъ нажимательный винтъ лимба. Затѣмъ, вращая алидаду по лимбу, направимъ подвижные діоптры на лѣвый (передній) предметъ. Пусть отсчеты по верньерамъ въ среднемъ дали $20^0\ 25'$. Отодвигаемъ неподвижные діоптры всторону, закрѣпивъ лимбъ, дѣлаемъ наведеніе одними подвижными діоптрами на правый предметъ; пусть среднее изъ отсчетовъ по верньерамъ дало $85^0\ 15'$, дѣлаемъ наведеніе подвижныхъ діоптровъ на лѣвый предметъ. Сред-

нее изъ отсчетовъ по верньерамъ дало 105° 45′. Величина угла будетъ 105° 45′ — 85° 15′ = 20° 30′. Разность 20° 25′ — 20° 30′ = — 0° 5′ даетъ коллимаціонную ошибку лимба.

Астролябія съ одними подвижными діоптрами механика Герляха.



Черт. 164.

Ту же ошибку найдемъ, если одинъ разъ смѣримъ самый уголъ помощію неподвижныхъ и подвижныхъ діоптровъ, т. е. 20° 25′, а другой разъ станемъ мѣрить величину *угла дополнительнаго до* 360°.

Для чего достаточно, памятуя направленіе подписи дѣленій, направить неподвижные діоптры на лѣвый (передній) предметъ, а подвижные—на правый (задній) предметъ; тогда, получивъ на лимбѣ, напр. отсчетъ въ 339° 45′, складываютъ 20° 25′ и 339° 45′ и изъ суммы 20° 25′ + 339° 45′ = 360° 10′ вычитаютъ 360°; разность въ 10′ даетъ *двойную коллимаціонную ошибку*, ибо ординарная коллимаціонная ошибка вошла въ каждый изъ угловъ α и $(360^0 - \alpha)$.

§ 116. Повѣрки малыхъ теодолитовъ. Отъ простыхъ малыхъ теодолитовъ передъ ихъ употребленіемъ необходимо требовать выполненія слѣдующихъ условій: 1) *Вѣрности дѣленій лимба и алидады*, т. е. верньеровъ.

2) *Отсутствія внѣцентренности алидаднаго круга* (эксцентрицитета алидады).

3) *Перпендикулярности оси цилиндрическаго уровня при подставкѣ трубы* (или параллельности оси круглаго уровня)

къ вертикальной оси вращенія алидады (а слѣдовательно къ вертикальной оси всего инструмента).

4) *Перпендикулярности коллимаціонной плоскости трубы къ плоскости лимба* (т. е. того круга, по окружности котораго сходятся концы штриховъ лимба и верньеровъ).

§ 117. **Повѣрка дѣленій лимба.** У лучшихъ заграничныхъ и русскихъ механиковъ дѣленія лимба наносятся *дѣлительною машиною*; лимбъ помѣщается концентрически въ центрѣ большого круга дѣлительной машины. Штрихи съ круга дѣлительной машины точно, съ возможной тщательностію, избѣгая даже вліянія измѣненія температуры, копируются стальнымъ рѣзцомъ на лимбъ инструмента, для чего въ центрѣ круга дѣлительной машины вращается алидада съ указателемъ. Тѣмъ не менѣе, не смотря на искусство нанесенія дѣленій, которымъ по истинѣ гордятся механики, всегда слѣдуетъ убѣдиться въ отсутствіи грубыхъ ошибокъ дѣленій лимба и въ вѣрности нарѣзки верньера. Повѣрка основывается на теоріи верньера. Длина его должна равняться опредѣленному числу частей лимба. Полагая, напр., дѣленія лимба отъ 1^0 до 1^0, точность верньера въ 5 минутъ, верньеръ прямымъ, мы находили, что 11 частей лимба должны составить длину верньера въ 12 частей. Основываясь на этомъ, совмѣщаютъ нулевой штрихъ верньера съ 0^0 лимба, тогда крайній правый (12-й послѣ нулевого) штрихъ верньера долженъ совпасть съ 11^0. При этомъ не надо смѣшивать *дополнительныхъ* штриховъ (передъ нулевымъ и послѣ 12-го) съ начальнымъ и конечнымъ штрихами верньера. Обнаруживъ совпаденіе, передвигаютъ лѣвый крайній штрихъ верньера на 11-е дѣленіе лимба и смотрятъ, совпадаетъ ли крайній правый съ 22 дѣленіемъ, и, такимъ образомъ, продолжаютъ далѣе движеніе алидады по лимбу. При 32-й установкѣ крайній правый штрихъ верньера долженъ совпасть съ 352 (32×11) дѣленіемъ лимба; послѣ чего лимбъ будетъ пройденъ. Промежуточные штрихи между 0 и 11, 11 и 22 и т. д. штрихами можно повѣрить, устанавливая нулевой штрихъ верньера послѣдовательно на 1^0, 2^0, 3^0.... тогда крайній правый долженъ совпадать съ 12^0, 13^0, 14^0.... Подобнымъ же образомъ, если лимбъ раздѣленъ на полуградусы, и точность верньеровъ $1'$, совмѣщаютъ нули верньера и лимба и смотрятъ, совпадаетъ ли 30-й штрихъ верньера съ 29 полуградусомъ лимба или $14^1/_2{}^0$, послѣ чего помѣщаютъ 0 верньера на $14^1/_2{}^0$ и смотрятъ, совпадаетъ ли 30-й штрихъ верньера съ 29^0 и т. д. Тѣ мѣста лимба, въ которыхъ замѣчена невѣрность дѣленій, записываются и при измѣреніи угловъ эти части лимба по возможности избѣгаются.

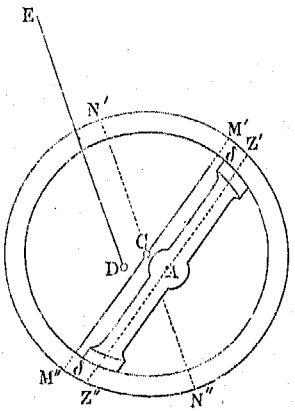
§ 118. **Вѣрность дѣленій верньера.** Такъ какъ дѣленія v верньера всегда менѣе (или болѣе) дѣленій лимба l на одну и ту же величину $t = l - v$, — точность верньера, то вѣр-

ность дѣленій верньера провѣряется тѣмъ, что *послѣдовательно* совмѣщаютъ штрихи верньера съ какимъ-либо штрихомъ лимба и смотрятъ,—*размѣщаются ли штрихи верньера*, предшествующіе и послѣдующіе совмѣщенному, *симметрично* относительно штриховъ лимба. Такъ, если, напр., совмѣщенъ средній—15 штрихъ верньера съ какимъ либо дѣленіемъ лимба, подраздѣленнаго на полуградусы, и верньеръ имѣетъ точность $t = 1'$, то штрихи, предшествующіе и послѣдующіе совмѣщенному, будутъ отстоять отъ штриховъ лимба слѣдующимъ образомъ:

14-й и 16-й на t, 13-й и 17-й на $2t$, 12-й и 18-й на $3t$ и т. д.

Съ цѣлью сужденія о правильности нанесенія крайнихъ дѣленій верньера, наносятся на верньеръ еще слѣва и справа отъ него по одному, по два и даже по три *дополнительныхъ* штриха, какъ предшествующихъ нулевому штриху, такъ и слѣдующихъ за послѣднимъ штрихомъ верньера, т. е. помимо тридцати подписанныхъ промежутковъ на одноминутномъ верньерѣ нанесено еще или 2, или 4, или 6 дополнительныхъ. При повѣркѣ длины верньера и опредѣленіи точности t верньера эти промежутки не принимаются во вниманіе.

§ **119. Внѣцентренность алидады** обнаруживается отсчитываніемъ по двумъ діаметрально противоположнымъ указателямъ или верньерамъ алидады. Если показанія обоихъ верньеровъ въ любомъ мѣстѣ лимба разнятся на 180°, то эксцентрицитета не существуетъ.



Черт. 165.

При обнаруживаніи эксцентрицитета, отсчитываніе повторяется *не менѣе какъ при двухъ положеніяхъ алидады*, чтобы случайно не попасть на такое положеніе алидады, при которомъ линія ея нулей займетъ на лимбѣ положеніе діаметра, т. к. при этомъ отсчеты, не смотря на существованіе эксцентрицитета, всетаки будутъ разниться на 180°. Если разность отсчетовъ по обоимъ верньерамъ превышаетъ двойную точность верньера (особенно при точности верньеровъ 5′), инструментъ считаютъ непригоднымъ къ употребленію. При допускаемомъ эксцентрицитетѣ *вліяніе* его *уничтожается* тѣмъ, что берутъ *полусумму отсчетовъ числа минутъ по двумъ діаметрально противоположнымъ верньерамъ*. Въ необходимости отсчитывать однѣ минуты по второму верньеру убѣждаемся изъ слѣдующаго. Пусть A есть ось вращенія алидады (черт. 165).

Z' и Z'' два взаимно противоположные индекса алидады, C — центръ лимба. Если бы алидада заняла положеніе $Z'Z''$, то, вообразивъ себѣ черезъ центръ C параллель $M'CM''$ къ линіи $Z'Z''$, легко усмотрѣть, что оба дѣлаемые на лимбѣ по индексамъ Z' и Z'' отсчеты отъ его нуля N' ошибочны на одну и ту же величину $\delta = M'Z' = M''Z''$, при чемъ первый болѣе истиннаго, а второй менѣе — на одну и ту же величину, т. е. $N'Z' = N'M' + \delta$ и $N'Z'' = N'M'' - \delta$ и что $N'M' = \frac{N'Z' + N''Z''}{2}$, т. е. что вѣрный отсчетъ $N'M'$ для направленія α получится, если по лимбу отъ нуля N' прочтемъ $N'Z'$, а затѣмъ $N'Z''$ и взявъ $N''Z'' = N'Z'' - 180^0$, составимъ полусумму: $\frac{1}{2}[NZ' + (N'Z'' - 180^0)]$. Дѣйствительно, пусть, напримѣръ, оказалось

$$N'Z' = 62^0 55' \text{ и } N'Z'' = 242^0 45', \text{ тогда}$$

$$N'M' = \frac{1}{2}(62^0 55' + 242^0 45' - 180^0) = 62^0 50'$$

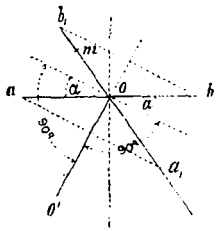
или что то же самое $62^0 + \frac{55' + 45'}{2} = 62^0 50'$.

§ 120. Для повѣрки перпендикулярности оси цилиндрическаго уровня, закрѣпленнаго на алидадѣ, къ вертикальной оси вращенія инструмента, устанавливаютъ ось уровня по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ и, *отпустивъ становой винтъ*, дѣйствуютъ подъемными винтами, вращая ихъ въ противоположныя стороны. Такимъ образомъ приводятъ пузырекъ уровня на середину трубки. Затѣмъ дѣлаютъ отсчеты по обоимъ верньерамъ на лимбѣ, вращаютъ алидаду около вертикальной оси *точно по отсчету* на 180^0 и замѣчаютъ мѣсто середины пузырька. Въ случаѣ отклоненія середины пузырька отъ середины трубки *передвигаютъ середину пузырька* на половину *дуги уклоненія исправительнымъ винтомъ уровня*.

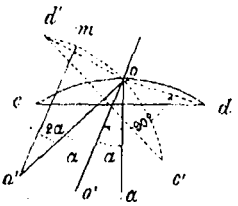
Тотъ же пріемъ поворота алидады на 180^0 будетъ справедливъ и для круглаго уровня, пузырекъ котораго предварительно всѣми тремя подъемными винтами приведенъ на середину крышки, какъ напримѣръ въ теодолитѣ Бамберга. Здѣсь исправленіе дѣлается винтами d круглаго уровня u.

Основаніемъ для описаннаго пріема повѣрки уровня, закрѣпленнаго при алидадѣ или при трегерѣ трубы, служитъ слѣдующее соображеніе. Если пузырекъ цилиндрическаго уровня стоитъ на серединѣ трубки, то его ось ab горизонтальна (черт. 166), а когда имѣется круглый уровень, то ось круглаго уровня oa вертикальна (черт. 167). Если ось ab цилиндрическаго уровня *не* перпендикулярна къ вертикальной оси oo' вращенія инструмента, а у круг-

лаго ось *oa* не параллельна ей, то послѣ оборота на 180° концы *a* и *b* (*проекціи ихъ на вертикальную плоскость*) оси цилиндрическаго уровня займутъ мѣста a_1 и b_1, а у круг-



Черт. 166.



Черт. 167.

лаго уровня конецъ *a* воображаемой оси *oa* опишетъ полуокружность и перемѣстится въ *a'*. Уголъ aob_1 (черт. 166) и уголъ *aoa'* (черт. 167) равны $2\alpha =$ дугѣ *om* уклоненія середины пузырька *m* отъ середины трубки *o* (см. § 86).

Съ цѣлью повторенія пріема повѣрки, середина пузырька переводится вновь *изъ середины дуги отклоненія* въ точку *o* подъемными (уравнительными) винтами *v* подставки.

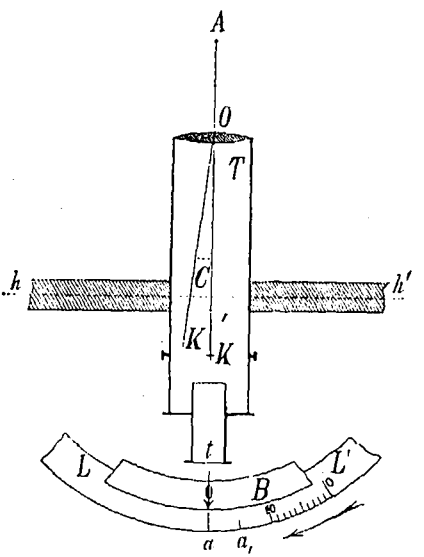
Приведеніе лимба въ горизонтальное положеніе. Съ помощію вывѣреннаго уровня *лимбъ* быстро *приводится въ горизонтальное положеніе*. Для этого ставятъ ось цилиндрическаго уровня сперва по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ и приводятъ ими пузырекъ на середину трубки, а затѣмъ—поворачиваютъ уровень и устанавливаютъ его ось по направленію третьяго подъемнаго винта и, дѣйствуя *только имъ однимъ*, приводятъ пузырекъ на середину трубки. Пріемъ повторяется два-три раза, пока при любомъ положеніи алидады, а слѣдовательно и уровня, пузырекъ его будетъ оставаться на серединѣ трубки. Два взаимно перпендикулярные уровня значительно упрощаютъ дѣло, такъ какъ тогда достаточно поставить ось перваго уровня по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ, и ось второго уровня станетъ сама по направленію третьяго винта. Разумѣется, передъ употребленіемъ, каждый уровень въ отдѣльности долженъ быть предварительно вывѣренъ.

§ **121. Коллимаціонная ошибка трубы и ея исправленіе.** Если труба теодолита можетъ наклоняться около своей горизонтальной оси вращенія *h* (см. черт. 120 теодолита Бамберга) настолько, что объективъ можетъ занять мѣсто окуляра и наоборотъ, т. е. труба можетъ быть повернута въ отвѣсной плоскости на 180°, то при вращеніи около горизонтальной оси она должна своей визирной осью пройти въ описываемой ею плоскости черезъ точку, отстоящую на 90° отъ плоскости лимба. Если лимбъ горизонталенъ, то такою точкою будетъ зенитъ даннаго мѣста, а потому вмѣ-

сто того, чтобы говорить, что труба повернута на 180° въ плоскости, перпендикулярной къ горизонтальной оси вращенія, принято выражаться, — *„труба переведена черезъ зенитъ"*.

Встрѣчаются теодолиты, у которыхъ труба не только *не* можетъ переводиться черезъ зенитъ, но даже не можетъ перекладываться черезъ зенитъ, ибо подставки P короче длины TT трубы, а лагеры задѣланы наглухо пластинками на винтахъ, не дозволяющими вынимать концы h горизонтальной оси вращенія трубы изъ ихъ гнѣздъ (лагеръ).

При производствѣ этой повѣрки будемъ сперва предполагать, что труба переводится (или перекладывается) черезъ зенитъ. Пусть hh' (черт. 168) горизонтальная, а OKA—визирная ось трубы Tt, O—центръ объектива, K—крестъ нитей сѣтки, LL'—лимбъ, B—верньеръ съ указателемъ ↧ и A—предметъ мѣстности, на который наведенъ крестъ K нитей. Предположимъ, что необходимо повѣрить перпендикулярность плоскости описываемой линіею OK, (т. е. коллимаціонной плоскости) около hh' къ плоскости лимба LL'. Замѣтимъ, что перпендикулярность наступитъ тогда, когда 1) *визирная ось трубы OK будетъ перпендикулярна къ горизонтальной оси вращенія hh' трубы и* 2) *горизонтальная ось hh' трубы Tt будетъ параллельна плоскости лимба или все равно перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія теодолита.*

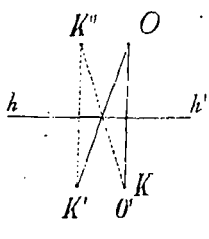


Черт. 168.

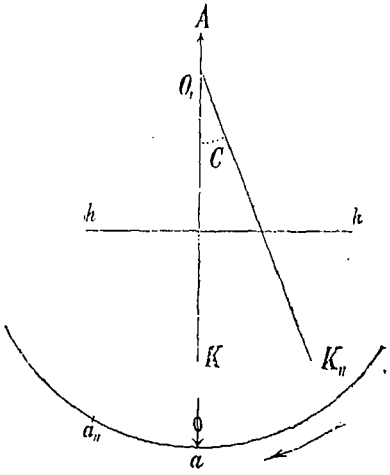
Ошибка отъ неперпендикулярности визирной оси трубы OK къ горизонтальной оси вращенія трубы hh' называется коллимаціонною ошибкою трубы. Коллимаціонная ошибка въ трубѣ можетъ произойти главнымъ образомъ отъ ненахожденія винтовъ сѣтки на надлежащемъ имъ мѣстѣ, и *она есть уголъ съ вершиною въ центрѣ O объектива и со сторонами OK—истиннымъ положеніемъ визирной оси и OK'—ложнымъ ея положеніемъ.* Обнаружить коллимаціонную ошибку $c = KOK'$ можно слѣдующимъ пріемомъ. Пусть пересѣченіе нитей сѣтки находится въ точкѣ K', влѣво отъ точки K, точка A—точка визированія. Если бы визирная ось была на мѣстѣ въ точкѣ K, то при наве-

деніи на точку A визирной оси OK сдѣлали бы на лимбѣ по индексу ↧ алидады нѣкоторый отсчетъ a. Вслѣдствіе же уклоненія сѣтки влѣво въ точку K' придется трубу, а вмѣстѣ съ нею и алидаду съ верньеромъ, подвинуть вправо и сдѣлать по индексу верньера отсчетъ a_1, меньшій a, если подпись дѣленій идетъ по ходу часовой стрѣлки. Если затѣмъ переведемъ трубу черезъ зенитъ, то точка O (черт. 169) займетъ мѣсто O' точки K, а точка K' перемѣстится въ K''. Чтобы имѣть возможность сдѣлать новое наведеніе визирной оси $O'K''$ на ту же точку A мѣстности необходимо повернуть алидаду около ея вертикальной оси *примѣрно на 180°*. Сдѣлавъ это, замѣтимъ, что O_1K_{11} будетъ теперь уклоняться *вправо* отъ O_1K (черт. 170); трубу относительно линіи AO_1K при визированіи придется подвинуть влѣво, и по индексу сдѣлать на неподвижно стоящемъ лимбѣ отсчетъ a_{11}, большій a, такъ какъ дѣленія идутъ по ходу часовой стрѣлки. Такъ какъ KO_1K_1 (черт. 168) равенъ $KO_1K_{11}=c$ (черт. 170), то и дуга $aa_1=aa_{11}$. *Разность отсчетовъ $a_{11}-a_1$ по лимбу равна двойному вліянію коллимаціонной ошибки.* Такъ, если $a_1=20^0 40'$ и $a_{11}=20^0 50'$, то $a_{11}-a_1=10'$. Ординарное вліяніе будетъ

$$\frac{a_{11}-a'}{2}=c=5'.$$



Черт. 169.



Черт. 170.

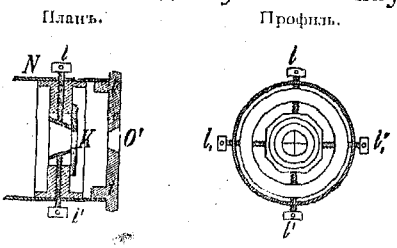
Истинный отсчетъ a найдется вычисленіемъ, если изъ a_{11} вычтемъ c, или къ a_1 прибавимъ c, или наконецъ составимъ полусумму $\frac{a_{11}+a_1}{2}$; въ данномъ примѣрѣ

$$\left.\begin{array}{l} a_{11}-c=20^0 50'-5'=20^0 45'=a \\ a_1+c=20^0 40'+5'=20^0 45'=a \end{array}\right\} \frac{a_{11}+a_1}{2}=$$

$$=\frac{20^0 50'+20^0 40'}{2}=a=20^0 45'.$$

Такимъ образомъ для обнаруженія присутствія коллимаціонной ошибки трубы необходимо сдѣлать два наведенія на одинъ и тотъ же предметъ при двухъ положеніяхъ трубы (кремальерка вверху и кремальерка внизу) и составить полуразность отсчетовъ, сдѣланныхъ по лимбу при

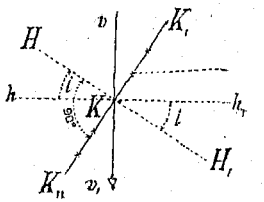
каждомъ наведеніи. Въ случаѣ, если полуразность не нуль, то второй отсчетъ исправляютъ на найденную величину, чрезъ что вычислится истинный отсчетъ по лимбу a, при которомъ визирная ось OK занимаетъ положеніе перпендикулярное къ hh'. Установивъ микрометреннымъ движеніемъ верньеры на вѣрный отсчетъ a, мы сдвинемъ пересѣченіе нитей изъ $K_{,,}$ и оно уже *не*



Черт. 171.

будетъ покрывать точку мѣстности A, — остается *горизонтальными винтами* $i_1 i_1'$ (черт. 171) сѣтки K передвинуть ее такъ, чтобы пересѣченіе нитей вновь покрыло точку A наблюдаемаго въ трубу предмета, такъ какъ алидада уже стоитъ на мѣстѣ и даетъ вѣрный отсчетъ a.

§ 122. Повѣрка параллельности горизонтальной оси вращенія hh_1 зрительной трубы плоскости лимба или перпендикулярности ея къ вертикальной оси вращенія инструмента дѣлается на основаніи слѣдующихъ соображеній: если ось hh_1 *не* параллельна плоскости лимба, то это указываетъ на то, что разстоянія концовъ h и h_1 оси трубы отъ лимба *не* равны, т. е. одно какое-либо плечо горизонтальной оси приподнято, благодаря *не*равенству подставокъ P, а вслѣдствіе этого *при отсутствіи коллимаціонной ошибки* визирная ось вмѣсто перпендикулярной плоскости описываетъ наклонную къ лимбу плоскость. Поэтому, сличимъ уголъ, образуемый плоскостями коллимаціонной и лимба, съ прямымъ угломъ, предполагая, что труба не переводится (и не перекладывается) черезъ зенитъ. Для этого предварительно приведемъ лимбъ въ горизонтальное положеніе, повѣсимъ шнуръ съ отвѣсомъ въ разстояніи саженей 30—50 отъ лимба, наведемъ на шнуръ vv' (черт. 172) крестъ нитей K и будемъ слѣдить, остается ли наведенный на шнуръ отвѣса *крестъ нитей сѣтки* во все время наклоненія трубы вверхъ и внизъ на шнурѣ, или же пересѣченіе нитей будетъ отъ него уклоняться, — то вправо (при подниманіи, напр., трубы), то влѣво (при опусканіи трубы), или наоборотъ[1]). Такъ какъ уголъ между горизонтальнымъ лимбомъ и шнуромъ отвѣса безспорно прямой, то уклоненіе креста нитей отъ шнура [2]) укажетъ



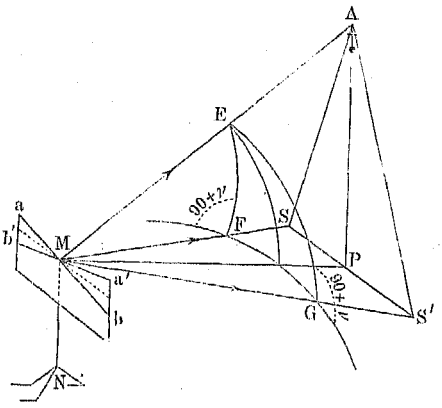
Черт. 172.

[1]) Здѣсь замѣтимъ, что чѣмъ выше мы поднимемъ или опустимъ трубу, тѣмъ сильнѣе отклонится крестъ нитей отъ шнура отвѣса.

[2]) На уголъ $vKK' = hKH = i$, представляющій наклонъ горизонтальной ~~отъ~~ HH_1 къ истинно горизонтальному ея положенію hh_1.

оси

на не перпендикулярность коллимаціонной плоскости трубы къ плоскости лимба.



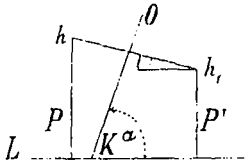
Черт. 173.

Если одна изъ подставокъ распилена, то исправленіе наклона горизонтальной оси дѣлается винтами *yy*, проходящими черезъ щель *x* подставки (см. черт. 127 и 128 теодолита Герляха), дѣйствуя ими до тѣхъ поръ, пока пересѣченіе нитей изъ мѣста уклоненія не возвратятъ на шнуръ отвѣса.

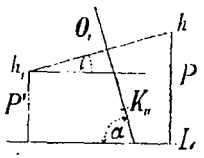
Если же *труба переводится черезъ зенитъ* и нѣтъ подъ руками длинной нити съ тяжелымъ отвѣсомъ, то повѣрку можно произвести съ помощію высокаго предмета (напр. яблока подъ крестомъ колокольни). Для этого наводятъ на высокую точку *A* (черт. 173) пересѣченіе нитей трубы теодолита, лимбъ котораго приведенъ въ горизонтальное положеніе и горизонтальная ось котораго занимаетъ положеніе *ab*, и опускаютъ трубу, замѣчая внизу на колокольнѣ, напр., на подоконникѣ окна, точку *S*, въ которую проектируется пересѣченіе нитей. Послѣ этого переводятъ трубу черезъ зенитъ, поворачиваютъ алидаду около ея вертикальной оси *MN*, вслѣдствіе чего горизонтальная ось займетъ положеніе *b'a'*, вновь наводятъ пересѣченіе нитей трубы на точку *A* и опять опускаютъ трубу, замѣчая симметричную съ *S* точку *S'*. Раздѣливъ на глазъ *SS'* пополамъ точкою *P*, подымаютъ нѣсколько винтами *yy* опущенное плечо горизонтальной оси, вновь наводятъ крестъ нитей на точку *A* и смотрятъ, что крестъ нитей при опусканіи трубы покроетъ точку *P*, или нѣтъ. Если нѣтъ, то весь пріемъ повторяютъ вновь, регулируя винтами *yy* положеніе горизонтальной оси *h* (черт. 128) до тѣхъ поръ, пока крестъ нитей, наведенный на точку *A*, при опусканіи трубы, не покроетъ точку *P*.

Если подставка не имѣетъ исправительныхъ винтовъ, то послѣ перевода трубы черезъ зенитъ и поворота алидады на 180^0 визирная ось трубы будетъ по прежнему описывать плоскость, наклонную относительно вертикальной плоскости, но уже въ противоположную сторону (черт. 174 и 175). Такъ какъ наклонъ α коллимаціонной плоскости къ лимбу одинъ и тотъ же, то при наведеніи трубы на одну и ту же точку *A* мѣстности при двухъ ея положеніяхъ отсчеты по лимбу будутъ отличаться отъ истиннаго отсчета

на одну и ту же величину i', зависящую отъ наклона i горизонтальной оси къ плоскости лимба L. На основаніи этого можно заключить, что для уничтоженія наклона i слѣ-



Черт. 174.



Черт. 175.

дуетъ дѣлать два наведенія на одинъ и тотъ же предметъ при двухъ положеніяхъ трубы (кремальерка вверхъ и кремальерка внизъ) и брать изъ сдѣланныхъ отсчетовъ полусумму, которую и принимать за вѣрный отсчетъ, устанавливая на него верньеръ, можно придать алидадѣ нормальное положеніе. Послѣ чего винтами *уу* слѣдуетъ вернуть крестъ нитей на точку A. Чѣмъ выше предметъ A, тѣмъ болѣе PS', т. е. тѣмъ сильнѣе сказывается вліяніе ошибки наклона горизонтальной оси на отсчетъ по лимбу.

§ 123. Измѣреніе горизонтальныхъ проложеній угловъ простымъ теодолитомъ на мѣстности состоитъ въ томъ, что 1), вывѣривъ инструментъ, опредѣливъ точность его верньеровъ и замѣтивъ направленіе подписей нанесенныхъ дѣленій лимба, *центрируютъ* лимбъ, т. е. приводятъ центръ лимба на одну отвѣсную линію съ вершиною измѣряемаго угла: сперва перестановкою всего штатива на землѣ, а затѣмъ движеніемъ инструмента по головѣ штатива до тѣхъ поръ, пока шпицъ отвѣса, прикрѣпленнаго нитью къ крючку станового винта, придется надъ вершиною измѣряемаго угла, 2) приводятъ инструментъ въ горизонтальное положеніе по вывѣренному уровню, 3) провѣряютъ центрировку, 4) дѣлаютъ установку трубы для наблюденій, 5) ослабляютъ нажимательные винты алидады и трубы, 6) наводятъ сперва отъ руки грубымъ движеніемъ трубу на лѣвый предметъ, пока онъ появится въ полѣ зрѣнія трубы, для чего визированіе дѣлается поверхъ трубы, при этомъ, вращая алидаду, наклоняютъ трубу около горизонтальной оси, 7) уловивъ предметъ въ трубу, закрѣпляютъ нажимательные винты алидады и трубы и, дѣйствуя послѣдовательно, микрометреннымъ винтомъ алидады приводятъ предметъ на вертикальную нить сѣтки, а затѣмъ микрометреннымъ винтомъ трубы опускаютъ изображеніе предмета до точки пересѣченія вертикальной нити съ горизонтальной и 8) дѣлаютъ отсчеты на лимбѣ по обоимъ верньерамъ, 9) послѣ 1-го отсчета ослабляютъ нажимательные винты и дѣлаютъ наведеніе на правый предметъ, 10) сдѣлавъ второй отсчетъ по верньерамъ и взявъ среднее ариѳметическое изъ отсчетовъ по обоимъ верньерамъ числа минутъ, а число градусовъ

съ 1-го верньера (какъ для 1-го такъ и для второго наведенія), *составляютъ разность среднихъ ариѳметическихъ*, которая даетъ величину измѣряемаго угла при одномъ положеніи трубы, II) переводятъ трубу черезъ зенитъ и вновь повторяютъ измѣреніе угла [1]). За окончательную величину угла считаютъ полусумму изъ обоихъ результатовъ.

Такимъ образомъ *измѣряемый уголъ получается на простомъ теодолитѣ какъ разность среднихъ ариѳметическихъ изъ отсчетовъ, сдѣланныхъ на лимбѣ при наведеніи трубы на правый и лѣвый предметы при одномъ и томъ же неизмѣнномъ положеніи лимба.*

При измѣреніи угла въ полѣ ведется карандашемъ запись сдѣланныхъ отсчетовъ въ геодезическомъ журналѣ слѣдующаго образца:

Геодезическій журналъ

измѣренія угловъ границы участка №....., веденный 190 г....., -го.....

Инструментъ: теодолитъ Розенберга № 5520.

№ станціи.	Визируемые предметы (точки границы).	Отсчеты. Верньеръ I.	Отсчеты. II.	Среднее изъ отсчетовъ.	Уголъ.	Среднее изъ угловъ.	Примѣчаніе.
	I положеніе трубы (кр. вверху)						1) точность верньеровъ 1′.
2	№ 3 (лѣв.)	234° 10′	12′	234° 11′			2) Подпись дѣленій по ходу часовой стрѣлки.
	№ 1 (прав.)	10° 8′	7′	10° 7′,5	135°56′,5 [3])		
	II положеніе трубы (к. н.)						
	—	—	—	—	—	135°56′,75	3) При второмъ положеніи трубы лимбъ на штативѣ перемѣщенъ примѣрно на 120° [2]).
2	№ 3 (лѣв.)	354° 18′	20′	354° 19′			
	№ 1 (прав.)	130° 15′	17′	130° 16′	135° 57′	[4])	
Уголъ наклона: 6°. Длина линіи со 2 на 3 точку (2—3): 147.15 с. Румбъ линіи: СВ: 15¾°.							
3	№ 4						
	№ 2						

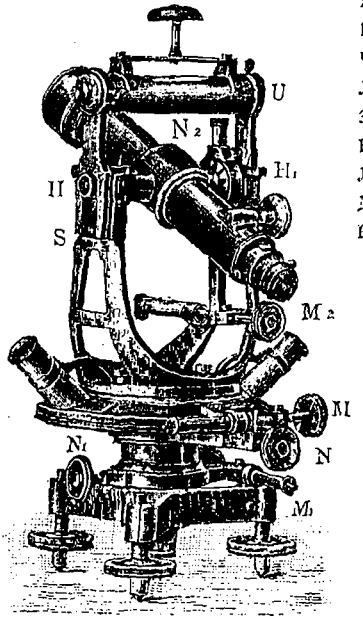
[1]) Дѣлая наведеніе сперва на правый, а затѣмъ на лѣвый предметъ.

[2]) Во избѣжаніе просчетовъ и вліянія невѣрности дѣленій лимба.

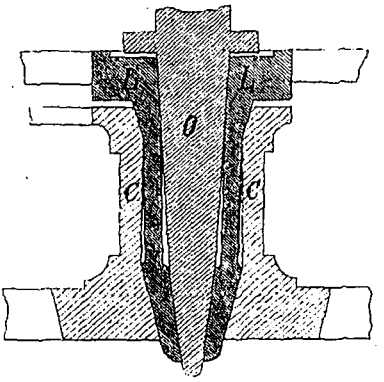
[3]) Здѣсь вторые отсчеты (на правый предметъ) менѣе первыхъ (на лѣвый предметъ), потому при вычитаніи ко второму отсчету 10° 7′,5 прибавлено 360°, такъ какъ нуль верньера прошелъ черезъ дѣленіе 360°.

[4]) Иногда ради удобства вычитанія запись на правый предметъ пишутъ ранѣе записи на лѣвый предметъ.

§ 124. Повторительные и осложненные по устройству теодолиты. Въ повторительномъ теодолитѣ, изображенномъ на чертежѣ 176, лимбъ имѣетъ самостоятельное движеніе, для котораго и устроены нажимательный винтъ N_1 и микрометренный винтъ M_1, независимо отъ алидады, для которой существуетъ свой нажимательный винтъ N и свой микрометренный винтъ M. Въ остальномъ этотъ теодолитъ отличается отъ малаго теодолита Герляха еще и тѣмъ, что на горизонтальную ось HH_1 трубы накладывается на выступающіе изъ лагеръ ея концы H и H_1 цилиндрическій уровень помощію двухъ вилкообразныхъ подставокъ и



Черт 176.



Черт. 177.

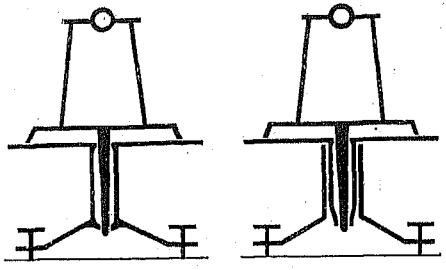
удерживается на ней винтомъ S подставки (трегера) трубы, приходящимся между 2-мя зубцами одной изъ вилкообразныхъ подставокъ уровня.

На чертежѣ 177 изображенъ вертикальный разрѣзъ осей повторительнаго теодолита. Коническая ось O алидады входитъ въ конусообразное гнѣздо, имѣющееся въ оси L лимба; между обѣими осями остается небольшой промежутокъ, [1]) и оси соприкасаются только вверху и внизу; это сдѣлано для ослабленія тренія въ осяхъ и предоставленія большей плавности движенію алидады по лимбу. Ось L лимба входитъ во втулку C, наглухо соединенную съ рукавами треножника, снабженными подъемными винтами. Чѣмъ лучше шлифованы обѣ оси теодолита, тѣмъ плавнѣе и свободнѣе движеніе лимба и алидады. Иногда при достаточно тяжелыхъ осяхъ теодолита для облегченія вѣса лимба и алидады эти послѣдніе дѣлаются не въ видѣ сплошной круговой шейбы, а въ видѣ кольца съ радіусами. Ось али-

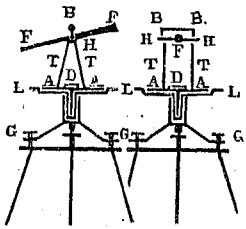
[1]) Это—то, что нѣмцы называютъ Spielraum.

дады въ большинствѣ случаевъ стальная, ось лимба томпаковая, а втулка *C* лимба—латунная.

На чертежѣ 178 изображены схематически оси простого (налѣво) и повторительнаго (направо) теодолитовъ.



Черт. 178.



Черт 179

Чертежъ 179 даетъ намъ схему повторительнаго теодолита; на немъ *GG*—подъемные или уравнительные винты, *LL*—лимбъ, *AA*—алидадный кругъ, *D*—круглый уровень, *TT*—трегеръ или подставка трубы, *HH*—горизонтальная ось вращенія трубы, *FF*—оптическая ось трубы и *BB* уровень, накладываемый на горизонтальную ось вращенія трубы.

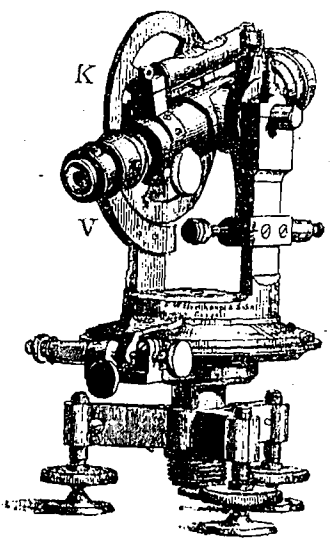
Кромѣ описаннаго выше теодолита встрѣчаются и другіе теодолиты, имѣющіе нѣкоторое осложненіе въ своемъ устройствѣ. Добавочныя ихъ части состоятъ изъ а) вертикальнаго круга *K* съ верньеромъ *V* (черт. 180), или его части (полукруга, сектора), служащихъ для измѣренія угловъ наклоненія (или зенитныхъ разстояній), б) уровня на трубѣ (черт. 180), ось котораго параллельна визирной оси трубы, для полученія горизонтальнаго луча зрѣнія въ трубу, в) двухъ дополнительныхъ горизонтальныхъ дальномѣрныхъ нитей въ трубѣ для опредѣленія помощію ихъ разстояній безъ непосредственнаго ихъ измѣренія и г) буссоли, т. е. снаряда, служащаго для *орієнтированія* линіи визированія относительно меридіана.

Всѣ эти части не являются необходимыми принадлежностями угломѣрнаго инструмента, а дѣлаютъ его болѣе общимъ *(универсальнымъ)*, пригоднымъ для всевозможныхъ пріемовъ съемокъ какъ горизонтальной, такъ и вертикальной. Кромѣ указанныхъ здѣсь типовъ, обращаетъ на себя вниманіе теодолитъ, принятый въ Межевомъ вѣдомствѣ; о немъ мы скажемъ нѣсколько ниже.

§ 125. Повѣрки повторительнаго и осложненныхъ по устройству теодолитовъ. Повѣрка уровня, посаженнаго на горизонтальную ось вращенія трубы Сообразно съ осложненіемъ устройства теодолита увеличится и число его повѣрокъ. Каждая дополнительная часть въ устройствѣ создаетъ новое условіе, выполненіе котораго приходится провѣрять въ инструментѣ.

Такъ, напримѣръ, въ повторительномъ теодолитѣ (см. черт. 176), сравнительно съ простымъ теодолитомъ, добавленъ уровень на горизонтальной оси вращенія трубы и лимбъ сдѣланъ подвижнымъ, т. е. прибавлена еще вертикальная ось вращенія лимба,—поэтому отъ повторительнаго теодолита придется потребовать, чтобы *ось цилиндрическаго уровня, помѣщающагося на горизонтальной оси вращенія трубы, лежала въ одной плоскости съ горизонтальной осью вращенія трубы и была бы ей параллельна.* Провѣряется выполненіе этого условія весьма просто.

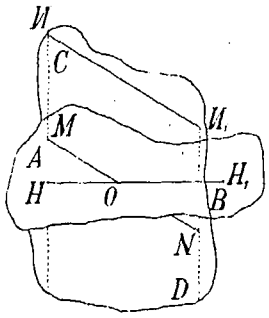
Чтобы убѣдиться, находятся ли обѣ оси въ одной плоскости, необходимо привести пузырекъ уровня на середину трубки и начать вращать уровень, *не* снимая его, вокругъ оси HH_1, (черт. 176) т. е. *немного* наклонять его впередъ и назадъ, и слѣдить за отклоненіемъ пузырька. Если при наклоненіи уровня впередъ, а затѣмъ назадъ пузырекъ уровня начнетъ отклоняться въ разныя стороны (т. е. сперва напр. влѣво, а затѣмъ вправо), то это укажетъ намъ, что попеременно то лѣвое плечо уровня, то правое его плечо лежитъ выше (сравнительно съ другимъ), куда и уклоняется пузырекъ уровня. А это можетъ быть лишь въ томъ случаѣ, когда ось уровня II_1 и горизонтальная ось вращенія HH_1 (черт. 181) *не* находятся въ одной плоскости. Такъ если допустимъ, что HH_1 лежитъ въ горизонтальной плоскости AB, а ось II_1 не лежитъ въ отвѣсной плоскости, проходящей черезъ HH_1, то, вообразивъ черезъ ось II_1 отвѣсную плоскость CD, можно въ этой плоскости черезъ точку O оси HH_1 провести линію MN, параллельную II_1. При вращеніи II_1 или все равно MN около HH_1 очевидно, что поочередно, то конецъ M будетъ выше линіи HH_1, то конецъ N станетъ приподниматься надъ линіею HH_1 [1]), а это будетъ сопровождаться уклоненіемъ пузырька то влѣво, то вправо. Напротивъ того, отклоненіе пузырька только въ одну сторону какъ при наклонѣ впередъ, такъ и при наклонѣ назадъ, подтвердитъ, что обѣ оси лежатъ въ одной плоскости, уклоненіе же укажетъ, который именно конецъ уровня приподнятъ. Исправленіе ошибки дѣлается *горизонтальными* винтами при подставкѣ (оправѣ) уровня (чер. 176).



Черт. 180.

[1]) Ибо линія MN опишетъ 2 конуса съ вершинами въ точкѣ O.

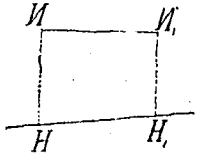
Ось уровня $ИИ'$ будетъ тогда параллельна горизонтальной оси $НН_1$ вращенія трубы, когда подставки уровня $НИ$ и $Н_1И_1$ будутъ равны между собою (черт. 182).



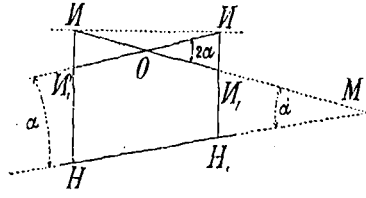
Черт. 181.

Пусть уровень наложенъ на горизонтальную ось $НН_1$ вращенія трубы, замѣтимъ положеніе подставокъ, для чего поставимъ уровень $ИИ'$ параллельно двумъ подъемнымъ винтамъ и, дѣйствуя ими, приведемъ пузырекъ уровня на середину трубки, т. е. сдѣлаемъ $ИИ_1$ горизонтальной линіею.

Чтобы обнаружить, равны ли подставки уровня[1]), перемѣнимъ ихъ мѣста, *т. е. переложимъ уровень на горизонтальной оси* такъ, чтобы лѣвая подставка $НИ$ заняла мѣсто правой подставки $Н_1И_1$ и наоборотъ. Если подставки равны, то пузырекъ долженъ оставаться на серединѣ, такъ какъ подъ подставками $НИ$ и $Н_1И_1$ мы подразумѣваемъ двѣ параллельныя линіи. А если двѣ параллельныя линіи $НИ$ и $Н_1И_1$ равны, то и линіи $ИИ_1$ и $НН_1$, соединяющія концы двухъ равныхъ и параллельныхъ, также будутъ равны и параллельны. Отклоненіе середины пузырька отъ середины трубки укажетъ на отсутствіе равенства подставокъ уровня,



Черт. 182.



Черт. 183.

а слѣдовательно и параллелизма между осью уровня $ИИ_1$ и горизонтальною осью $НН_1$ вращенія трубы. Пусть пузырекъ уровня (послѣ переложенія уровня) отклонился отъ середины трубки, тогда дуга отклоненія выразитъ двойной уголъ $2\alpha = ИОИ'$ наклона α между осью $ИИ_1$ уровня и осью $НН_1$ трубы, что ясно изъ чертежа 183 (см. также статью объ уровняхъ § 86). Подставки $ИИ$ и $Н_1И_1$ выравниваются съ помощью исправительнаго винта при уровнѣ, лежащаго въ вертикальной плоскости (на черт. 176 направо вверху). Дѣйствуя этимъ винтомъ, выравниваютъ подставки; при этомъ ось уровня перемѣстится на уголъ α тогда, когда

[1]) Подъ подставками понимаемъ разстоянія $ИИ$ и $И_1И_1$ отъ оси уровня до горизонтальной оси $НН_1$ вращенія трубы (черт. 182), т. е. перпендикуляры $ИН$ и $И'Н'$, опущенные изъ $И$ и $И'$ на $НН'$.

подъ дѣйствіемъ исправительнаго винта середина пузырька перемѣстится на середину дуги отклоненія.

Назначеніе уровня, посаженнаго на горизонтальную ось вращенія трубы, состоитъ въ томъ, чтобы приводить ось вращенія трубы въ горизонтальное положеніе, и тѣмъ самымъ вывѣренную коллимаціонную плоскость трубы ставить въ отвѣсное положеніе.

Съ помощію уровня, параллельнаго горизонтальной оси вращенія трубы, легко повѣрить равенство обѣихъ подставокъ P (трегера) трубы у любого теодолита, имѣющаго такой уровень или, что то же самое, убѣдиться въ параллельности горизонтальной оси вращенія трубы плоскости лимба.

Для этого, убѣдившись предварительно перекладываніемъ уровня въ томъ, что ось его параллельна оси HH_1 вращенія трубы, устанавливаютъ подъемными винтами теодолита пузырекъ уровня на середину трубки, дѣлаютъ на горизонтальномъ кругѣ (лимбѣ) по верньерамъ отсчеты и *поворачиваютъ алидаду точно по отсчету на 180°*. Отклоненіе середины пузырька отъ середины трубки уровня укажетъ на неравенство подставокъ у горизонтальной оси вращенія трубы (неравенство плечей трегера) или, что то же самое, на непараллельность оси HH_1 вращенія трубы плоскости лимба. Исправленіе дѣлается винтами *уу* при подставкѣ (см. чертежи 126 и 127).

§ 126. Повѣрка совпаденія вертикальныхъ осей повторительнаго теодолита. Отъ вертикальныхъ осей алидады и лимба необходимо требовать, чтобы онѣ совпадали или были параллельны. Обнаружить это можно такъ: привести плоскость алидады при помощи имѣющагося на ней уровня, въ горизонтальное положеніе, закрѣпить алидаду нажимательнымъ ея винтомъ при лимбѣ и начать вращать лимбъ съ прикрѣпленною алидадою около вертикальной оси лимба. Если оси не совпадаютъ, то пузырекъ уровня будетъ отходить отъ середины трубки, такъ какъ ось алидады, пересѣкаясь съ осью лимба, при вращеніи станетъ описывать конусъ около оси лимба. Недостатокъ этотъ можетъ быть устраненъ только механикомъ.

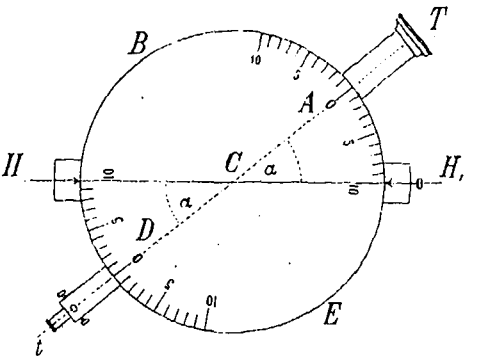
§ 127. Измѣреніе угловъ повторительнымъ теодолитомъ Непосредственное чтеніе величины угла по лимбу. Если теодолитъ повторительный, то при употребленіи его можно, прежде чѣмъ наводить трубу на лѣвый предметъ, установить ноль верньера алидады на ноль лимба [1]), закрѣпить алидаду при лимбѣ, ослабить нажимательный винтъ лимба и *движеніемъ лимба*

[1]) Особенно удобно это дѣлается въ теодолитѣ фирмы Ѳ. Швабе, о которомъ будетъ сказано ниже; у него достаточно поставить нажимательный винтъ алидады надъ нажимательнымъ винтомъ лимба, чтобы совпаденіе нулей совершилось.

(*вмѣстѣ съ закрѣпленною на немъ алидадою*) навести трубу на лѣвый предметъ, тогда и отсчетъ на лѣвый предметъ будетъ ноль. Закрѣпивъ лимбъ его нажимательнымъ винтомъ, движеніемъ алидады по лимбу наводятъ трубу на правый предметъ—тогда на лимбѣ второй отсчетъ, сдѣланный по тому же верньеру, выразитъ величину измѣряемаго угла. Для того же, чтобы быть спокойнымъ относительно неподвижности лимба при движеніи по немъ алидады при направленіи трубы на правый предметъ, т. е. чтобы убѣдиться *въ отсутствіи большого тренія въ вертикальныхъ осяхъ теодолита*, могущаго служить причиною движенія лимба за алидадою, *необходимо*, послѣ наведенія алидады на правый предметъ, сдѣлавши 2-ой отсчетъ на лимбѣ, *продолжать вращать ее въ ту же правую сторону*, пока въ трубѣ покажется вновь лѣвый предметъ. Сдѣлавъ вновь *второе* наведеніе на первый предметъ, убѣждаются въ томъ, что *не* измѣнился первый отсчетъ, т. е. ноль, на который была сдѣлана установка алидады. Если первый отсчетъ измѣнился болѣе чѣмъ на точность верньера, то повторяютъ измѣреніе угла при томъ же положеніи трубы. За окончательную величину угла принимаетъ среднее изъ двухъ результатовъ, изъ которыхъ первый полученъ при одномъ положеніи трубы (кремальерка вверху или вертикальный кругъ вправо) и при другомъ (кремальерка внизу или вертикальный кругъ влѣво).

§ 128. Назначеніе вертикальнаго круга и сектора въ теодолитѣ. Вертикальный кругъ или часть его въ видѣ сектора предназначается для опредѣленія градусной величины угловъ наклоненія, т. е. такихъ угловъ, лежащихъ въ вертикальной плоскости, для которыхъ одною изъ сторонъ служитъ горизонтальная линія, а другою—линія визированія. Углы наклона считаются отъ горизонтальной ихъ стороны до направленія на тотъ предметъ, уголъ наклоненія котораго желаютъ опредѣлить. Для опредѣленія угла наклона линіи мѣстности инструментъ ставятъ въ одномъ концѣ линіи, а въ другомъ концѣ личіи выставляютъ вѣху, на которой дѣлаютъ мѣтку на высотѣ отъ земли, равной высотѣ инструмента и наводятъ крестъ нитей трубы на мѣтку на вѣхѣ. Отсчетъ по кругу даетъ уголъ наклона. Такъ какъ направленіе на данный предметъ (или все равно линія визированія на данный предметъ) вполнѣ опредѣляется положеніемъ визирной оси трубы, то понятно, что, когда оптическая ось будетъ стоять горизонтально (т. е. когда уголъ наклона будетъ нуль), вертикальный кругъ долженъ показывать отсчетъ, равный нулю. Вслѣдствіе этого, отъ вертикальнаго круга и сектора слѣдуетъ требовать, чтобы *при совмѣщеніи нуля вернъера съ нулемъ вертикальнаго круга* (*или сектора*) *визирная ось трубы была перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента.*

Если это условіе выполняется инструментомъ, то гдѣ бы на секторѣ или вертикальномъ кругѣ мы ни измѣрили одинъ и тотъ же уголъ наклоненія α линіи визированія, градусная его величина, прочтенная отъ нуля, должна оставаться одна и та же. Пусть, напр., на чертежѣ 184 инструментъ имѣетъ полный подвижный кругъ, неподвижные его верньеры расположены по горизонтальному діаметру HH_1; *подпись его дѣленій приспособлена для непосредственнаго полученія какъ угловъ повышенія, такъ и угловъ пониженія*, т. е. подпись расположена отъ нулеваго діаметра, совпадающаго съ оптическою осью трубы *Tot*, въ обѣ стороны по квадрантамъ отъ 0 до 90°, причемъ углы повышенія при положеніи вертикальнаго круга *вправо* [1]) отъ наблюдателя измѣряются на квадрантахъ AE и DB, а углы пониженія на четвертяхъ AB и DE, такъ какъ кругъ двигается вмѣстѣ съ трубою, а верньеры остаются неподвижными. При вертикальномъ кругѣ *влѣво* отъ наблюдателя [2]) и послѣ перевода трубы черезъ зенитъ тѣ же самые углы повышенія будутъ измѣряться на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ прежде при Кр. Пр. получались углы пониженія и обратно.

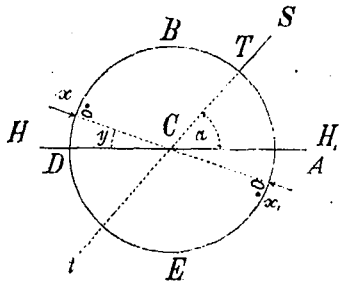


Черт. 184.

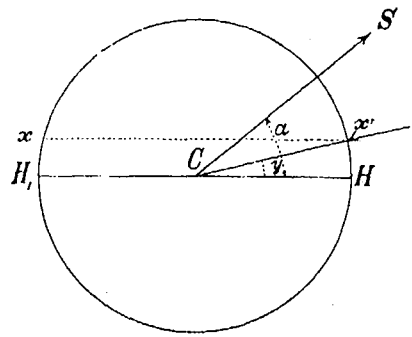
На основаніи этихъ соображеній *при полномъ вертикальномъ кругѣ* повѣрка производится слѣдующимъ образомъ: избравъ какую-либо высокую точку S и приведя вертикальный кругъ въ отвѣсное положеніе (или лимбъ въ горизонтальное положеніе), направляютъ на нее трубу Tt и дѣлаютъ на кругѣ отъ нуля круга t (черт. 185) до нуля x верньера отсчетъ a, переводятъ трубу черезъ зенитъ, вращаютъ инструментъ около вертикальной оси, напр., BE (черт. 185) и вновь наводятъ ее на тотъ же предметъ S и дѣлаютъ второй отсчетъ a_1. Если отсчеты одинаковы—условіе выполнено, если же отсчеты разные, то условіе *не* выполняется. Въ послѣднемъ случаѣ, при совпаденіи нулей вертикальнаго круга съ нулями верньеровъ, визирная ось занимаетъ наклонное къ горизонту HH_1 положеніе, напримѣръ xx_1 (черт. 185) и при наведеніи трубы T при *К. П.* на точку S визирная ось напишетъ уголъ $xCt = xCD + DCt =$

[1]) Что будетъ обозначать *К. П.*
[2]) Кругъ влѣво будемъ сокращенно обозначать *К. Л.*

$= y + \alpha$ и дастъ отсчетъ a, т. е. $y + \alpha = a$; *здѣсь y есть тотъ отсчетъ на кругѣ, когда оптическая ось трубы стоитъ горизонтально.* Послѣ поворота на 180° алидады и перевода



Черт. 185.



Черт. 186.

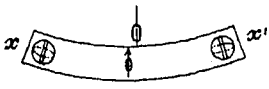
трубы черезъ зенитъ, кругъ будетъ влѣво отъ наблюдателя, верньеръ x займетъ положеніе x' *симметричное относительно вертикальной линіи* (черт. 186) труба опишетъ при наведеніи на ту же точку S уголъ $x'CS = SCH - x'CH = \alpha - y$ и дастъ отсчетъ $a_1 = \alpha - y$.

Изъ равенствъ $a = y + \alpha$ и $a_1 = \alpha - y$ находимъ $a + a_1 = 2\alpha$ и $a - a_1 = 2y$, откуда

$$\alpha = \frac{a + a_1}{2} \text{ и } y = \frac{a - a_1}{2},$$

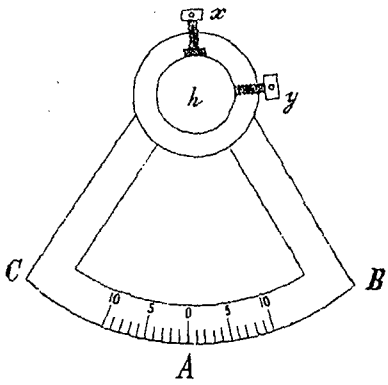
т. е. отсчетъ y, опредѣляющій то мѣсто, гдѣ бы долженъ стоять 0 круга, когда визирная ось трубы перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента или, проще выражаясь *„мѣсто нуля" вертикальнаго круга* (или какъ иногда говорятъ *коллимаціонная ошибка вертикальнаго круга*) равно полуразности отсчетовъ, а истинный уголъ наклона $\alpha = \frac{a + a_1}{2}$ равенъ полусуммѣ отсчетовъ при К. П. и К. Л.

Исправленіе ошибки y достигается передвиженіемъ верньера, а именно: установивъ вертикальныный кругъ сперва грубымъ движеніемъ, а затѣмъ микрометреннымъ винтомъ трубы такъ, чтобы отсчетъ по вертикальному кругу равнялся a_1, т. е. чтобы визирная осьбыла направлена на данный предметъ S, ослабляютъ винты x и x_1 (черт. 187), прикрѣпляющіе верньеръ къ подставкѣ, и, благодаря имѣющимся продолговатымъ прорѣзамъ подъ винтами, продвигаютъ нуль верньера такъ, чтобы отсчетъ a_1 измѣнился въ $\frac{a + a_1}{2}$.

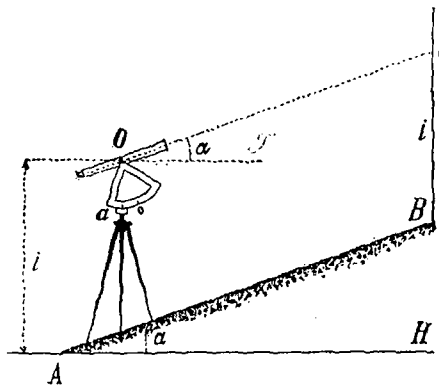


Черт. 187.

Если въ инструментѣ вмѣсто полнаго круга *къ горизонтальной оси h вращенія трубы привернутъ секторъ* (черт. 188), то чтобы на его разныхъ частяхъ *AB* и *AC* смѣрить одинъ и тотъ же уголъ наклоненія α, нужно при подвижномъ секторѣ сперва поставить трубу такъ чтобы къ неподвижному нулю верньера подошла часть *AC*, т. е. приподнять объективъ трубы, а затѣмъ опустить трубу, чтобы къ верньеру подошла дуга *AB*. Другими словами *необходимо одинъ и тотъ же уголъ наклоненія линіи мѣстности сдѣлать одинъ разъ угломъ повышенія, а другой—угломъ пониженія*. При этомъ мы предполагаемъ, что при подставкѣ имѣется одинъ верньеръ внизу дуги сектора, и слѣдовательно, переводя трубу черезъ зенитъ, мы приподнимемъ секторъ кверху, гдѣ нѣтъ верньера, и отсчета по сектору нельзя будетъ сдѣлать. Поэтому, *чтобы* дважды *измѣрить уголъ α наклоненія линіи мѣстности AB* (черт. 189) поступаютъ такъ: въ концѣ *A* наклонной линіи *AB* саженъ въ 25—30 ставятъ теодолитъ съ секторомъ, измѣряютъ высоту *i* горизонтальной оси вращенія *h* сектора до земли, ставятъ отвѣсно въ концѣ *B* линіи вѣху,

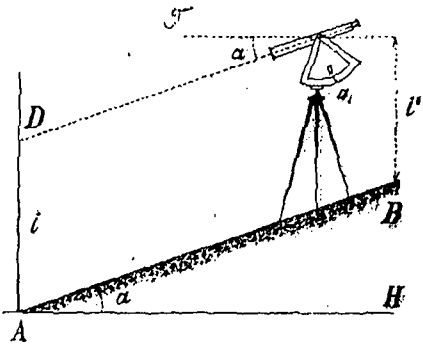


Черт. 188.



Черт. 189.

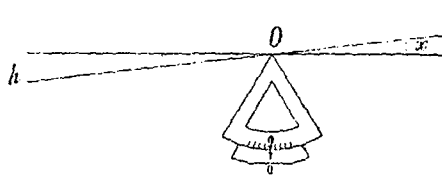
на которой отъ точки *B* отложена высота $i = BC$ инструмента, наводятъ при горизонтальномъ положеніи лимба сѣтку трубы на точку *C* (чрезъ что линія визированія *OC* станетъ параллельно линіи мѣстности *AB*) и дѣлаютъ по сектору отсчетъ a.



Черт. 190.

Затѣмъ мѣняютъ мѣста теодолита и вѣхи (черт. 190) и повторяютъ измѣренія высоты i' инстумента и угла α. Если 2-й отсчетъ a_1 по сектору равенъ первому отсчету a, то при совпаденіи нуля вернье́ра съ нулемъ сектора визирная ось трубы перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента.

Само собою разумѣется, что если бы при совпаденіи нуля вернье́ра съ нулемъ сектора визирная труба OT была наклонена внизъ объективомъ отъ горизонтальной линіи hh_1 на уголъ x (черт. 191), то при наведеніи сѣтки трубы на точку C (черт. 190) ось трубы описала бы уголъ $TOC = \alpha = \alpha + x$, а при наведеніи на точку D (черт. 191) она описала бы уголъ $TOD = \alpha_1 = \alpha - x$, и опять мы нашли бы

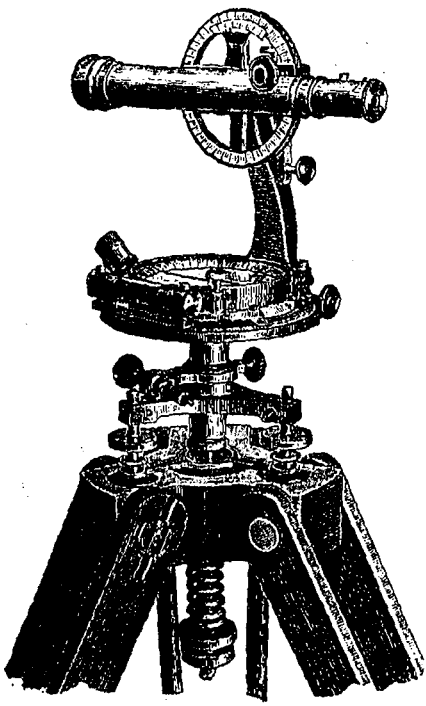


Черт. 191.

189

190

$$1)\ x = \frac{a - a_1}{2} \text{ и } 2)\ \alpha = \frac{a + a_1}{2}.$$



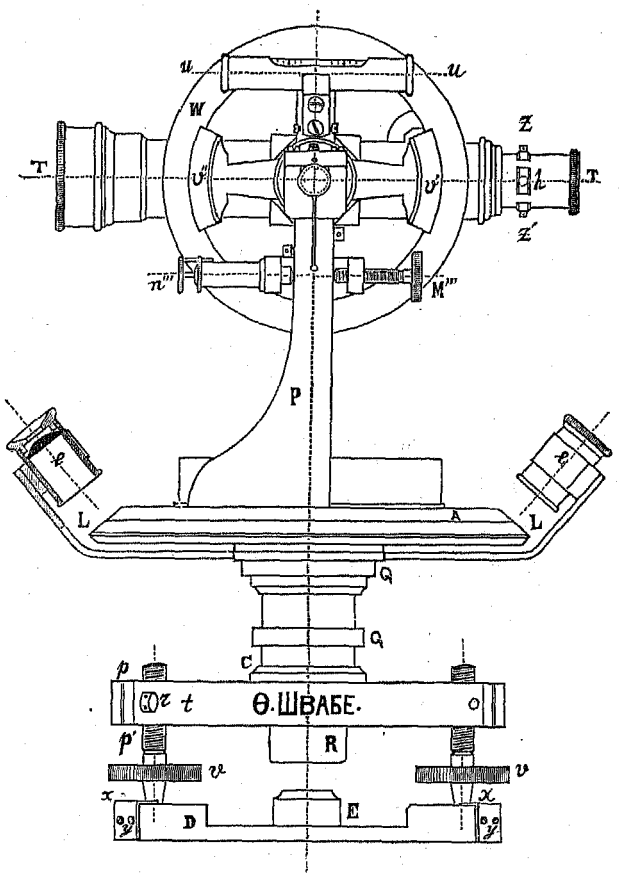
Черт. 192.

Исправленіе погрѣшности можно сдѣлать передвиженіемъ сектора, предварительно ослабивъ винты x и y (черт. 188), какъ указано выше.

§ 129. Теодолиты съ буссолью. Въ астролябіи и нѣкоторыхъ теодолитахъ буссоль помѣщается на алидадѣ, при этомъ иногда для удобства отсчитыванія по стрѣлкѣ, буссоль стараются оставить болѣе открытой и съ этою цѣлью для трубы дѣлаютъ вмѣсто двухъ только одну подставку съ тавровымъ сѣченіемъ, съ цѣлью придать подставкѣ большую устойчивость. Въ нѣкоторыхъ теодолитахъ буссоль дѣлается наставною на горизонтальную ось вращенія трубы.

Такъ чертежъ 192 представляетъ повторительный

теодолитъ Герляха съ трубою на одной подставкѣ или, какъ говорятъ, „съ трубою на журавлѣ“, съ буссолью на алидадѣ, неподвижнымъ вертикальнымъ кругомъ съ подвижною полуалидадою, оканчивающеюся верньеромъ. Этотъ типъ угломѣрнаго инструмента былъ впервые предложенъ механикомъ Брейтгауптомъ въ Кассель и былъ принятъ до послѣдняго времени въ Межевомъ Вѣдомствѣ [1]).

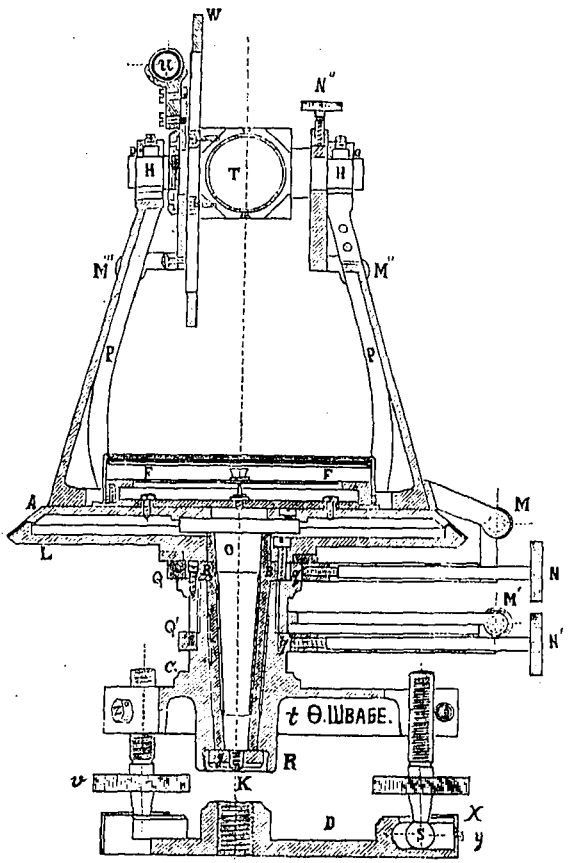


Черт. 193.

Теперь же преимущественно изготовляетъ для Межевого Вѣдомства угломѣрные инструменты московская фирма *Θ. Шваабе*, сдѣлавшая за послѣднее время большой успѣхъ въ изготовленіи геодезическихъ инструментовъ; она, поль-

[1]) Существеннымъ недостаткомъ этого инструмента слѣдуетъ считать одностороннюю малоустойчивую подставку короткой горизонтальной оси вращенія трубы.

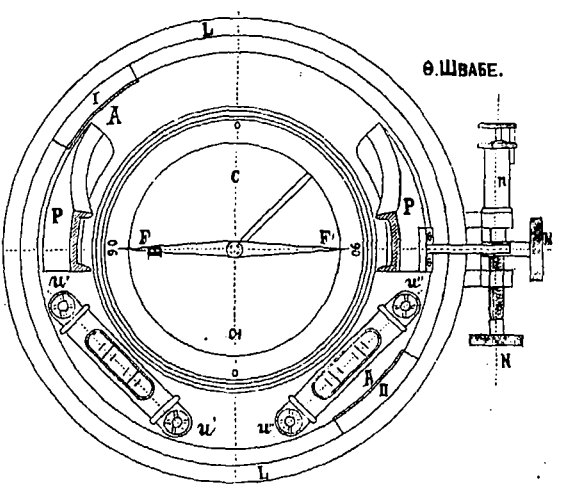
зуясь существующими типами, согласно указаній Комиссіи для выработки и выбора типовъ инструментовъ для чиновъ Межевого Вѣдомства (состоящей при Предсѣдателѣ Межевой Канцеляріи) снабжаетъ Губернскія Чертежныя (складъ инструментовъ Межевого Вѣдомства) угломѣромъ слѣдующаго типа. (Чертежи 193, 194, 195). Въ этомъ инструментѣ по возможности устранены недостатки ранѣе принятаго типа (при односторонней подставкѣ зрительной трубы). Подставка *P* зрительной трубы *T* состоитъ изъ двухъ колонокъ, имѣющихъ такую форму и такъ расположенныхъ,



Черт. 194.

что оставляютъ часть буссоли *F*, обращенную къ наблюдателю, открытой и свободной для наблюденія показаній стрѣлки. Благодаря двойной колонкѣ подставки и имѣющихся при ней исправительныхъ винтовъ при вертикальномъ распилѣ подъ лагерами трубы, можно быть болѣе увѣреннымъ въ томъ, что коллимаціонная плоскость трубы, во

время частыхъ переѣздовъ землемѣра, остается неизмѣнной и въ случаѣ надобности легко можетъ быть установлена на надлежащее мѣсто, какъ указанными винтами подставки, такъ и винтами z, z', h — сѣтки. Лимбъ L и алидада A имѣютъ коническую форму. При верньерахъ подвижныя безъ иллюминаторовъ лупы l; на алидадѣ два взаимноперпендикулярныхъ уровня $u'u'$ и $u''u''$ для быстраго приведенія лимба въ горизонтальное положеніе подъемными винтами v. Винты имѣютъ гнѣзда въ рукавахъ t треножника, и вращеніе ихъ регулируется прорѣзами pp' и винтами r. Для большей легкости всего инструмента, въ связи съ надлежащей устойчивостію, рукава треножника—полые тавроваго сѣченія. Треножникъ связанъ съ втулкою C, служащей гнѣздомъ для сравнительно длинной оси B лимба, въ свою очередь служащей гнѣздомъ для конической оси O алидады. Ось O оканчивается винтомъ K съ навертывающеюся

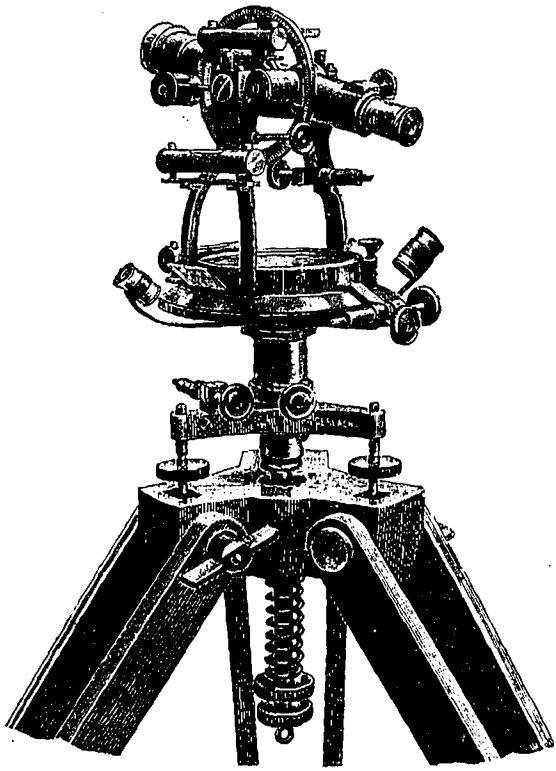


Черт. 195.

на него гайкою g, сидящей въ выступѣ R подъ рукавами t треножника. Лимбъ и алидада имѣютъ нажимательные винты-клеммы N и N' центральной системы, помѣщающіеся въ хомутахъ Q и Q' и дѣйствующіе непосредственно на вкладки q и q' колецъ хомутовъ. При нажимательныхъ винтахъ находятся микрометренные M и M'. Нижняя клемма-хомутъ Q' съ винтами N' и M' названъ фирмой Θ. Швабе *„свободнымъ нижнимъ микрометромъ“*, на устройство котораго даже испрошена привиллегія. Отъ обычной клеммы лимба (остающейся неподвижной) онъ отличается именно тѣмъ, что движется вмѣстѣ съ лимбомъ. Это свободное вращеніе нижняго микрометра вокругъ вертикальной оси инструмента позволило такъ расположить верньеры и под-

пись дѣленій лимба, что достаточно сдвинуть головки N и N' обоихъ нажимательныхъ винтовъ вмѣстѣ (такъ, чтобы онѣ стали одна надъ другой), чтобы нули верньеровъ стали на дѣленія 0^0 и 180^0 лимба.

Арретировка магнитной стрѣлки достигается поворотомъ крышки буссоли около вертикальной оси инструмента при помощи косого вырѣза въ ободкѣ крышки. Скрѣпленіе



Черт. 196.

инструмента со штативомъ достигается становымъ винтомъ *безъ пружины*, имѣющимъ гнѣздо въ выступѣ E креста D, накладывающагося на голову штатива съ вырѣзомъ для центрировки инструмента. Подъ головой штатива на становомъ винтѣ находится круглая шейба [1]). Въ крестѣ D сдѣланы гнѣзда для шариковъ S, которыми оканчиваются подъемные винты v; эти гнѣзда прикрыты пластинками x на винтахъ y. Вмѣстѣ съ горизонтальною осью H трубы T

[1]) Съ 1908 года креста болѣе не дѣлаютъ и становой винтъ имѣетъ обычную форму—со спиральной пружиной, такъ какъ оказалось, что при перевозкѣ вся тяжесть инструмента ложится на подъемные винты, и винты сгибаются.

движется вертикальный кругъ W, снабженный двумя верньерами v' и v'', находящимися на свободной отъ круга алидадѣ, имѣющей микрометренное движеніе при помощи винта M''' со спиралью n'''. На алидадѣ насаженъ уровень UU. Труба снабжена дальномѣрными нитями и имѣетъ нажимательный винтъ N'' и микрометренный M''. Точность верньеровъ у лимба $= 1'$, у вертикальнаго круга доходитъ до $2'$. Инструментъ Θ. Швабе имѣетъ нѣсколько громоздкій видъ, и одновременно съ нимъ мы будемъ разсматривать теодолиты-тахеометры механика *Герляха* новѣйшей конструкціи, съ подставами трубы, состоящими изъ трехъ стержней, американскаго типа[1]) (черт. 196), также доставляемые нынѣ Межевому Вѣдомству, хотя и въ меньшемъ числѣ, чѣмъ теодолиты Θ. Швабе. (Теодолиты Герляха по цѣнѣ дороже теодолитовъ Швабе). Герляхъ первый устроилъ теодолитъ-тахеометръ по нашему указанію съ движущимся вмѣстѣ съ трубою вертикальнымъ кругомъ, напоминающимъ собою вертикальный кругъ кипрегеля Военно-Топографическаго Отдѣла Главнаго Штаба. (О кипрегеляхъ см. ниже главу о мензульной съемкѣ) съ подвижною алидадою, снабженною уровнемъ и особымъ отдѣльнымъ отъ трубы микрометреннымъ винтомъ.

Въ настоящее время къ сожалѣнію сравнительно мало данныхъ относительно сличенія достоинствъ изящныхъ инструментовъ съ тонкою отдѣлкою внѣшнихъ частей и съ сравнительно большею ясностію зрительныхъ трубъ Герляха съ инструментами фирмы Θ. Швабе, разсчитанными на прочность и приспособленными для перевозки ихъ землемѣрами по проселочнымъ дорогамъ, въ нерессорныхъ экипажахъ. Повѣрки этихъ теодолитовъ тѣ же, что и ранѣе описанныхъ: малыхъ (Бамберга Герляха), а также повторительныхъ и осложненныхъ по устройству.

§ 130. Повѣрки буссоли у теодолита. Въ буссоли, помѣщенной на теодолитѣ, необходимо повѣрить слѣдующія условія:

1) *отсутствіе въ инструментѣ желѣза,*

2) *вѣрность дѣленій кольца буссоли;*

3) *стрѣлка должна быть хорошо намагничена, шпиль достаточно остеръ и агатъ хорошо шлифованъ,*

4) *стрѣлка должна быть уравновѣшена,*

5) *шпиль долженъ находиться въ центрѣ кольца, т. е. стрѣлка не должна имѣть эксцентрицитета,*

6) *магнитная ось должна совпадать съ геометрической осью стрѣлки,*

7) *коллимаціонная плоскость трубы должна проходить черезъ нулевой діаметръ кольца стрѣлки для полученія ма-*

[1]) Устраняющими недостатокъ односторонней подставки журавля и оставляющими буссоль на алидадѣ возможно болѣе открытой.

гнитныхъ румбовъ или черезъ діаметръ, соотвѣтствующій склоненію стрѣлки, для полученія истинныхъ румбовъ.

Всѣ условія, за исключеніемъ послѣдняго, провѣряются такъ же, какъ и въ буссоли съ діоптрами. Повѣрка же послѣдняго условія зависитъ отъ того, гдѣ находится буссоль—подъ горизонтальной осью трубы или надъ нею. Въ первомъ случаѣ предполагаемъ, что труба переводится черезъ зенитъ окуляромъ и въ крышкѣ объектива, въ центрѣ ея круга, сдѣлана небольшая круглая дырочка. Надѣвъ крышку на объективъ и обернувъ окуляръ къ буссоли, будемъ смотрѣть черезъ отверстіе на объективѣ, тогда мы увидимъ при этомъ ясное, хотя и удаленное, изображеніе дѣленій кольца буссоли.

Вращая трубу и наклоняя плоскость кольца къ свѣту, можно убѣдиться въ томъ, что штрихи съ подписью 0^0 или 180^0 находятся *въ срединѣ* малаго поля зрѣнія трубы, въ противномъ случаѣ слѣдуетъ замѣтить величину коллимаціонной ошибки буссоли.

Если кольцо устроено такъ, что его можно повернуть исправительными винтами около вертикальной оси вращенія буссоли, то буссоль можно установить такимъ образомъ, что коллимаціонная плоскость трубы пройдетъ черезъ желаемый діаметръ.

Въ томъ случаѣ, когда буссоль находится надъ горизонтальной осью вращенія трубы и нельзя примѣнить вышеописаннаго пріема, направляютъ пересѣченіе нитей трубы на точку *отдаленнаго* предмета, снимаютъ крышку съ буссоли, протягиваютъ волосъ черезъ нулевой діаметръ кольца и смотрятъ, проходитъ ли волосъ черезъ ту же точку визируемаго въ трубу предмета. При невыполненіи этого условія, дѣлаютъ по стрѣлкѣ два отсчета: одинъ при наведеніи на точку отдаленнаго предмета трубы и другой—волоса нулевого діаметра, разность отсчетовъ даетъ коллимаціонную ошибку буссоли. За вѣрный отсчетъ принимаемъ второй.

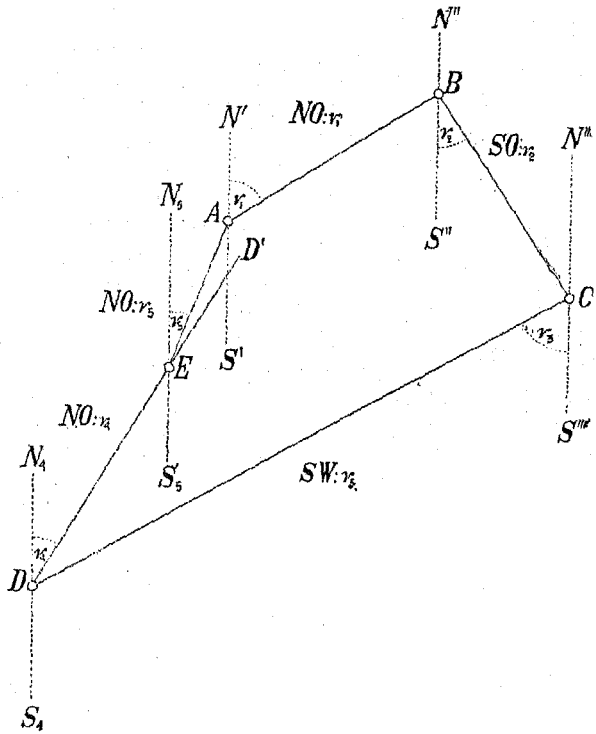
§ 131. Соотношеніе между румбическими и астролябическими углами. Пусть, напр., обойденъ полигонъ $ABCDEA$ (черт. 197) и въ геодезическомъ журналѣ и абрисѣ записаны румбы въ началѣ каждой линіи такъ, какъ они показаны на чертежѣ. Тогда углы, меньшіе 180^0, называемые *астролябическими* углами, можно при измѣреніи внутреннихъ угловъ полигона повѣрить по прочтеннымъ румбамъ. Повѣрка будетъ приближенная (грубая) до четверти градуса. Будемъ различать 4 случая.

1-й случай. Румбы линій AB и BC имѣютъ *послѣднія буквы* одинаковыя, напр. $NO : r_1$ и $SO : r_2$, тогда изъ чертежа видно, что уголъ $ABC = r_1 + r_2$ (ибо $ABS'' = r_1$), т. е. *астролябическій уголъ равенъ суммѣ румбическихъ угловъ.*

2-й случай: Румбы—SO и SW—линій BC и CD имѣютъ *первыя буквы одинаковыя*, астролябическій уголъ

$BCD = 180 - (r_2 + r_3)$, (ибо $r_2 = BCN'''$), т. е. *астролябическій уголъ равенъ 180° безъ суммы румбическихъ угловъ.*

3-й случай. Румбы — SW и NO — линій CD и DE имѣютъ *всѣ буквы разныя*, уголъ $CDE = r_3 - r_4$ (ибо $N_4DC = r_3$), т. е. *астролябическій уголъ равенъ разности румбическихъ угловъ.*



Черт. 197.

4-й случай: Румбы — NO и NO — линій DE и EA имѣютъ *всѣ буквы одинаковыя*, уголъ AED (влѣво по ходу лежащій) равенъ $180^0 - AED' = 180^0 - (r_4 - r_5)$, т. е. *астролябическій уголъ равенъ 180° безъ разности румбическихъ угловъ.*

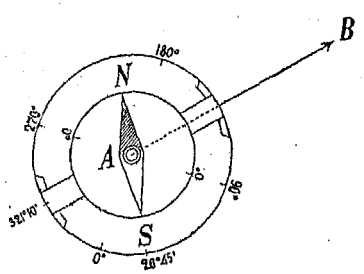
Разность $r_4 - r_5$ всегда должна быть положительна, въ противномъ случаѣ берутъ $r_5 - r_4$.

Примѣчаніе. Послѣ того, какъ вычислены азимуты по исправленнымъ внутреннимъ угламъ полигона и переведены на румбы, всегда слѣдуетъ повѣрить переводъ азимутовъ на румбы, примѣняя только что выведенное правило къ исправленнымъ астролябическимъ угламъ.

§ 132. Чтеніе азимута по лимбу угломѣрнаго инструмента. Будемъ различать два случая: 1) инструментъ имѣетъ непо-

движный лимбъ и 2) инструментъ имѣетъ повторительный лимбъ.

Въ первомъ случаѣ совмѣщаютъ *движеніемъ алидады по лимбу* концы стрѣлки съ нулевымъ діаметромъ буссоли, т. е. оріентируютъ нулевой діаметръ буссоли по магнитному меридіану и по лимбу дѣлаютъ первый отсчетъ, затѣмъ дѣлаютъ наведеніе визирнаго снаряда на тотъ предметъ, азимутъ котораго желаютъ знать, и дѣлаютъ второй отсчетъ по лимбу. Разность отсчетовъ, сдѣланныхъ по одному и тому же верньеру, въ томъ случаѣ, когда подпись дѣленій лимба идетъ по ходу часовой стрѣлки (теодолитъ) дастъ искомый азимутъ. Пусть, напримѣръ, при совмѣщеніи концовъ стрѣлки съ нулевымъ діаметромъ буссоли, по лимбу сдѣланъ отсчетъ 26°45′ (черт. 198), а при наведеніи на точку *B* по лимбу прочтено 321°10′. Направленіе подписи дѣленій пусть будетъ *противъ хода часовой стрѣлки*, тогда, составляя разность $26°45′ - 321°10′ = (360° + 26°45′) - 321°10′ = 65°35′$, получимъ азимутъ $NAB = (AB) = 65°35′$.



Черт. 198.

Во второмъ случаѣ, когда теодолитъ повторительный, можно поступать или по предыдущему, закрѣпивъ предварительно лимбъ, или слѣдующимъ образомъ: 1) устанавливаютъ нуль верньера точно на нуль лимба и закрѣпляютъ алидадный кругъ на лимбѣ нажимательнымъ винтомъ, достигая точной установки микрометреннымъ винтомъ алидады, 2) движеніемъ лимба оріентируютъ коллимаціонную плоскость визирнаго снаряда по меридіану (если по магнитному, то концы стрѣлки совмѣщаютъ съ нулевымъ діаметромъ буссоли, если же по истинному, то концы стрѣлки совмѣщаютъ съ подписью, соотвѣтствующею склоненію стрѣлки), 3) наводятъ движеніемъ алидады по лимбу коллимаціонную плоскость визирнаго снаряда на данный предметъ и 4) *непосредственно по лимбу* прочитываютъ азимутъ, если подпись дѣленій идетъ *по ходу часовой стрѣлки*. Въ случаѣ, когда дѣленія идутъ противъ хода часовой стрѣлки, отсчетъ по лимбу вычитаютъ изъ 360°.

§ **133. Буссольная съемка.** Къ разряду быстрыхъ съ небольшою точностью (получаемыхъ результатовъ) съемокъ можно отнести также и съемку буссолью. Ко всему ранѣе изложенному о буссоли, магнитной стрѣлкѣ, азимутахъ и румбахъ и примѣненіи буссоли къ съемкѣ, сдѣлаемъ лишь нѣкоторыя дополнительныя замѣчанія относительно примѣненія буссоли къ съемкѣ.

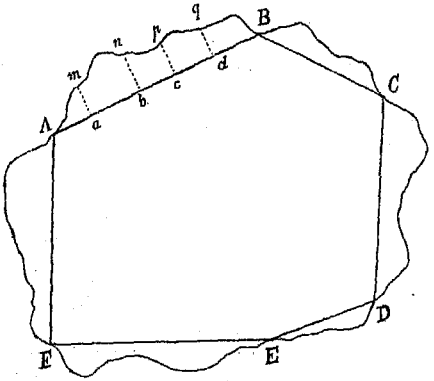
Такъ какъ опредѣленіе азимутовъ линій мѣстности по буссоли, вслѣдствіе суточнаго колебанія магнитной стрѣлки, не можетъ быть произведено съ точностью большею чѣмъ до $^1/_4{}^0$, то, при примѣненіи буссоли, вполнѣ достаточно было бы производить визированіе на точки мѣстности діоптрами: точность отсчитыванія соотвѣтствовала бы точности визированія. Тѣмъ болѣе имѣетъ значеніе это замѣчаніе, если имѣть въ виду, что *буссоль наиболѣе примѣнима для съемки полигоновъ съ большимъ числомъ короткихъ линій.* Дѣйствительно, если линіи коротки, то при визированіи 1) вполнѣ достаточно, да и болѣе удобно, довольствоваться діоптрами, 2) измѣряя азимуты (или румбы), т. е. углы между каждою изъ данныхъ линій мѣстности и *однимъ и тѣмъ же направленіемъ магнитнаго меридіана* (не измѣняющимся въ короткій промежутокъ времени съемки), мы, хотя и дѣлаемъ неизбѣжную погрѣшность въ измѣреніи этихъ угловъ, но погрѣшность, сдѣланная въ измѣреніи одного какого-либо азимута, не оказываетъ такого вреднаго вліянія на положеніе послѣдующихъ точекъ на планѣ, какъ такая же ошибка, сдѣланная теодолитомъ въ измѣреніи угла поворота между двумя данными линіями на мѣстности (см. дальше „преимущество наклад ки по румбамъ передъ накладкою по внутреннимъ угламъ"), особенно, когда число измѣренныхъ угловъ поворотовъ значительно. Однако въ тѣхъ случаяхъ, когда приходится вѣшить длинныя линіи (по узкимъ просѣкамъ въ лѣсу) или визировать вдоль линій съ большими углами наклоненія (напр., въ горахъ или п, и съемкѣ въ рудничныхъ шахтахъ), діоптры являются у е малопригоднымъ визирнымъ снарядомъ, и ихъ приходит я замѣнять зрительною трубою.

Очевидно, что буссолью, какъ угломѣрнымъ инструментомъ (по которому всякій уголъ опредѣляется разност ю азимутовъ его сторонъ) возможно рѣшать задачи и производить съемку, какъ и теодолитомъ. (О съемкѣ теодолитомъ см. слѣдующій §). При этомъ не надо упускать изъ вида, что точность измѣренія разстояній должна соотвѣтствовать точности t отсчитыванія отдѣльныхъ направленій. Если ее допустить равною для буссолей на штативахъ отъ $15'$ до $20'$, то соотвѣтственно этому точность измѣренія линій будетъ $\frac{1}{200}$, для ручныхъ буссолей при $t = 1^0$ она выйдетъ около $\frac{1}{60}$ [1]).

---

[1]) Дѣйствительно, положимъ, что нѣкоторая точка C опредѣляется съ базиса—гипонутезы AB—прямою засѣчкою, происходящею подъ угломъ въ 90^0. Пусть въ острыхъ углахъ A и B сдѣланы ошибки въ $\pm$ (15—20) минутъ. Послѣ этого сдѣлаемъ допущеніе, что стороны—катеты AC и BC промѣрены. Отъ ошибки въ измѣреніи угловъ точка C измѣняетъ свое положеніе: новое ея положеніе C' или C'' отодви-

Съемка полигона (многоугольника) буссолью можетъ быть произведена двояко: или становясь съ инструментомъ въ каждую вершину полигона, или *становясь черезъ вершину*. Въ первомъ случаѣ (черт. 7) измѣряютъ послѣдовательно азимуты (AB), (BC), ... (DE)



Черт. 7.

и (FA), а также длины всѣхъ сторонъ полигона цѣпью и ихъ углы наклоненія эклиметромъ, а во второмъ случаѣ, стоя въ точкѣ A измѣряютъ (AB) и (AF), въ точкѣ C опредѣляютъ (CB) и (CD) и въ точкѣ E—азимуты (ED) и (EF) и, какъ въ первомъ случаѣ, опредѣляютъ мѣру линій и углы наклона всѣхъ сторонъ полигона, но только вмѣсто прямыхъ азимутовъ (FA), (BC) и (DE) измѣряютъ обратные (AF), (CB) и (ED).

Вмѣсто азимутовъ, конечно, можно отсчитывать румбы сторонъ полигона.

Составленіе плана, снятаго буссолью, производится согласно указаній, сдѣланныхъ нами нѣсколько ниже.

Горизонтальная съемка угломѣрнымъ инструментомъ.

§ 134. Четыре основныхъ способа съемки. Съемка *отдѣльныхъ контуровъ* угломѣрнымъ инструментомъ производится слѣдующими четырьмя пріемами: 1) *обходомъ* по границамъ контура съ измѣреніемъ: а) длины прямыхъ, составляющихъ границу прямолинейнаго контура и ихъ угловъ наклона къ горизонту, и б) горизонтальныхъ угловъ между линіями,

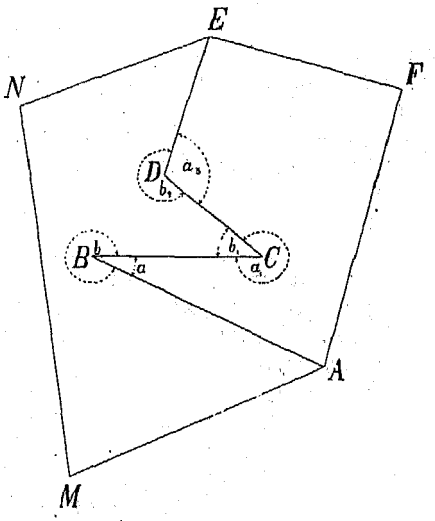
---

нется отъ дѣйствительнаго C, смотря по знаку ошибокъ въ углахъ, въ ту или другую сторону на величину CC' или CC''. Если допустимъ теперь, что точка C опредѣлена промѣрами отъ A и B, то ошибки въ длинахъ AC и BC также не должны превышать той же величины CC' или CC''. Изъ треугольника $CC'A$, въ которомъ уголъ $CAC' = 15' - 20'$, имѣемъ $CC' = AC \cdot tg\ CAC'$; откуда по малости угла CAC' найдемъ $\frac{CC'}{AC} = tg\ CAC' = CAC' \cdot Sin\ 1'$.

Если $CAC' = 15' - 20'$, то точность измѣренія линіи AC, т. е. ея относительная ошибка $CC' : AC$ будетъ $= \pm (15' - 20') \cdot \frac{1}{3438}$, т. е. около $\frac{1}{200}$. При $CAC' = 1^0$, найдемъ $\frac{CC'}{AC} = tg\ 1^0 =$ около $\frac{1}{60}$.

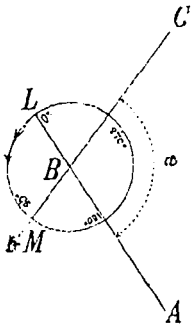
составляющими границу, 2) *полярнымъ способомъ*, при которомъ точки контура опредѣляются разстояніями до центральной точки контура, называемой *полюсомъ*, и углами между радіальными прямыми, идущими отъ полюса къ точкамъ контура, 3) *промѣрами съ вѣхи на вѣху* отъ одной данной точки до другой или *способомъ примѣра створовъ двухъ вѣхъ* и 4) *способомъ засѣчекъ*, при которомъ каждая точка контура опредѣляется по двумъ заранѣе даннымъ точкамъ, какъ вершина треугольника, образованнаго данною стороною и двумя измѣряемыми въ треугольникѣ углами.

§ **135. Способъ обхода.** При измѣреніи угловъ ломаной линіи *ABCD*.... (черт. 199) теодолитомъ можно различать два рода угловъ: одни a, a_1, a_2,... и другіе b, b_1, b_2,...., дополняющіе первые до 360°. Если представимъ себѣ наблюдателя двигающимся отъ точки *A* къ точкѣ *E* лицомъ впередъ, то углы *a* будутъ *вправо по ходу* лежащіе, а углы *b* *влѣво по ходу* лежащіе. Для сомкнутаго полигона *ABCDEFA* тѣ же углы *a* будутъ внутренними, а углы *b*—внѣшними. Для смежнаго же сомкнутаго полигона *AMNEDCBA* углы *b* являются внутренними. Такимъ образомъ видимъ, что при измѣреніи угловъ слѣдуетъ различать, — какой уголъ въ каждой вершинѣ полигона (*сомкнутаго или* несомкнутаго) мы желаемъ измѣрить — вправо или влѣво *по ходу* лежащій. *Условимся мѣрить углы вправо по ходу лежащіе*, при этомъ, идя по сомкнутому полигону, будемъ предполагать, 1) что самый полигонъ всею своею площадью находится *вправо отъ наблюдателя*, двигающагося лицомъ впередъ по границѣ полигона, 2) наблюдатель, установившій инструментъ въ вершинѣ измѣряемаго угла, обернутъ лицомъ во внутрь даннаго угла.



Черт. 199.

Передъ измѣреніемъ угла прежде всего нужно обратить вниманіе на направленіе подписи дѣленій. Если подпись дѣленій идетъ *справа налѣво*, т. е. противъ хода часовой стрѣлки, то сперва трубу направляютъ на правый предметъ *A (задній по ходу)* (черт. 200), а затѣмъ, сдѣлавъ по верньерамъ отсчеты, наводятъ трубу на *C лѣвый* (пе-



Черт. 200.

редній по ходу) предметъ. Разность 2-го и 1-го отсчетовъ по лимбу выразитъ величину угла *LBM*, т. е. *равнаго вертикальнаго* искомому углу *a*.

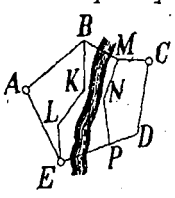
Производя по верньеру отсчетъ, мы предполагаемъ, что инструментъ центрированъ и лимбъ его приведенъ въ горизонтальное положеніе, алидада вращается въ центрѣ лимба и что коллимаціонная плоскость трубы проходитъ черезъ центръ лимба.

Само собою разумѣется, что уголъ $b = 360 - a$ получится на лимбѣ, если *при тѣхъ же условіяхъ* наведемъ трубу сперва впередъ, а потомъ назадъ, или изъ 1-го отсчета вычтемъ 2-ой отсчетъ.

Въ теодолитахъ преимущественно можно встрѣтить подпись дѣленій лимба, идущею *слѣва направо* (по ходу часовой стрѣлки), тогда для полученія угла вправо по ходу лежащаго слѣдуетъ трубу сперва направлять на лѣвый предметъ, а затѣмъ—на правый, и изъ второго отсчета вычесть первый, тогда разность отсчетовъ на лимбѣ выразитъ искомый вправо по ходу лежащій уголъ или, что тоже самое, сперва направиться на задній по ходу предметъ и сдѣлать 1-й отсчетъ, потомъ—на передній предметъ и произвести второй отсчетъ, и на конецъ изъ 1-го отсчета вычесть 2-ой.

Для устраненія вліянія эксцентрицитета алидады на отсчетъ слѣдуетъ послѣ каждаго наведенія трубы дѣлать по лимбу два отсчета по двумъ діаметрально противоположнымъ верньерамъ, причемъ по первому верньеру, напр., при окулярѣ, дѣлается *полный* отсчетъ числа градусовъ и минутъ, а по діаметрально противоположному верньеру прочитываются только однѣ минуты. Отсчетъ, освобожденный отъ вліянія эксцентрицитета, равенъ числу градусовъ, взятыхъ съ перваго верньера и числу минутъ, составленному изъ полусуммы отсчетовъ по обоимъ верньерамъ.

Въ замкнутомъ полигонѣ измѣряются послѣдовательно одинъ за другимъ углы *A*, *B*, *M*, *C*, *D*, *E* (черт. 201), для чего *предварительно передъ измѣреніемъ*, вершины угловъ замѣчаются небольшими кольями, надъ которыми и центрируется теодолитъ при помощи нити съ отвѣсомъ. За измѣреніемъ угловъ, слѣдуетъ измѣреніе сторонъ *AB*, *BM*, *MC*, *CD*, *DE*, и *EA* стальною лентою и угловъ ихъ наклоненія къ горизонту.



Черт. 201.

Если бы часть границы участка состояла изъ *короткихъ линій BM* и *MC* (черт. 201), то на мѣстности ломанную линію *BMC*

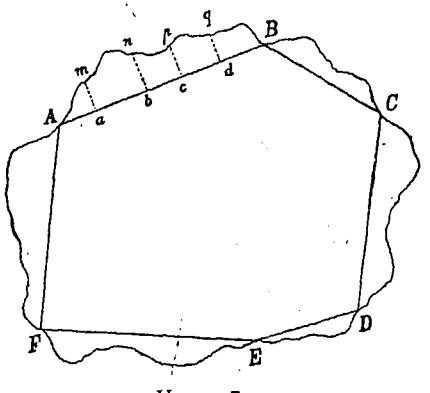
замѣняютъ сперва одной магистралью BC, измѣряя углы ABC и BCD и длину BC магистрали, а затѣмъ уже, промѣряютъ короткія линіи BM и MC и образуемые ими углы BMC, а также углы CBM и MCB—съ магистралью. При построеніи плана сперва строятъ фигуру $ABCDE$, а затѣмъ уже послѣ увязки общей фигуры, накладываютъ относительно концовъ B и C магистрали короткія линіи BM и MC.

Если между точками M и P участокъ приметъ съуженную форму, то слѣдуетъ для провѣрки работъ прокладывать такъ называемую *повѣрочную діагональ* MNP отъ точки M до точки P, т. е. измѣрять углы M, N и P и прямыя MN и NP.

Съемка криволинейнаго контура ведется методомъ координатъ, см. § 6 (черт. 7).

При измѣреніи горизонтальныхъ угловъ ведется геодезическій журналъ, а при измѣреніи прямыхъ лентою и съемкѣ точекъ криволинейныхъ границъ способомъ координатъ, ведется въ полѣ отъ руки, съ указаніемъ сдѣланныхъ промѣровъ, чертежъ, называемый *абрисомъ*.

Прямыя AB, BC,.... (черт. 7), относительно которыхъ снимаются точки кривыхъ линій, (лежащихъ вблизи промѣряемыхъ цѣпью прямыхъ) называются иногда *магистралями*. Магистраль промѣряется отъ начальной точки цѣпью или лентой, причемъ на абрисѣ записываются длины отъ ея начала, т. е. длины Aa, Ab, Ac, Ad и AB, возставленные же къ магистрали перпендикуляры am, bn, cp, dq (черт. 7) мѣряются рулеткою, и длина ихъ помѣчается на абрисѣ у точекъ m, n, p, q... Запись промѣровъ дѣлается перпендикулярно къ направленію промѣряемой линіи.

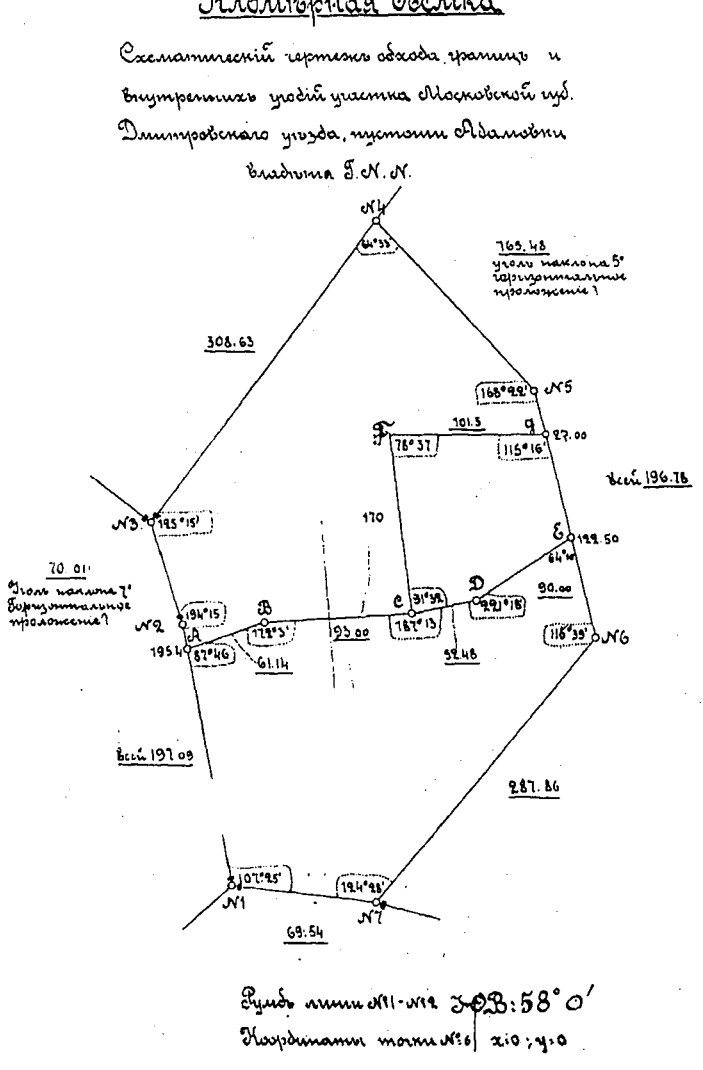


Черт. 7.

Примѣчаніе. Необходимость вести промѣры по магистрали AB отъ начала A и записывать ихъ въ видѣ: $Aa = 15{,}83$ саж., $Ab = 24{,}19$ саж., $Ac = 48{,}44$ саж., $Ad = 78{,}85$ саж. и $AB = 108{,}67$ саж., а не частями Aa, ab, bc,... дѣлается во избѣжаніе накопленія погрѣшностей при построеніи плана снятаго контура, дабы положеніе послѣдующихъ точекъ не зависѣло отъ предшествующихъ, а лишь отъ начальной точки A (см. стр. 190).

Если внутри полигона идетъ дорога или протекаетъ рѣка, то одинъ изъ береговъ можетъ быть снятъ на планъ *способомъ обхода*, т. е. вдоль его отъ точки B (черт. 202) полигона прокладываютъ *несомкнутый полигонъ* $BKLE$ и

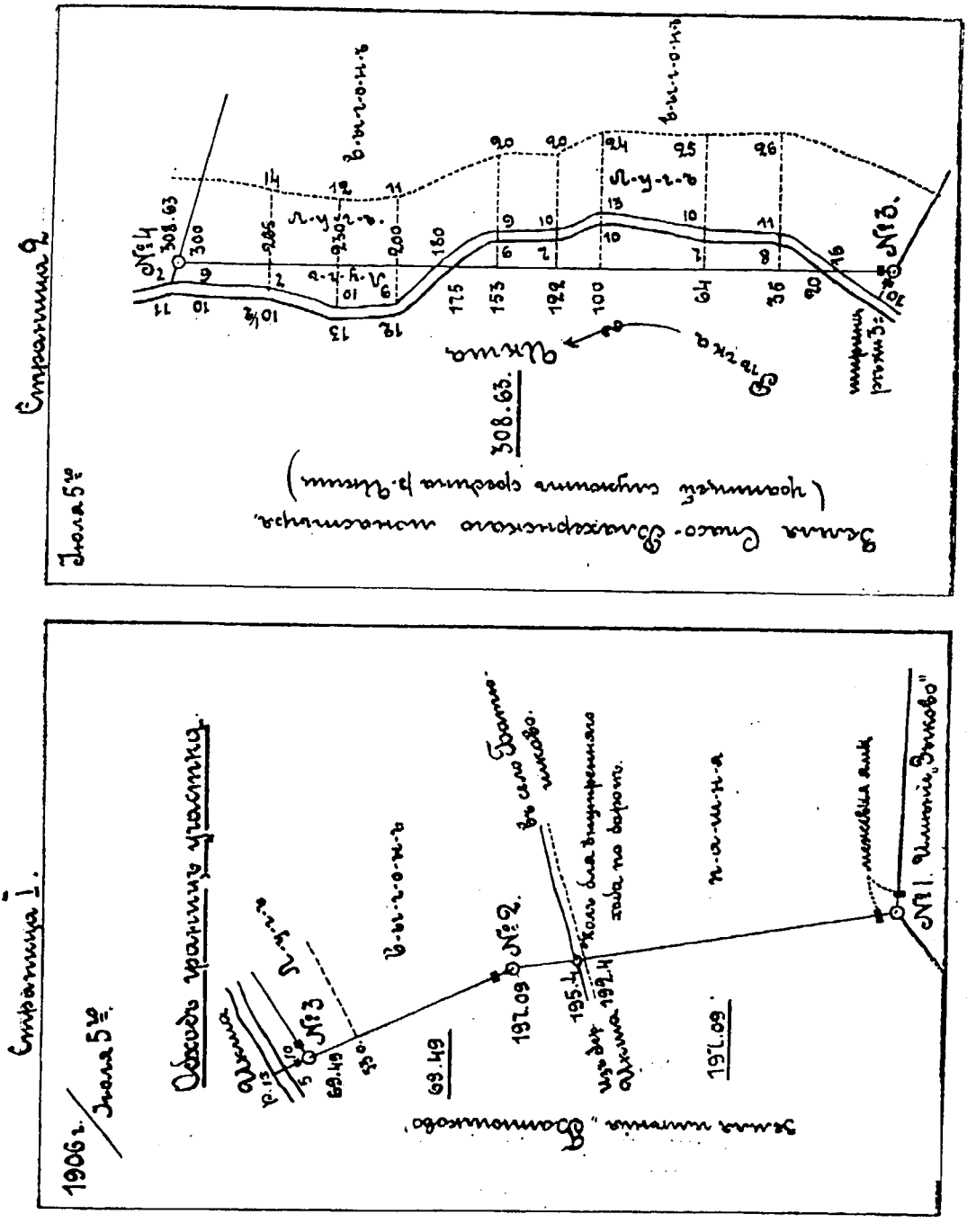
въ немъ измѣряютъ углы B, K, L и E, а также длины сторонъ BK, KL и LE и углы ихъ наклона. Углы ABK и LEA, связывающіе полигонъ $BKLE$ съ общею границею участка, называются *прилычными* углами. Несомкнутый по-



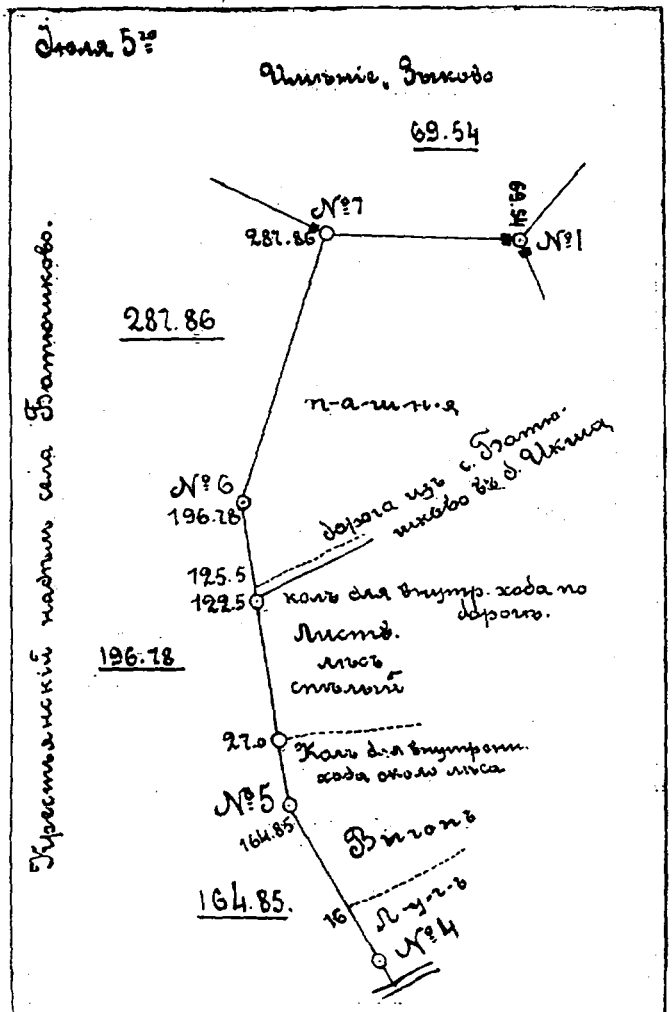
Черт. 202.

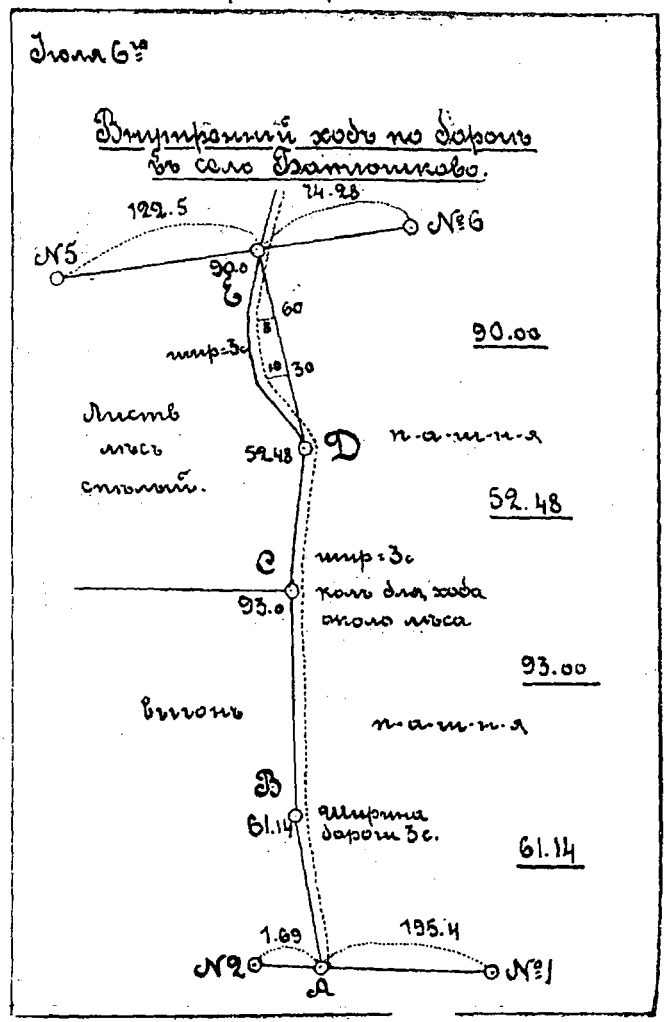
лигонъ для съемки подробностей внутри окружной границы участка $ABMCDEA$ (или, какъ говорятъ, для съемки внутренней ситуаціи) можетъ начинаться и кончаться не только у вершинъ полигона, напр. B и E, а и у любыхъ точекъ прямыхъ, какъ напр. полигонъ MNP идетъ отъ

Абрисная книжка.

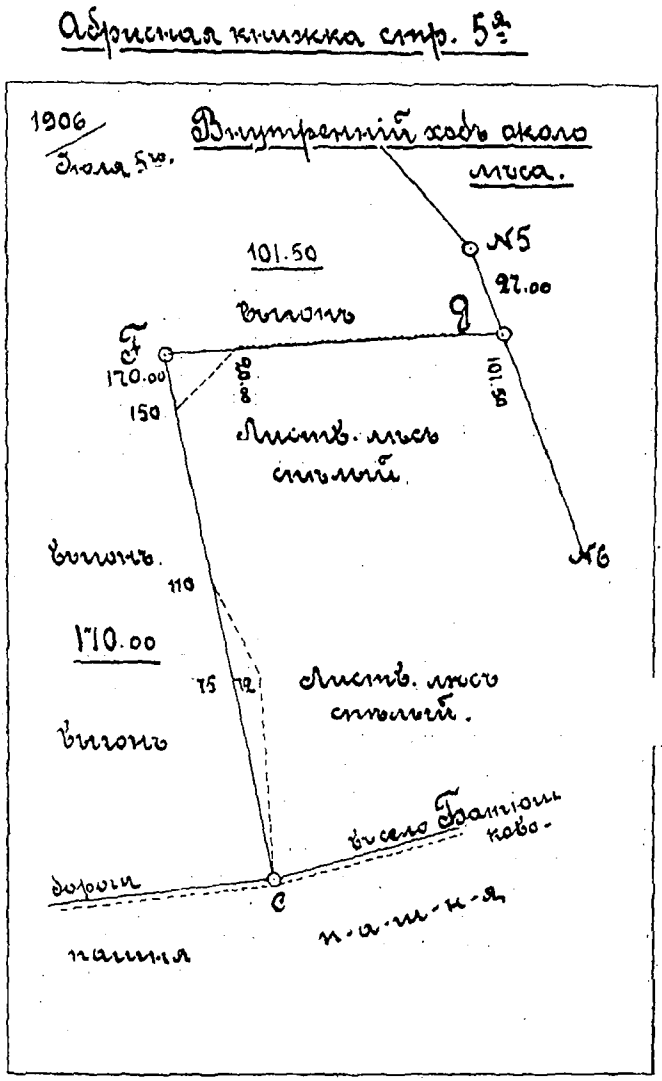


Черт. 3203.


Дюля 5-я
Ильинка, Зыково
69.54
№7
287.86
№1
287.86
п-а-ш-н-я
№6
196.78
дорога из с. Ватто-никово в д. Икша
125.5
122.5
конь для внутр. хода по дорогу.
Лист. лесъ смѣшан.
196.78
27.0
Конь для внутрен. хода около леса
№5
164.85
Виноградъ
164.85.
16
Л-у-г-ъ
№4
Крестьянскія пашни села Ватлинкова.


Дюля 6-я
Внутренній ходъ по дорогѣ во село Ватлинково.
122.5
74.28
№5
№6
90.0
С
60
5
90.00
шир=3с
10
30
Листъ лесъ смѣшан.
D
п-а-ш-н-я
52.48
52.48
С
шир=3с
93.0
конь для хода около леса
93.00
93.00
Виноградъ
п-а-ш-н-я
В
61.14
ширина дороги 3с.
61.14
1.69
195.4
№2
А
№1

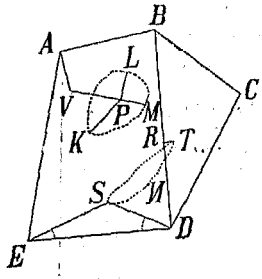
точки M до точки P прямыхъ MC и ED, но тогда необходимо промѣрить цѣпью разстоянія CM и DP отъ этихъ точекъ до ближайшихъ вершинъ C и D. Прокладывая ломаную MNP для съемки другого берега, нужно помимо



Черт. 206.

угловъ M, N и P измѣрить линіи CM, MN, NP и PD. Все только что описанное иллюстрируютъ чертежи 202, 203, 204 и 205, 206, которыми мы воспользуемся при составленіи плана снятой мѣстности.

§ 136. Полярный способъ съемки. Если внутри контура *ABCDEA* (черт. 207) лежитъ другой открытый сомкнутый криволинейный контуръ *KLM*, напр. лужайка среди лѣса, то его снимаютъ *полярнымъ способомъ*. Въ этомъ случаѣ идутъ отъ точки *A* до средины контура *P* прямой или ломаной *AVP*, измѣряютъ углы *BAV*, *AVP* и стороны *AV* и *VP*. Придя въ точку *P*, называемую *полюсомъ*, намѣчаютъ на контурѣ (помимо точки *V*) еще рядъ точекъ, *L*, *M*,.... *K* такъ, чтобы части *LM*, *MK*,.... всей границы контура можно было принять за прямыя линіи. Послѣ этого и мѣряютъ углы *VPL*, *VPM*,.... *VPK*, а также и разстоянія *PL*, *PM*,.... *PK*.



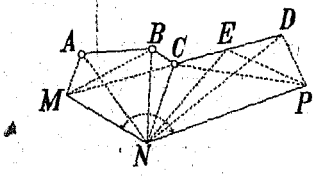
Черт. 207.

Способъ этотъ особенно удобенъ, когда имѣется дальномѣръ, дающій величины разстояній безъ непосредственнаго ихъ измѣренія.

§ 137. Способъ засѣчекъ. Точка *S* контура *SRTN* можетъ быть опредѣлена *засѣчкою*, т. е. построена на планѣ пересѣченіемъ двухъ прямыхъ *ES* и *DS*, если при извѣстномъ по длинѣ *базисѣ ED* измѣримъ еще два угла *E* и *D* (черт. 207) и построимъ треугольникъ *DES* по сторонѣ *ED* и двумъ угламъ *E* и *D*, прилегающимъ къ ней. Такая засѣчка называется *прямою* или *засѣчкою впередъ*. Способъ же, когда кромѣ базиса *DE* измѣрены углы *D* и *S*, или *E* и *S* (одинъ въ данной точкѣ, а другой—въ опредѣляемой) *называется обратною засѣчкою*, т. е. такой, при которой искомая точка *S* опредѣляется измѣреннымъ *въ ней* угломъ *DSE*. Эту засѣчку называютъ также „*засѣчкою назадъ*“.

Подобнымъ же образомъ и точка *T* (черт. 207) могла бы быть опредѣлена съ базиса *SP*, если бы ничто не мѣшало смѣрить углы *SPT* и *STP*.

Способомъ засѣчекъ обыкновенно снимаются недоступные контуры, какъ напр. противоположный берегъ рѣки, урѣзъ оврага и т. п., причемъ вмѣсто одного базиса берутъ иногда нѣсколько, связывая ихъ между собою углами. Пусть, напр., нужно снять кривую (черт. 208) *ABCED* *способомъ засѣчекъ впередъ*. Для того, чтобы *засѣчка не происходила подъ очень острымъ или очень тупымъ угломъ*, а именно не менѣе 30^0 и не болѣе 150^0, выбираютъ ломаный базисъ *MNP*, и относительно *MN* снимаютъ часть *ABC*, а затѣмъ, опредѣливъ уголъ *MNP*, относительно прямой *NP* снимаютъ часть *CED*.

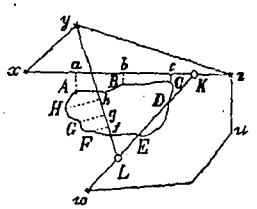


Черт. 208.

Существенное различіе способа засѣчки впередъ отъ способа засѣчки назадъ состоитъ въ томъ, что способомъ

засѣчекъ впередъ съ двухъ данныхъ точекъ *M* и *N* (съ базиса), можно снять двумя постановками инструмента (въ *M* и *N*) весьма большое число точекъ недоступнаго контура послѣдовательнымъ визированіемъ, напр. изъ точки *M* на *A*, *B*, *C*...., а затѣмъ изъ точки *N* — на *C*, *B*, *A*...., обратною же засѣчкою можно съ двухъ данныхъ точекъ также двумя постановками инструмента снять только одну опредѣляемую точку.

§ 138. **Способъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху.** Способъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху характеренъ тѣмъ, что при немъ *не* употребляется угломѣрный инструментъ, а только одна цѣпь (или лента). Такъ, напримѣръ, точки *И* и *Т* контура *STИ* (черт. 207) можно снять *промѣромъ съ вѣхи B на вѣху D*. Положеніе точекъ *B* и *D* должно быть при этомъ уже извѣстно, напримѣръ, изъ съемки обходомъ контура *ABCDE*. Промѣряя линію *BD*, точки *T* и *И* снимаютъ — первую абсциссою *BR* и ординатою (перпендикуляромъ) *RT*, а вторую одною абсциссою *BИ*. Если кромѣ разстояній *BR* и *BИ* измѣрена также часть *ИD*, т. е. весь створъ *BD*, то этотъ способъ называютъ *способомъ створовъ*. На планѣ точка *R* наносится отъ точки *B* и отъ точки *D*. За истинное положеніе точки *R* считаютъ среднее изъ двухъ нанесенныхъ. Способомъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху также можно снять цѣлый контуръ въ открытой мѣстности. Если на мѣстности опредѣлено взаимное положеніе точекъ *x*, *y*, *z*, *u*, *w* (черт. 209), и изъ одной точки видна другая, то съемка контура *ABCDEFGHA* ведется такъ: на мѣстности вѣшатъ линію *xz* и относительно нея координатами снимаютъ часть *ABC* контура. Промѣръ по линіи *xz* ведутъ до точки *K* и въ ней сворачиваютъ по направленію на точку *w*. Идя по линіи *Kw*, опредѣляютъ относительно нея часть контура *CDE*. Дойдя до точки *L*, изъ которой видна вѣха *y*, провѣшиваютъ линію *Ly* и относительно нея снимаютъ часть контура *FGHA*. Дома, на планѣ, конечно, сперва наносятъ линіи, опредѣляющія точки *x*, *y*, *z*, *w*, а потомъ ходовыя линіи *xK*, *KL*, *Lh*, а по нимъ накладываютъ на бумагу отдѣльныя точки *A*, *B*.... *H* по измѣреннымъ въ полѣ координатамъ.

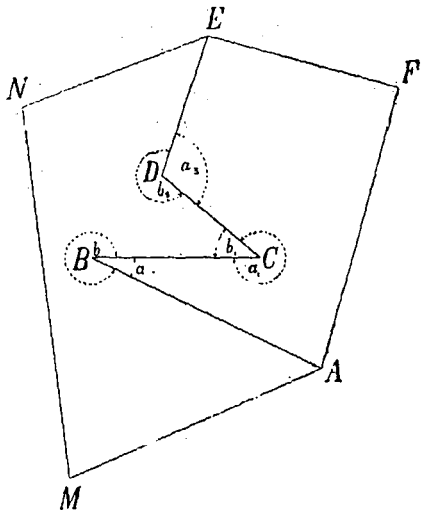


Черт. 209.

§ 139. **Обходъ границъ участка угломѣрнымъ инструментомъ съ буссолью.** Порядокъ работъ при способѣ обхода границъ участка угломѣрнымъ инструментомъ съ буссолью нѣсколько отличается отъ ранѣе описаннаго въ § 135.

Придя въ начальную точку *A* (черт. 210) контура, выставляютъ переднюю вѣху *B* въ точкѣ *A*, забивъ въ землю деревянный колъ, центрируютъ инструментъ и приводятъ лимбъ въ горизонтальное положеніе, отпустивъ отъ стекла крышки буссоли приподнятую стрѣлку на шпиль и давъ ей

время успокоиться, прочитываютъ румбъ линіи *AB*, который и записывается въ особой графѣ *геодезическаго журнала*. Послѣ этого снимаютъ инструментъ съ пункта *A* и закрѣпивъ стрѣлку, поручаютъ рабочему перенести его на пунктъ *B*. Въ то же время отъ замѣченной деревяннымъ колышкомъ точки *A* на землѣ ведутъ измѣреніе длины линіи *AB*, записывая попутно углы ея наклоненія. Протягивая цѣпь (или ленту) вдоль линіи *AB*, ведутъ способомъ координатъ съемку контуровъ, лежащихъ вблизи линіи *AB* и заносятъ всѣ промѣры на чертежѣ, сдѣланномъ отъ руки или, какъ принято выражаться „*ведутъ абрисъ*“ по линіи *AB*. Всѣ абсциссы записываются по ихъ длинѣ отъ начальной точки *A*. Придя въ точку *B* и записавъ *мѣру линіи AB*, устанавливаютъ инструментъ въ точкѣ *B*, выставляютъ вѣху въ точку *C*, измѣряютъ румбъ линіи *BC* и внутренній уголъ *ABC* (который можетъ быть и астролябическимъ или же дополнять его до 360°) свѣряютъ *астролябическій уголъ съ вычисленнымъ по измѣреннымъ румбамъ линій AB и BC* (см. § 131), замѣчаютъ коломъ точку *B* и измѣряютъ линію *BC*. Придя на пунктъ *C*, повторяютъ на немъ въ томъ же порядкѣ всѣ дѣйствія, что и на пунктѣ *B*, т. е. выставляютъ переднюю вѣху *D*, измѣряютъ румбъ линіи *CD* и внутренній уголъ *BCD*, свѣряютъ уголъ *BCD* по румбамъ линій *BC* и *CD*; въ случаѣ несогласія[1]) провѣряютъ отсчеты на лимбѣ и по стрѣлкѣ, при чемъ румбъ линіи *BC* провѣрится по ея обратному румбу (*CB*) линіи *CB*, замѣчаютъ точку *C* и продолжаютъ съемку, пока не промѣряютъ линію *FA*; измѣреступаютъ къ измѣренію линіи *CD*. Такимъ образомъ проніемъ внутренняго угла *FAB* въ начальной точкѣ *A* заканчивается полевая работа обхода полигона *ABCDEFA*[2]).



Черт. 210.

[1]) Превосходящаго $\frac{3}{4}$.

[2]) Этотъ уголъ можно измѣрить и при началѣ работы, если точка *F* дана.

Если точки *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* окружной границы ранѣе обхода съ инструментомъ были замѣчены (колышками, столбами, кампями и т. п.), то, разумѣется, въ каждой точкѣ *B* дѣлается не только приведеніе лимба въ горизонтальное положеніе, но и центрировка.

§ 140. Опредѣленіе склоненія магнитной стрѣлки. Если въ одной мѣстности работа производится нѣсколькими инструментами, имѣющими буссоли, то необходимо, для сводки отдѣльныхъ работъ въ общую, сличать показанія различныхъ буссолей. Съ этою цѣлію измѣряютъ одинъ и тотъ же заранѣе извѣстный азимутъ какой-либо линіи мѣстности различными буссолями и опредѣляютъ поправки показаній стрѣлокъ. Такое сравненіе рекомендуется дѣлать передъ началомъ и послѣ конца работъ.

Сверхъ того, если желаютъ отнести всѣ стороны снимаемаго полигона къ истинному меридіану, то для перечисленія магнитныхъ азимутовъ (или румбовъ) на истинные необходимо узнать склоненіе магнитной стрѣлки. Склоненіе стрѣлки получится, если въ данной точкѣ на земной поверхности будетъ извѣстно или *направленіе географическаго меридіана,* или *истинный азимутъ какой-либо линіи* проходящей черезъ данную точку, такъ какъ въ той же точкѣ мѣстности возможно установить буссоль и направить коллимаціонную плоскость ея визирнаго снаряда или по истинному меридіану, или по той линіи, истинный азимутъ которой извѣстенъ.

Въ первомъ случаѣ склоненіе стрѣлки опредѣлится непосредственно отсчетомъ по сѣверному концу стрѣлки, а во второмъ оно найдется какъ разность между даннымъ истиннымъ азимутомъ и прочитаннымъ по стрѣлкѣ буссоли магнитнымъ азимутомъ (или румбомъ).

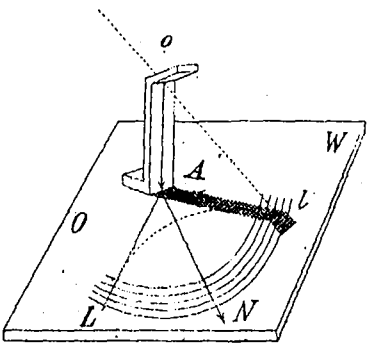
Существуетъ нѣсколько способовъ опредѣленія направленія географическаго меридіана. Мы сперва укажемъ на простѣйшій, хотя и менѣе точный, а затѣмъ выясним болѣе точный пріемъ.

Для обычныхъ съемокъ небольшихъ участковъ земной поверхности достаточно опредѣлить направленіе полуденной линіи *графически* съ помощію тѣни, падающей отъ вертикальнаго стержня или такъ называемаго *гномона* (черт. 211). На открытой мѣстности утромъ, часовъ въ 8 устанавливаютъ горизонтально по вывѣренному уровню доску (черт. 212) съ наклееннымъ на нее бѣлымъ листомъ планной бумаги; близъ края доски намѣчаютъ точку A, въ которую точно должна придтись мѣтка $\overline{\downarrow}$ вертикальной линіи установленнаго въ ней гномона (напримѣръ остріе плоскаго отвѣса, укрѣпленнаго въ дырочкѣ o (черт. 212) верхней пластинки гномона); изъ точки A, какъ изъ центра, по бумагѣ описываютъ рядъ концентрическихъ окружностей, доску съ гномономъ устанавливаютъ такъ, чтобы край доски съ точкой A (гномономъ) былъ повернутъ къ югу, а падающая отъ гномона тѣнь ложилась на прочерченныя къ сѣверу N дуги. Такъ какъ плоскость истиннаго меридіана дѣлитъ дуги видимаго суточнаго движенія звѣздъ надъ горизонтомъ на

двѣ равныя и симметричныя части, то, допуская съ небольшою погрѣшностію то же самое и для солнца, можно утверждать, что *гномонъ* (въ предположеніи, что солнце движется въ теченіи дня равномѣрно) *въ моменты, равноотстоящіе отъ полдня* (до его наступленія, а также послѣ его наступленія, напримѣръ въ 8 часовъ утра и въ 4 часа дня), *будетъ отбрасывать на бумагу тѣни, симметрично расположенныя относительно полуденной линіи*. Солнце въ эти моменты будетъ находиться хотя и въ различныхъ частяхъ неба, но на одной и той же высотѣ.



Черт. 211.



Черт. 212.

Солнечный лучъ, проходящій черезъ отверстіе *o* (черт. 212) гномона, будетъ оставлять свѣтлое пятно *l* въ отброшенной имъ тѣни, а потому, отмѣчая послѣдовательно уколомъ острія тонко очиненнаго карандаша центръ этого пятна на проведенныхъ окружностяхъ и обчерчивая кружечками уколы, легко получить на бумагѣ (пунктирную) кривую *lL*, соотвѣтствующую ходу солнечнаго луча за время наблюденій. Чѣмъ выше будетъ подниматься солнце, тѣмъ ближе уколъ ляжетъ къ основанію гномона. Если *Al* и *AL* суть горизонтальныя проекціи двухъ вертикальныхъ плоскостей, симметрично расположенныхъ—къ западу—*W* и востоку—*O* относительно плоскости меридіана, въ которыхъ находилось солнце на равныхъ высотахъ до и послѣ полудня, напр. въ 8 часовъ утра и 4 часа дня, то понятно, что линія *AN*, дѣлящая уголъ *lAL* пополамъ, есть горизонтальная проекція плоскости меридіана, т. е. полуденная линія.

Если на описанныхъ окружностяхъ будетъ замѣчена не одна пара *l* и *L* симметричныхъ точекъ, а (какъ это всегда дѣлается) три-четыре пары, то и угловъ, въ родѣ *lAL*, получится нѣсколько. Всѣ ихъ равнодѣлящія должны были бы сливаться съ *AN*. На самомъ же дѣлѣ этого не

произойдетъ, а потому изъ цѣлаго ряда направленій для AN выбирается одно,—нѣкоторое среднее. По линіи AN втыкаютъ (по вывѣренному треугольнику) отвѣсно двѣ иглы и по нимъ выставляютъ въ обѣ стороны по вѣхѣ; выставленныя вѣхи и дадутъ на мѣстности направленіе истиннаго меридіана.

Болѣе точный пріемъ опредѣленія направленія истиннаго меридіана даннаго мѣста на земной поверхности основанъ на наблюденіи угломѣрнымъ инструментомъ, снабженнымъ вертикальнымъ кругомъ и уровнемъ на горизонтальной оси, избранной на небѣ звѣзды или солнца, *на одинаковыхъ соотвѣтственныхъ высотахъ* надъ горизонтомъ, до и послѣ прохожденія свѣтила черезъ меридіанъ даннаго мѣста. Съ этою цѣлію до наступленія момента кульминаціи свѣтила черезъ меридіанъ мѣста, приблизительно часа за 4, устанавливается въ данной точкѣ хорошо вывѣренный теодолитъ, лимбъ котораго приводятъ въ горизонтальное (а вертикальный кругъ въ отвѣсное) положеніе, наводятъ пересѣченіе нитей на небесное свѣтило (звѣзду или солнце, въ послѣднемъ случаѣ на окуляръ надѣваютъ призму и цвѣтное темное стекло, чтобы не обжечь глаза) и дѣлаютъ отсчетъ a_1 по лимбу, закрѣпивъ предварительно нажимательный винтъ трубы. *Удерживая трубу на той же высотѣ*, послѣ кульминаціи свѣтила (также спустя 4 часа послѣ нея) улавливаютъ вновь свѣтило на нити трубы и дѣлаютъ по лимбу второй отсчетъ a_2. Полусумма $\frac{1}{2}(a_1 + a_2) = a_0$ дастъ на лимбѣ отсчетъ, установивъ на который верньеръ, придадимъ коллимаціонной плоскости трубы направленіе меридіана, а отсчетъ по магнитной стрѣлкѣ выразитъ склоненіе стрѣлки. Обыкновенно число парныхъ наблюденій до и послѣ полудня берутъ не одну (за 4 часа), а нѣсколько: двѣ, три, на случай, если бы тучи покрыли свѣтило и лишили наблюдателя возможности имѣть соотвѣтственное по высотѣ и времени парное положеніе свѣтила.

§ 141. О съемкѣ контуровъ въ общей связи. Излагая 4 основныхъ пріема съемки, мы отчасти указали, что, напр., полярнымъ способомъ производится съемка открытыхъ контуровъ, лежащихъ внутри другихъ (съемка полянъ внутри лѣса), что способъ обхода болѣе примѣнимъ для съемки закрытыхъ контуровъ, а также извилистыхъ, узкихъ и длинныхъ контуровъ (береговъ рѣкъ, дорогъ, ручьевъ и т. п.), что прямой засѣчкой снимаются точки малодоступныя (урѣзъ оврага, противоположный берегъ рѣки), что способъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху исключительно удобенъ въ открытой мѣстности. Тамъ же было указано, что полюсъ контура долженъ быть связанъ съ границею того участка, внутри котораго лежитъ контуръ, снимаемый полярнымъ спосо-

бомъ, что *несомкнутый полигонъ* связывается съ ранѣе проложеннымъ сомкнутымъ, но о производствѣ съемки большого участка *земной поверхности*, представляющаго совокупность нѣсколькихъ контуровъ, мы ничего не упоминали. Само собой разумѣется, что при съемкѣ большихъ раіоновъ, сообразно съ мѣстными условіями, приходится примѣнять всѣ описанные четыре пріема, комбинируя ихъ одинъ за другимъ. Такая комбинація дѣлается съ разсчетомъ о наименьшей затратѣ времени на полевыя работы, а также и сообразуются съ тѣмъ, чтобы она давала на планѣ взаимное положеніе точекъ возможно близко подходящимъ къ ихъ дѣйствительному взаимному расположенію на мѣстности.

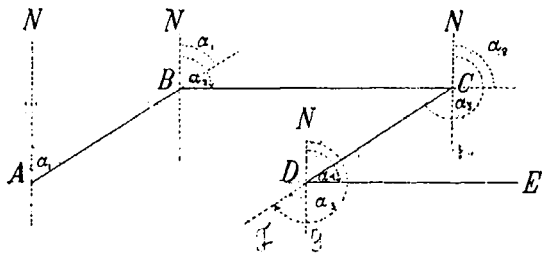
Если бы мы, напр., предположили, что ведемъ съемку отдѣльныхъ контуровъ отъ середины образуемаго ими участка къ его краямъ, послѣдовательно переходя отъ центральнаго контура къ лежащимъ на границѣ участка, то весьма скоро убѣдились бы въ непригодности такого пріема.

Дѣйствительно,—на практикѣ намъ приходится довольствоваться не истинными, а болѣе или менѣе приближенными значеніями измѣряемыхъ величинъ (линій и угловъ). Результаты измѣреній (сумма измѣренныхъ угловъ полигона, несмыкаемость построеннаго на бумагѣ многоугольника, и т. д.), находятся въ зависимости отъ несовершенства инструментовъ и пріемовъ съемки, а потому мы заранѣе можемъ сказать, что та комбинація основныхъ пріемовъ съемки будетъ наиболѣе благопріятной для окончательнаго результата съемки, которая *препятствуетъ скопленію неизбѣжныхъ погрѣшностей (измѣреній и построенія на бумагѣ фигуръ) въ одну и ту же сторону*. Такою комбинаціею является *пріемъ перехода отъ общаго контура*, подлежащаго съемкѣ, *къ частнымъ*, его составляющимъ. Въ справедливости такого положенія наглядно убѣждаетъ насъ опытъ, во время построенія плана большого раіона мѣстности. Указаннымъ пріемомъ съемки стремятся возможно *надежнѣе опредѣлить сперва основныя точки* даннаго *участка* мѣстности, *равномѣрно по нему расположенныя, при этомъ стараются возможно чаще контролировать свои дѣйствія* и убѣждаются въ отсутствіи грубыхъ промаховъ въ получаемыхъ результатахъ измѣреній, и только затѣмъ уже переходятъ къ съемкѣ подробностей, заключающихся между строго опредѣленными основными точками.

Такъ, напримѣръ, можно рекомендовать обойти сперва *общую границу* даннаго участка точнымъ угломѣрнымъ инструментомъ (скажемъ десятисекуднымъ теодолитомъ), проложить внутри, по дорогамъ или рѣкѣ, повѣрочныя ломанныя діагонали (несомкнутые полигоны) между точками окружныхъ границъ, а затѣмъ уже постепенно примѣнять для съемки внутренней ситуаціи тотъ или иной способъ съемки; такъ селеніе, сады, лѣса,—снимать обходомъ, берега озеръ,

болоть — засѣчками или способомъ промѣровъ створовъ и т. п.

§ 142. Вычисленіе азимутовъ полигона. Если въ каждой точкѣ полигона вообразимъ себѣ направленіе меридіана, то по удаленности полюсовъ отъ полигона и незначительности его размѣровъ сравнительно съ размѣрами земного шара (см. § 2, и § 5), можно допустить, что меридіаны всѣхъ вершинъ полигона параллельны между собою. Благодаря такому допущенію легко, изъ разсмотрѣнія чертежа 213, вывести формулу для вычисленія азимутовъ сторонъ обойденнаго угломѣрнымъ инструментомъ полигона. Чертежъ 149



Черт. 213.

показываетъ, что

$$\alpha_2 = (BC) = \alpha_1 + 180^0 - ABC;$$

точно также

$$\alpha_3 = (CD) = (BC) + 180^0 - BCD \text{ и}$$
$$\alpha_4 = (DE) = (CD) + 180^0 - CDE,$$

т. е. *азимутъ линіи послѣдующей равенъ азимуту линіи предыдущей плюсъ 180⁰ минусъ внутренній уголъ* (вправо по ходу лежащій).

Этотъ же чертежъ показываетъ, что если вмѣсто угла ABC возьмемъ *влѣво по ходу лежащій* $CBA = 360^0 - ABC$, то

$$(BC) = (AB) + 180^0 + CBA = 360^0 + \alpha_2.$$

Отбросивъ 360^0, какъ величину, не измѣняющую направленіе линіи, находимъ опять $(BC) = \alpha_2$. Впрочемъ то же самое получили бы, если вмѣсто ABC въ формулѣ $\alpha_2 = \alpha_1 + 180^0 - ABC$ подставили бы $360^0 - CBA$, дѣйствительно, послѣ подстановки, имѣемъ

$$\alpha_2 = \alpha_1 + 180^0 - 360^0 + CBA = \alpha_1 + 180^0 + CBA - 360^0$$

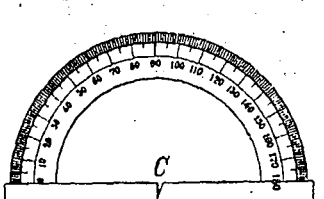
и такъ какъ 360^0 — не измѣняютъ направленія линіи, то та же формула можетъ читаться такъ: азимутъ линіи послѣдующей равенъ азимуту линіи предшествующей $+ 180^0 +$ *уголъ влѣво* по ходу лежащій.

ГЛАВА V.

Составленіе плана горизонтальной съемки и вычисленіе площадей.

§ 143. Основные пріемы построенія угловъ на бумагѣ. Воображаемое нами горизонтальное проложеніе снимаемаго участка мѣстности, принимаемое за плоское, строится для наглядности на бумагѣ въ *подобномъ и уменьшенномъ* видѣ. Построеніе на бумагѣ фигуръ, подобныхъ горизонтальнымъ проложеніямъ данныхъ на мѣстности контуровъ, носитъ названіе *составленія* или *накладки* плановъ. Накладка плана состоитъ изъ накладки на бумагу прямыхъ линій въ избранномъ уменьшеніи и построенія горизонтальныхъ угловъ. Построеніе линій на бумагѣ было уже нами разсмотрѣно въ III главѣ. Остановимъ наше вниманіе на построеніи угловъ на планѣ.

§ 144. Транспортиръ, его устройство и повѣрка. Транспортиръ служитъ для опредѣленія градусной величины угловъ, построенныхъ на бумагѣ, а также для нанесенія на планъ при данной точкѣ на прямой линіи угловъ, измѣренныхъ на мѣстности. *Простой транспортиръ* состоитъ изъ полукруга (отъ 2 до 7 дюймовъ въ діаметрѣ), соединеннаго съ линейкою, одно изъ реберъ которой совпадаетъ съ діаметромъ полукруга. На этомъ ребрѣ отмѣчается центръ C полукруга (черт. 214). На самой же линейкѣ гравируется масштабъ. Въ зависимости отъ размѣровъ діаметра, полукругъ въ 180^0 дѣлится на отдѣльные градусы или полуградусы. Подпись дѣленій, какъ указано на чертежѣ, ведется отъ 0, поставленнаго на діаметрѣ, до 180^0 (азимутальная[1]), или отъ обоихъ концовъ діаметра



Черт. 214.

[1]) Иногда концентрически съ надписью отъ 0^0 до 180^0 (или 200 gr.) идетъ вторая надпись отъ 180^0 до 360^0 (400 gr.).

до 90° (румбическая). Передъ употребленіемъ транспортира слѣдуетъ повѣрить 1) *равенство* нанесенныхъ на него градусныхъ *дѣленій*, 2) *параллельность діаметра полукруга нижнему ребру линейки* и 3) *представляетъ ли собою наружная кривая транспортира окружность съ центромъ, намѣченнымъ на верхнемъ ребрѣ линейки.*

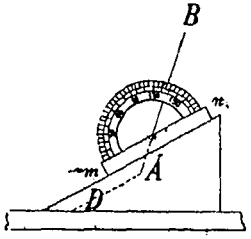
Равенство дѣленій повѣряется съ помощью циркуля *равными хордами*, т. е. взявъ, напр., въ растворъ циркуля хорду отъ 0° до 20°, пробуютъ, будетъ ли она равна хордамъ отъ 20° до 40°, отъ 40° до 60° и т. д. до 180°, а также отъ 1° до 21°, отъ 21° до 41° и т. д., затѣмъ отъ 2° до 22° и т. п.

Параллельность діаметра 0°—180° нижнему краю линейки можно обнаружить слѣдующимъ образомъ. Начертивъ на бумагѣ прямую, совмѣщаютъ съ ней діаметръ 0°—180°, а къ нижнему ребру линейки транспортира прикладываютъ треугольникъ съ линейкою. Отнявъ транспортиръ и прижавъ рукою линейку, передвиженіемъ треугольника по линейкѣ убѣждаются—проходитъ ли ребро треугольника черезъ начерченную прямую. При несоблюденіи этого условія транспортиръ можно употреблять для нанесенія угловъ на бумагу, но онъ уже будетъ малоудобенъ.

Третье условіе повѣряется такъ. Очерчиваютъ на бумагѣ внѣшній край транспортира по кривой и, отмѣтивъ мѣсто центра, убѣждаются, пользуясь циркулемъ съ карандашемъ;— совмѣщается ли очерченная по транспортиру внѣшняя полуокружность съ проведенною карандашемъ циркуля. Если условіе не выполняется, транспортиръ не годенъ къ употребленію.

§ 145. Употребленіе транспортира. а) *Опредѣленіе градусной величины угла, нанесеннаго на бумагу*, заключается въ томъ, что центръ транспортира совмѣщаютъ съ вершиною угла и въ то же время, когда радіусъ, проходящій черезъ 0°, совмѣстится съ одною изъ сторонъ даннаго угла, прочитываютъ у другой стороны угла градусную подпись, которая и будетъ соотвѣтствовать данному углу. Четверти градуса оцѣниваются на глазъ, какъ половины нанесенныхъ полуградусныхъ дѣленій.

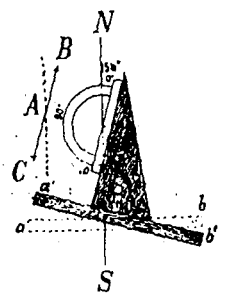
б) Для *построенія угла данной величины*, напр., въ 136°, на данной линіи *AB* (черт. 215), при точкѣ *A*, слѣдуетъ совмѣстить данную прямую *AB* съ штрихомъ, подписаннымъ 136° и съ центромъ транспортира, какъ указано на чертежѣ, къ внѣшнему ребру линейки транспортира *mn* приложить треугольникъ съ чертежною линейкою и подвигать треугольникъ



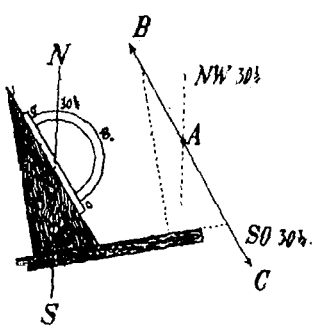
Черт. 215.

по этой линейкѣ до тѣхъ поръ, пока гипотенуза треугольника пройдетъ черезъ данную точку *A*. Проведя по ребру треугольника прямую *DA*, построимъ уголъ $DAB=136^0$.

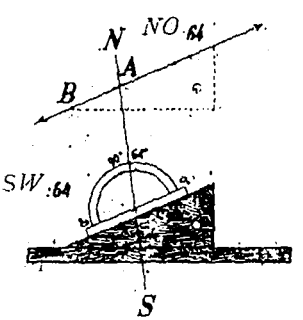
в) *Проведеніе на бумагѣ простымъ транспортиромъ линій подъ заданнымъ румбомъ* дѣлается такъ: по серединѣ листа планной бумаги проводятъ прямую *NS*, изображающую магнитный или истинный меридіанъ (черт. 216) и перпендикулярно къ ней кладутъ линейку *ab*. Къ линейкѣ *ab* придвигается треугольникъ, а къ треугольнику вплотную прижимается лежащій на бумагѣ транспортиръ, при томъ такъ, чтобы чертежникъ пальцами лѣвой руки всегда бы могъ удобно и достаточно крѣпко прижать къ столу линейку, а къ ней треугольникъ съ транспортиромъ. Опытъ даетъ слѣдующее правило болѣе удобнаго размѣщенія линейки, треугольника и транспортира въ зависимости отъ числа градусовъ румба: 1) для проведенія двухъ взаимно противоположныхъ румбовъ, т. е. *NO* и *SW*, или *NW* и *SO*, размѣщеніе линейки, треугольника и транспортира одинаково, 2) линейка должна по возможности всегда лежать внизу чертежа приблизительно перпендикулярно къ меридіану, а этого возможно достигнуть, если *при числѣ градусовъ румба отъ* 0^0 *до* 20^0 *будемъ меридіанъ пересѣкать длиннымъ катетомъ треугольника*, къ длинному катету будемъ прикладывать діаметръ транспортира, *а линейку придвигать къ короткому катету*, какъ это сдѣлано на чертежѣ 216 въ предположеніи, что отъ точки *A* на бумагѣ наносится линія



Черт. 216.



Черт. 217.



Черт. 218.

AB подъ румбомъ *NO*: $15^1/_4{}^0$ или все равно *AC* подъ румбомъ *SW*: $15^1/_4{}^0$. *Если число градусовъ въ румбѣ заключается между* 20^0 *и* 45^0, *то меридіанъ пересѣкается гипотенузою*.

треугольника, къ гипотенузѣ прикладывается транспортиръ, *а линейка придвигается къ короткому катету* (черт. 217).

Наконецъ, *если число градусовъ румба лежитъ между 45° и 90°, то меридіанъ переспкаютъ гипотенузою, а линейку прикладываютъ къ длинному катету* (черт. 218).

Изъ приведеннаго выше правила и чертежей 216—218 видно, что, уложивъ на бумагу треугольникъ, линейку и транспортиръ и *удерживая ихъ въ соприкосновеніи между собою лѣвою рукою*, вращаютъ всѣ три инструмента заразъ такъ, чтобы центръ транспортира и штрихъ, соотвѣтствующій числу градусовъ румба, находились на прочерченномъ меридіанѣ *NS*. Достигнувъ этого, отодвигаютъ правою рукою транспортиръ и, удерживая лѣвою рукою линейку неподвижно прижатою къ столу, продвигаютъ по линейкѣ треугольникъ до тѣхъ поръ, пока пересѣкавшее меридіанъ ребро треугольника пройдетъ черезъ точку A плана. Линія AB (или AC), прочерченная карандашемъ на бумагѣ, будетъ проведена подъ заданнымъ румбомъ (или азимутомъ, перечисленнымъ на румбъ). Чтобы прочесть число градусовъ въ румбѣ заданной линіи, прикладываютъ къ ней треугольникъ, а къ треугольнику линейку, подвигаютъ по линейкѣ треугольникъ до пересѣченія его катета (или гипотенузы) съ меридіаномъ (черт. 201) и приложивъ къ катету транспортиръ, передвигаютъ его вдоль катета до тѣхъ поръ, пока центръ транспортира совпадаетъ съ меридіаномъ. Въ точкѣ пересѣченія меридіана съ полукругомъ читаютъ число градусовъ въ румбѣ.

§ 146. Повѣрка суммы измѣренныхъ угловъ полигона. а) *Случай сомкнутаго полигона.* Послѣ обхода границъ участка немедленно же нужно сличить *сумму измѣренныхъ угловъ* многоугольника съ *теоретической суммой* угловъ.

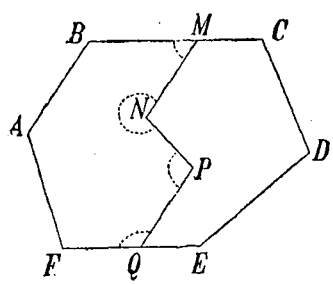
Изъ геометріи извѣстно, что сумма внутреннихъ угловъ сомкнутаго полигона равна двумъ прямымъ, умноженнымъ на число сторонъ безъ двухъ, т. е. $S_T = 2d\ (n-2)$. Сличая эту теоретическую сумму S_T съ практической — S_P, постоянно приходится убѣждаться на практикѣ, что S_P не равняется S_T, а существуетъ разность $S_P - S_T = R$. Если допустимъ, что каждый уголъ измѣренъ съ точностію t, которую даетъ верньеръ, напр., до 5′ (астролябія съ діоптрами), то R во всякомъ случаѣ не должно превышать произведенія tn точности верньера на число измѣренныхъ угловъ полигона, иначе разница R будетъ недопустима. Наивысшій предѣлъ для R, т. е. tn, зависитъ отъ точности, съ которою измѣренъ каждый уголъ полигона. При болѣе точныхъ работахъ предѣлъ для R съуживается до $R \leqslant t\sqrt{2n}$. За наи-

высшій предѣлъ расхожденія принимаютъ величину $3R$, т. е. $3t\sqrt{2n}$. Такимъ образомъ *разность* R, *меньшая* tn, *гарантируетъ до нѣкоторой степени какъ вѣрность полевыхъ дѣйствій, связанныхъ съ измѣреніемъ угловъ полигона, такъ и достаточное приближеніе къ теоретической суммѣ* S_T, *полученной суммы* S_P. Для того, чтобы уравнять S_P до величины S_T, величину R распредѣляютъ между углами съ *короткими* сторонами, сообразуясь со знакомъ R: если измѣренная сумма окажется болѣе теоретической, т. е. $S_P - S_T = +R$[1]) и знакъ у R будетъ плюсъ, то съ измѣренныхъ угловъ скидываютъ по 5′, въ противномъ же случаѣ, если у R знакъ минусъ, то прибавляютъ по 5′ (величину, не превышающую точности верньера). Очевидно поправка для каждаго угла должна быть лишь нѣсколько минутъ и *отнюдь не превышать точности верньера* t.

Другими словами поправку въ исправляемый уголъ вводятъ со знакомъ, *противоположнымъ* знаку у R. Раскладывать можно *только допускаемую* разницу R.

Примѣчаніе 1-е. Основаніемъ такого правила раскладки разницы R между углами съ короткими сторонами служатъ слѣдующія два соображенія:

1) углы съ короткими сторонами измѣряются менѣе точно вслѣдствіе большаго вліянія на эти углы внѣцентреннаго стоянія съ инструментомъ въ вершинѣ измѣряемаго угла и другихъ ошибокъ измѣренія.



Черт. 219.

и 2) при нанесеніи на бумагу короткой стороны AB (черт. 219), измѣненіе величины угла A тѣмъ менѣе будетъ сказываться на положеніи конца B, чѣмъ короче линія AB. Перемѣщеніе точки B отъ того мѣста, *которое ей слѣдовало бы занять*, будетъ прямо пропорціонально длинѣ линіи AB.

Примѣчаніе 2-е. Если при измѣреніи угловъ бралось среднее ариѳметическое изъ минутъ обоихъ верньеровъ, и углы получались не до 5′, а до 2,5′ (первый верньеръ даетъ, напр., 15′, а второй 20′), то стараются исправить измѣренные углы такъ, чтобы всѣ они имѣли точность 5′. Для чего приходится прибавлять или скидывать по 2′,5 со всѣхъ тѣхъ

[1]) Знакъ у R опредѣлится, если условимся писать первую часть этого равенства такъ: S_P (то, что получено измѣреніемъ) минусъ S_T (то, что *должно* получить по теоріи).

угловъ, которые измѣрены какъ бы до 2′,5, а слѣдовательно, содержатъ величины 2′,5; 7′,5; 12′,5 и т. п. [1]).

Послѣ увязки угловъ производится вычисленіе азимутовъ и румбовъ обойденнаго полигона см. § 142.

б) *Случай разомкнутаго полигона.* Если внутри обойденнаго многоугольника проложенъ несомкнутый полигонъ для съемки подробностей или, какъ говорятъ, для съемки внутренней его ситуаціи или же онъ проложенъ въ видѣ повѣрочной діагонали, то въ полѣ измѣряютъ 1) линіи MC, MN, NP, PQ и QE (черт. 219), 2) углы ихъ наклона и 3) углы поворотовъ N и P діагональнаго хода, а также и два *примычныхъ* угла M и Q пройденнаго внутренняго полигона $MNPQ$ къ внѣшнему полигону (границѣ) $ABCDEFA$. Этими двумя углами, очевидно, опредѣляется положеніе хода $MNPQ$ относительно обойденной границы $ABCDEFA$. Съ помощію этихъ же 2-хъ угловъ легко повѣрить и *сумму всѣхъ измѣренныхъ угловъ несомкнутаго полигона* $MNPQ$.

Имѣя вычисленные азимуты $(BC) = (BM)$ и $(EF) = (QF)$ граничныхъ линій, повѣрку начинаютъ съ того, что вычисляютъ по измѣреннымъ въ полѣ угламъ M, N, P и Q азмимуты

$$(MN) = (BM) + 180^0 - M;\ (NP) = (MN) + 180^0 - N;$$
$$(PQ) = (NP) + 180^0 - P$$ и наконецъ $$(QF) = (PQ) + 180^0 - Q.$$

Вычисленный теперь азимутъ (QF) будетъ отличаться отъ даннаго азимута (EF). Разность $(QF) - (EF)$ не должна превышать tk, гдѣ t — точность верньера и k число пройденныхъ въ несомкнутомъ полигонѣ угловъ, полагая въ этомъ числѣ и два примычныхъ. Полученную разность распредѣляютъ по ровну только между углами M, N, P и Q.

§ 147. Числовой примѣръ [2]). Приведемъ здѣсь числовой примѣръ, причемъ отмѣтимъ порядокъ, въ которомъ производятся вычисленія, а также укажемъ и на выработанную для этого практическую схему.

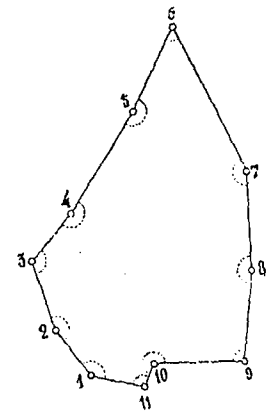
1) Въ принесенномъ изъ поля геодезическомъ журналѣ подсчитывается сумма S_n измѣренныхъ угловъ обойденнаго полигона и сравнивается съ теоретической суммою S_T. Пусть принесенный изъ поля журналъ имѣлъ слѣдующій видъ.

---

[1]) Раскладку принято называть увязкою разницы R (невязки въ углахъ).

[2]) Заимствованъ изъ практики начинающихъ учиться геодезіи. Ниже приведемъ еще примѣръ полевыхъ работъ полигонной съёмки.

№№ точекъ.	Измѣренные внутренніе углы.	Мѣра линій.	Углы наклона	Примѣчаніе.
		саж.		Румбъ первой линіи данъ NW: 31°56′
1	× 133° 57′	... 59,85...	... 0°	
2	161° 37′	... 68,23...	... 0	*Схематическій чертежъ обойденнаго полигона.*
3	× 122° 02′	... 55,23...	... 0	
4	204° 09′	... 147,57...	... 7°	
5	189° 40′	... 110,74...	... 0	
6	38° 31′	... 222,48...	... 8°	
7	151° 26′	... 122,00...	... 0	
8	177° 12′	... 97,48...	... 0	
9	82° 18′	... 97,09...	... 0	
10	× 223° 30′	... 28,07...	... 0	
11	× 135° 42′	... 41,08...	... 0°	
1	—			
Измѣр. сумма.	S_n=1620°04′			
Теорет. сумма.	S_T=1620°			180° × 9
Разность.	R= 0°4′	(полученная).		Теоретич. сумма 1620°.
$1',5\sqrt{2n}$	0°7′	(допускаемая).		Точность верньера=1′.



Черт. 220.

2) Полученную разность R = 0°4, раскладываютъ по минутѣ на углы съ короткими сторонами, т. е. при точкахъ 1-й, 3-й, 10-й и 11-й (отмѣчены ×).

3) Имѣя исправленные углы, вычисляютъ азимуты по формулѣ

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^0 - \text{внутр. уголъ}.$$

Исправленные углы.

1	133°56′
2	161°37′
3	122°01′
4	204°09′
5	189°40′
6	38°31′
7	151°26′
8	177°12′
9	82°18′
10	223°29′
11	135°41′
Сумма .	1620°—

Вычисленіе азимутовъ и румбовъ линій.

Азимуты.	*Румбы линій.*
328°04′	*NW*: 31°56′ (1—2)
+ 180°	(Съ 1-ой точки на 2-ю)
508°04′	
— 161°37′	*уголъ при 2-й точкѣ*
346°27′	*NW*: 13°33′ (2—3)
+ 180°	
526°27′	
— 122°01′	
404°26′	*NO*: 44°26′ (3—4)

или $44°26′ = 404°26′ - 360$

44°26′	
+ 180°	
224°26′	
— 204°09′	
20°17′	*NO*: 20°17′ (4—5)
+ 180°	
200°17′	
— 189°40′	
10°37′	*NO*: 10°37′ (5—6)
+ 180°	
190°37′	
— 38°31′	
152°06′	*SO*: 27°54′ (6—7)
+ 180°	
332°06′	
— 151°26′	
180°40′	*SW*: 0°40′ (7—8)
+ 180°	
360°40′	
— 177°12′	
183°28′	*SW*: 3°28′ (8—9)

183°28′	
+ 180°	
363°28′	
— 82°18′	
281°10′	*NW*: 78°50′ (9—10)
+ 180°	
461°10′	
— 223°29′	
237°41′	*SW*: 57°41′ (10—11)
+ 180°	
417°41′	
— 135°41′	
282° 0′	*NW*: 78° 0′ (11—1)
+ 180°	
462° 0′	
— 135°56′	*уголъ при 1-й точкѣ*
328° 4′ .	*NW*: 31°56′ (1—2)

Вновь полученный азимутъ линіи (1—2) гарантируетъ вѣрность вычисленія азимутовъ.

4) Всѣ вычисленные по исправленнымъ внутреннимъ угламъ азимуты линій обойденнаго полигона переводятся на румбы.

5) По румбамъ вновь обратно провѣряются астролябическіе и румбическіе углы (§ 131).

6) Имѣя *углы наклоновъ*, измѣренныхъ въ полѣ линій, вычисляютъ горизонтальныя ихъ проложенія или по таблицамъ или по формуламъ:

$$(d - D) = x = 2d \cdot Sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

$$d - x = D,$$

гдѣ d измѣренная линія, а x поправка за наклонъ въ α^0, которая вычитается изъ d для полученія горизонтальнаго проложенія D измѣренной линіи d.

	d саж.	α^0	$2d$	$\frac{\alpha^0}{2}$
(4—5) . .	147,57	7°	295,14	3°30′
(6—7) . .	222,48	8°	444,96	4° 0′

линіи	съ точки № на точку № (4—5)	(6—7)
$lg\ 2d$	2.47003	2.64832
$2lg\ Sin\ \frac{\alpha}{2}$	7.57136	7.68716
$lg\ x$	0.04139	0.33548
x	1,100	2,165
D	146,47	220,31

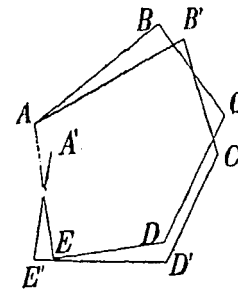
Если результатъ измѣренія линій данъ до сотыхъ долей сажени, то и поправка вычисляется также до сотыхъ долей сажени.

7) По вычисленнымъ румбамъ и длинамъ горизонтальныхъ проложеній линій полигона производится накладка плана.

§ 148. Накладка фигуры транспортиромъ. Такъ какъ углы между линіями мѣстности вполнѣ опредѣляютъ взаимное положеніе этихъ линій, то естественнымъ казалось бы накладывать сомкнутый полигонъ *ABCDEA* (черт. 221) по внутреннимъ *исправленнымъ* угламъ *A*, *B*, *C*,.... *E* и мѣрѣ линій. Однако можно показать *что накладка по румбамъ выгоднѣе накладки по внутреннимъ угламъ фигуры, такъ какъ въ первомъ случаѣ—по румбамъ—мы ближе подойдемъ къ той фигурѣ, которую долженъ былъ бы по теоріи имѣть на бумагѣ наложенный полигонъ*, чѣмъ во второмъ случаѣ.

Производство накладки транспортиромъ ломаной линіи по румбамъ заключается въ томъ, что проводятъ по серединѣ листа сверху внизъ меридіанъ *NS* (черт. 222) и, намѣтивъ на немъ начальную точку *A* такъ, чтобы фигура пришлась по серединѣ листа и расположилась симметрично относительно меридіана, строятъ румбъ первой линіи *AB*.

послѣ чего по масштабу откладываютъ длину AB. Приложивъ вновь транспортиръ къ меридіану, проводятъ линію BC, и такъ поступаютъ до тѣхъ поръ, пока нанесутъ послѣднюю линію $E'A'$ (черт. 221 и 222).



Черт. 221.

Опытъ показываетъ, что какъ бы ни старался съемщикъ или опытный чертежникъ тщательно и аккуратно наложить обойденный полигонъ на бумагу, т. е. послѣдовательно нанести углы и длины линій, всегда оказывается, что *конечная точка A' послѣдней наложенной линіи $E'A'$ не совпадаетъ съ начальной точкой A линіи AB', откуда начата накладка полигона*. Такимъ образомъ на бумагѣ *не получается сразу сомкнутая фигура $ABCDEA$*, и *мы можемъ только воображать ее себѣ*. На бумагѣ въ дѣйствительности оказывается разомкнутый полигонъ $AB'C'D'E'A'$, болѣе или менѣе уклоняющійся отъ истиннаго $ABCDEA$ (воображаемаго нами). Уклоненія AA', BB', CC'... происходятъ отъ *неизбѣжныхъ погрѣшностей*, сопровождающихъ дѣйствія съемщика (въ полѣ) и чертежника (при построеніи фигуры).

На бумагѣ изъ всѣхъ этихъ уклоненій *будетъ видимо глазомъ единственное AA'*, которое принято называть *„невязкою фигуры"*. Измѣривъ по масштабу линію AA', пришедшуюся на весь периметръ $P = AB + BC + \ldots$ полигона, опредѣляютъ отношеніе $\frac{AA'}{P}$, придавъ ему видъ $\frac{1}{K}$,

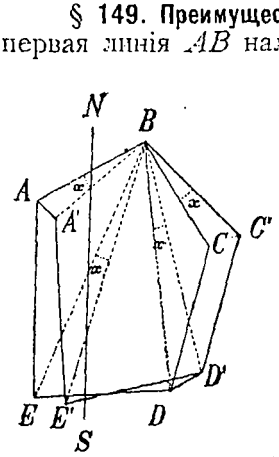
т. е. $$\frac{AA' : AA'}{P : AA'} = \frac{1}{K}.$$

K дается инструкціею и зависитъ отъ точности полевыхъ и чертежныхъ работъ; но опытъ показываетъ, что K для съемки теодолитомъ и лентою должно быть *болѣе* 200[1]). Если же $\frac{AA'}{P} = \frac{1}{K}$ окажется болѣе $\frac{1}{200}$ или иными словами, если невязка AA' окажется болѣе $\frac{1}{200}$-й периметра P, $AA' > \frac{P}{200}$, то это укажетъ на грубую ошибку, сдѣланную или при накладкѣ линій и угловъ, или при опредѣленіи ихъ *числовыхъ* величинъ въ полѣ. Поэтому въ неблагопріятномъ случаѣ начинаютъ *накладку провѣрять снова отъ точки A'*

[1]) При накладкѣ транспортиромъ съ алидадою и верньеромъ K возрастаетъ до 300—400 и болѣе.

въ обратную сторону, производя сперва накладку линій $A'E$, затѣмъ ED,..... и т. д.

§ 149. Преимущество накладки по румбамъ. Положимъ, что первая линія AB наложена, затѣмъ, начиная съ точки B, накладка производится по внутреннимъ угламъ, и что мы при построеніи угла ABC дѣлаемъ неизбѣжную погрѣшность, выражающуюся угломъ $CBC' = x$ (черт. 222), въ остальныхъ же углахъ и мѣрѣ линій *никакихъ* погрѣшностей *не* дѣлаемъ. Такое предположеніе равносильно тому, что часть $BCDEA$ фигуры повернута около точки B на уголъ x. Разумѣется, — діагонали BD, BE и BA передвинутся въ одну и ту же сторону *на уголъ* x и концы ихъ D, E и A отодвинутся отъ истинныхъ положеній пропорціонально длинамъ діагоналей. Такъ какъ въ линіяхъ BC и CD и углѣ C ошибокъ *не* предполагается, то не будетъ ошибки и въ діагонали BD, и слѣдовательно $BD' = BD$. Треугольники BDD' и BCC' равнобедренные съ равными при вершинѣ B углами x, слѣдовательно они подобны и



Черт. 222.

$$DD' : CC' = BD : BC \text{ или}$$
$$DD' = CC' \cdot \frac{BD}{BC}.$$

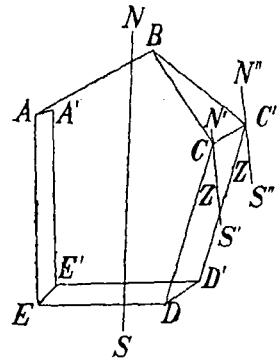
Подобнымъ же образомъ получимъ

$$EE' = CC' \cdot \frac{BE}{BC} \text{ и}$$
$$AA' = CC' \cdot \frac{BA}{BC}.$$

Эти равенства показываютъ, что *уклоненія* DD', EE' и AA' *будутъ находиться въ отношеніи разстояній точекъ фигуры отъ точки* B, *при которой сдѣлана въ углѣ* B *погрѣшность* x.

Если бы накладку стали дѣлать съ точки B, (черт. 223) по румбамъ и сдѣлали бы при построеніи румба линіи BC ту же ошибку x, а въ остальныхъ румбахъ и мѣрѣ линій погрѣшностей не произошло, то линіи $C'D'$, $D'E'$, $E'A$ нанеслись бы по тѣмъ же румбамъ, что и линіи CD, DE и EA, и слѣдовательно $C'D' \parallel CD$, $D'E' \parallel DE$ и $E'A' \parallel EA$; кромѣ того предполагаемъ $C'D' = CD$, $D'E' = DE$; $E'A' = EA$. На основаніи того же, что линіи CC' и DD', DD' и EE' и наконецъ EE' и AA' соединяютъ концы равныхъ и параллельныхъ линій CD' и $C'D'$, DE и $D'E'$ и т. д., зак-

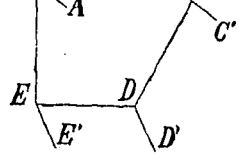
лючаемъ, что и сами линіи CC', и DD'...., AA' будутъ также равны и параллельны между собою, т. е. *уклоненіе всѣхъ точекъ фигуры будетъ одно и то же.* А это показываетъ намъ, что во второмъ случаѣ стороны и вершины наложеннаго (ошибочнаго) полигона занимаютъ положеніе болѣе сходное съ истиннымъ, чѣмъ въ первомъ случаѣ. Такимъ образомъ *независимую* накладку *отдѣльныхъ направленій* отъ меридіана выгоднѣе дѣлать, чѣмъ строить фигуру по угламъ, связывающимъ одно направленіе съ другимъ, предшествующимъ ему, такъ какъ возстановить истинную фигуру при накладкѣ по румбамъ проще, чѣмъ при накладкѣ по угламъ.



Черт. 223.

§ 150. **Обнаруженіе угла и линіи, въ которыхъ сдѣлана грубая ошибка.** Если бы и послѣ обратной накладки обнаружилось, что невязка AA' все-таки недопустима, т. е. она оказалась бы болѣе $\frac{1}{200}$ периметра P, то можно предположить, что невязка получилась не отъ промаховъ при накладкѣ, а отъ грубой ошибки въ полѣ, въ какомъ-либо углѣ или мѣрѣ линій.

Изъ чертежа 222 видно, что если бы въ углѣ B была сдѣлана грубая ошибка x въ полѣ, то разстояніе BA и BA' на планѣ были бы равны между собою. А потому *ошибочнымъ уголъ будетъ тотъ, до вершины котораго разстоянія, измѣренныя по плану, отъ обоихъ концовъ невязки равны*, т. е. $BA = BA'$. Если бы такихъ угловъ оказалось не одинъ, а болѣе, два-три, то въ полѣ начинаютъ повѣрку сперва этихъ угловъ, а затѣмъ уже остальныхъ.



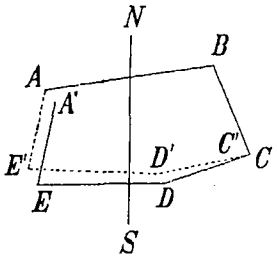
Черт. 224.

Точно также, если бы мы допустили, что сдѣлана грубая ошибка въ мѣрѣ какой-либо линіи, напр. BC (черт. 224), т. е. вмѣсто BC намѣчена линія BC', а остальныя линіи нанесены вѣрно, т. е. на планѣ вмѣсто истинной фигуры $ABCDEA$ получилась фигура $ABC'D'E'A'$ со сторонами $C'D'$, $D'E'$ и $E'A'$ соотвѣтственно равными и параллельными сторонамъ CD, DE и EA, то послѣ накладки окажется, что невязка AA' параллельна CC' или $AA' \parallel BC'$, такъ какъ невязки CC', DD', EE' и AA' равны и параллельны между собой, какъ линіи соединяющія концы равныхъ и параллельныхъ прямыхъ. Другими словами, если

окажется, что невязка параллельна какой-либо изъ наложенныхъ линій, и при томъ будетъ недопускаема, т. е. болѣе $\frac{1}{n}$ отъ периметра, то можно сказать, что *линія наложенной фигуры, параллельная невязкѣ, или невѣрно наложена, или невѣрно измѣрена въ полѣ.*

§ 151. Увязка наложенной транспортиромъ фигуры. Полученная на планѣ невязка AA' наложенной фигуры, если она допустима, *не* оставляется на планѣ, а уничтожается. Есть два способа *уничтоженія допускаемой невязки.* Одинъ основанъ на измѣненіи наложенныхъ румбовъ и мѣръ линій въ *предѣлахъ точности ихъ построенія* на бумагѣ, а другой — состоитъ въ передвиженіи вершинъ наложеннаго полигона по линіямъ, параллельнымъ невязкѣ такъ, чтобы невязка постепенно уменьшалась въ допускаемыхъ предѣлахъ.

Пусть, напр., была наложена фигура $ABCDEA$ (черт. 225) по слѣдующимъ румбамъ и мѣрамъ линій въ масштабѣ 100 саженъ въ дюймѣ:



Черт. 225.

AB . . .	NO : 80° . . .	207,81	саж.
BC . . .	SO : 35½° . . .	165,04	„
CD . . .	SW : 75¾° . . .	160,00	„
DE . . .	SW : 82½° . . .	217,20	„
EA . . .	NO : 2° . . .	259,84	„

Периметръ P=1009,89 саж.

Невязка AA', измѣренная по масштабу, оказалась равной 4 саженямъ. Отношеніе

$$\frac{AA'}{P} = \frac{4}{1009,89} = \frac{1}{252,47} < \frac{1}{K}$$

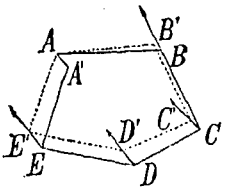
показываетъ, что $AA' < \frac{1}{K}$ периметра P, поэтому возможно приступить къ *увязкѣ* фигуры. (Величина K дается инструкціей для работъ).

Уничтоженіе невязки по первому способу заключается въ измѣненіи наложенныхъ линій по ихъ румбамъ и мѣрамъ такъ, чтобы фигура сомкнулась, однако не выходя изъ предѣловъ точности, которой можно достигнуть накладкою. По простому транспортиру съ діаметромъ въ 7 дюймовъ можно оцѣнивать на глазъ $\frac{1}{8}°$, если дѣленія нанесены отъ $\frac{1}{2}°$ до $\frac{1}{2}°$, поэтому уничтоженіе невязки состоитъ въ томъ, что послѣднюю линію EA' накладываютъ вновь отъ начальной точки A подъ обратнымъ румбомъ, измѣненнымъ или на $\frac{1}{8}°$ или $\frac{1}{4}°$, смотря по мѣрѣ линіи EA. Если линія короткая, то измѣненіе румба возможно на $\frac{1}{4}°$, при длинныхъ же линіяхъ допу-



Черт. 226.

скается измѣненіе на $^1/_8{}^0$, такъ какъ въ зависимости отъ угла x и длины d измѣняется положеніе конца E (черт. 226). Такъ какъ на чертежѣ 225 показано, что точка A' уклоняется къ востоку отъ A, а длина линіи EA сравнительно съ прочими линіями наибольшая, то отъ точки A накладываемъ новую линію подъ обратнымъ *норд-осту* румбомъ, т. е. подъ румбомъ SW, числомъ градусовъ $2^0 - ^1/_8{}^0 = 1^7/_8{}^0$, чтобы уменьшить уклоненіе точки E' къ востоку. Изъ чертежа же видно, что A' лежитъ южнѣе точки A, поэтому длину AE увеличиваютъ согласно точности масштаба. Точность выбраннаго масштаба [1]) $= ^1/_2$ саж., слѣдовательно 100 саж. можно считать не отличающимися отъ $100^1/_2$ или отъ $99^1/_2$, поэтому, опредѣливъ число сотенъ въ EA и найдя $\frac{EA}{100} = 2{,}6$, откладываютъ отъ A внизъ длину $259{,}84^{\text{с.}} + 2{,}6 \times ^1/_2{}^{\text{с.}} = 261{,}14^{\text{с.}}$ саженъ и накалываютъ точку E'; отъ нея, руководствуясь подобнымъ же соображеніемъ, накладываютъ линію $E'D'$ подъ румбомъ $NO : (82^1/_3 + ^1/_8)^0$ или $NO : 82^5/_8{}^0$, мѣрою $217{,}20^{\text{с.}} + 2{,}2 \times ^1/_2{}^{\text{с.}} = 218{,}30$. саж. Наколовъ точку D', проводимъ прямую $NO : 76^0$, мѣрою 160,8 саж. Поступая такимъ образомъ, замѣчаемъ, что вновь накалываемая точка C' совпала съ вершиною C, а это означаетъ, что невязка разложилась (уничтожилась на планѣ).



Черт. 227.

Второй способъ уничтоженія невязки AA' состоитъ въ томъ, что изъ наложенныхъ точекъ B, C, D, E (черт. 227) проводятъ линіи, параллельныя невязкѣ AA' въ сторону противоположную съ линіею AA' (а слѣдовательно въ одну съ направленіемъ $A'A$). Затѣмъ считаютъ, что *невязка $A'A$ есть результатъ накладки всего периметра P.* Поэтому, если бы периметръ былъ короче, то и невязка была бы менѣе, а на основаніи этого на параллели EE' откладываютъ величину изъ разсчета

$$EE' = \frac{AA'}{P} \cdot (P - EA), \text{ т. е.}$$

$$EE' = \frac{4}{1009{,}89} \cdot (1009{,}89 - 259{,}84) = \frac{4}{1009{,}89} \cdot 750{,}05 = 3{,}0^{\text{с}}.$$

На параллели DD' отложимъ меньшую величину $= \frac{AA'}{P}(P - EA - DE) = \frac{4}{1009{,}89}(750{,}05 - 217{,}20) = \frac{4}{1009{,}89} \cdot 532{,}85 = 2{,}13$. На параллели CC' придется отложить $\frac{4}{1009{,}89} \cdot 372{,}85 = 1{,}49$ саж. и т. д.

[1]) Сто саженъ въ дюймѣ.

Отложивъ на параллеляхъ BB', CC', DD' и EE' полученныя величины, соединяютъ точки A, E, D', C', B' и A тогда получимъ увязанную фигуру; она на чертежѣ показана пунктирными линіями. Такъ какъ на параллеляхъ AA' и DD', отложенныя величины *почти равны* между собою, то понятно, что и линіи AE' и EA', какъ соединяющія концы параллельныхъ и почти равныхъ, также *почти равны и параллельны*. Фигура $AA'EE'DD'CC'BB'A$ наглядно изображаетъ постепенное уничтоженіе невязки. Ниже приводимъ схему увязки фигуры параллельными линіями въ нѣсколько иномъ видѣ, гдѣ невязка уничтожается въ обратномъ порядкѣ, начиная съ точки B.

Схема.

1) Находимъ периметръ $P. = AB + BC + ... + EA = 1009{,}89$.

2) Узнаемъ по масштабу $AA' = 4^c$.

3) Находимъ $\frac{AA'}{P}$ въ видѣ $\frac{1}{K} = \frac{1}{252{,}47}$ и сравниваемъ ее съ $\frac{1}{200}$, при этомъ K должно быть болѣе 200.

4) Вычисляемъ величину невязки на каждую сотню периметра $\frac{AA'}{P} \times 100 = \frac{4}{10{,}10} = \frac{AA'}{P:100} = 0{,}396$, а затѣмъ—на число сотенъ въ каждой линіи:

$$\frac{AA'}{P:100} \cdot \frac{AB}{100} = 0{,}396 \times 2{,}07, \quad \frac{AA'}{P:100} = \frac{BC}{100} = 0{,}396 \times 1{,}65 \ . \ . \text{ и}$$

$$\frac{AA'}{P:100} \cdot \frac{EA}{100} = 0{,}396 \times 2{,}6 = 1{,}03.$$

5) Составляемъ суммы: $\frac{AA'}{P:100} \cdot \frac{AB}{100} = BB'$,

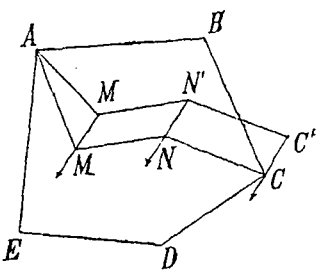
$$\frac{AA'}{P:100} \cdot \frac{AB}{100} + \frac{A'A}{P:100} \cdot \frac{BC}{100} = CC';$$

$$\frac{AA'}{P:100} \cdot \frac{AB}{100} + \frac{AA'}{P:100} + \frac{AA'}{P:100} \cdot \frac{CD}{100} = DD' \text{ и т. д.}$$

6) Откладываемъ полученныя величины $BB', CC', DD', ...$ на параллеляхъ, проведенныхъ чрезъ вершины наложеннаго полигона и соединяемъ послѣдовательно точки A, B', C', D', E' и A.

§ 152. Накладка внутренней ситуаціи. Если бы между точками A и C общей границы участка проходила ломанная

линія обхода, (несомкнутый полигонъ, повѣрочная діагональ), сдѣланная для съемки *внутренней ситуаціи*, то *накладку* линіи $AMNC$ (черт. 228) *дѣлаютъ послѣ увязки основной фигуры* $ABCDEA$. Полученную невязку CC' считаютъ возможной, если $\frac{CC'}{AM+MN+NC}$ окажется менѣе $\frac{1}{100}$, т. е. если невязка будетъ менѣе $\frac{1}{100}$ периметра $AM+MN+NC$;



Черт. 228.

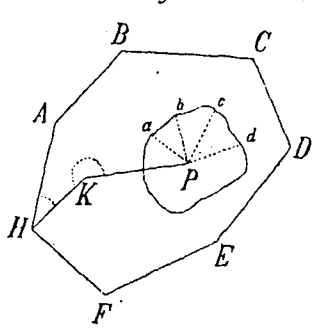
увеличеніе отношенія невязки къ периметру допущено потому, что точки A и C не истинныя, а полученныя послѣ увязки фигуры $ABCDEA$. Уничтоженіе невязки CC' дѣлается прежнимъ путемъ, т. е. считаютъ ее результатомъ накладки всей линіи $AM'N'C'$ и на параллеляхъ MM' и NN' откладываютъ величины:

$$MM' = \frac{CC'}{AM+MN+NC} \cdot AM.$$

$$NN' = \frac{CC'}{AM+MN+NC} \cdot (AM+MN).$$

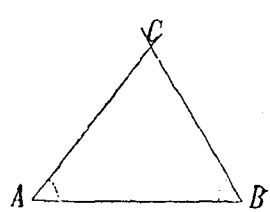
Отложивъ отъ точекъ M' и N' найденныя величины, соединяютъ точки A, M, N и C.

Примѣнительно къ изложенному, пользуясь 1) страницами 3-й, 4-ой и 5-ой абрисной книжки (черт. 203 и 206) и 2) „схематическимъ чертежемъ обхода границъ и внутреннихъ угодій участка" (черт. 202), изучающимъ этотъ отдѣлъ геодезіи рекомендуется самимъ сдѣлать попытку составить планъ пустоши Адамовки.



Черт. 229.

Если одинъ изъ контуровъ участка снимался полярнымъ способомъ, то накладка



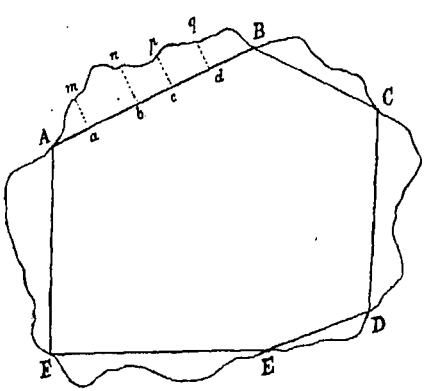
Черт. 230.

его производится такъ: сперва отъ точки H общей границы $ABCDEFH$ (черт. 229) накладывается ломаная линія HKP

по румбамъ и длинамъ линій *HK* и *KP*, а затѣмъ проводится черезъ полюсъ *P* параллель меридіану и относительно этой параллели по румбамъ и мѣрѣ линій накладываются радіусы векторы *Pa*, *Pb*, *Pc*, *Pd*,.... Точки *a*, *b*, *c*, *d*,.... соединяются непрерывной кривой.

Если по базису *BC* точка *A* (черт. 230) опредѣлена обратной засѣчкой, то накладка точки *A* дѣлается слѣдующимъ образомъ: построивъ базисъ *BC*, строятъ направленіе линіи *BA* по углу *B* или по румбу *(BA)*, на построенномъ направленіи берутъ *произвольную точку* и при ней строятъ уголъ, равный измѣренному *ABC*, (или иначе проводятъ *вспомогательное* направленіе, имѣющее тотъ же румбъ, что и линія *AC)*, и потомъ уже черезъ точку *C* проводятъ параллель *CA* вспомогательному направленію, построенному по углу *A* при произвольной точкѣ направленія *BA*. Линія *CA* пересѣчетъ въ точкѣ *A* направленіе *BA* подъ измѣреннымъ въ точкѣ *A* угломъ.

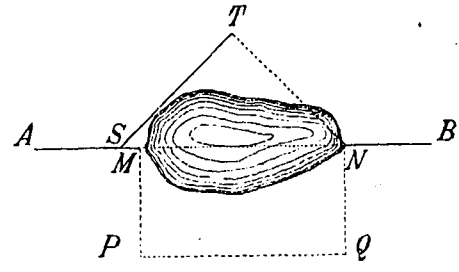
На страницѣ 161, въ *примѣчаніи*, было указано, что промѣры магистрали *AB* (черт. 7) должны вестись отъ начала ея *A*. Основаніемъ указанному правилу служитъ слѣдующее соображеніе: если бы вмѣсто линій *Aa*, *Ab*, *Ac*.... мы изъ̀ряли короткія линіи *Aa*, *ab* *bc*,.... то принуждены были бы ввести въ результаты измѣреній неизбѣжныя погрѣшности въ отсчитываніи по цѣпи, оцѣнивая сотыя доли сажени на глазъ въ точкахъ *a*, *b*, *c*... а затѣмъ неизбѣжныя погрѣшности отъ несовершенства совмѣщенія начала цѣпи съ точками *a*, *b*, *c*.... для полученія длинъ *ab*, *bc*, *cd*.... Сверхъ того, если бы на планѣ строили не длинныя линіи *Aa*, *Ab*, *Ac*...., откладывая ихъ все время отъ точки *A*, а строили бы короткія линіи *Aa*, *ab*, *bc*...., то сдѣлали бы неизбѣжную погрѣшность, построивъ точку *a*, да кромѣ того, отъ ошибочнаго положенія точки *a* построили бы линію *ab*, т. е. въ положеніе точки *b* ввели бы вліяніе двухъ неизбѣжныхъ ошибокъ—одной отъ построенія ея начала *a*, а другой—отъ построенія ея конца *b*. На положеніе точки *c* вліяли бы три погрѣшности: отъ построенія точки *a*, *b* и *c*, и т. д. Словомъ сказать, положеніе послѣдующихъ точекъ *b*, *c*, *d*.... зависило бы отъ предшествующихъ *a*, *b*, *c*,.... Между тѣмъ при построеніи линій



Черт. 7.

Aa, Ab, Ac,... положеніе точекъ b, c, d не зависитъ отъ предшествующихъ имъ точекъ.

Замѣчаніе. Если при обходѣ границы участка встрѣтится какое-либо препятствіе (рѣчка, оврагъ, болото и т. п.) то для опредѣленія ширины препятствія его необходимо обойти. Пусть, напр., идя по линіи AB съ цѣпью (черт. 231), встрѣтили озеро. Для опредѣленія искомой ширины можно: 1) выбрать на мѣстности базисъ ST и, смѣривъ румбы линій (SN), (ST), (TN) и длину прямой ST, построить на бумагѣ треугольникъ STN, т. е. найти точку N засѣчкою впередъ; измѣренная по плану линія SN опредѣлитъ неприступное разстояніе SN, 2) можно въ точкѣ M возставить перпендикуляръ MP къ линіи AB, изъ точки P провести линію $PQ \parallel MN$ и изъ точки N опустить перпендикуляръ NQ на линію PQ. Чтобы возставить помощью одной буссоли перпендикуляръ MP, измѣряемъ румбъ линіи MN, пусть напр. $(MN) = NO : 20^0$, тогда, переведя румбъ на азимутъ и зная, что азимутъ линіи MP долженъ отличаться отъ азимута MN на 90^0, такъ какъ



Черт. 231.

$$NMP = (MP) - (MN) = 90^0,$$

повертываютъ буссоль такъ, чтобы стрѣлка по сѣверному концу показывала азимутъ $20 + 90^0 = 110^0$ или румбъ $SO : 70^0$. Придя съ инструментомъ въ точку P, вращаютъ буссоль такъ, чтобы стрѣлка вновь показала азимутъ $(PQ) = 20^0$ или румбъ $NO : 20^0$, линія PQ будетъ параллельна MN. Послѣ этого можно постепенно передвигаться по линіи PQ съ инструментомъ, пока найдется такая точка Q, въ которой $(QN) = (MP) + 180^0$; но такъ какъ $(MP) = 110^0$, то $(QN) = 290^0$ или румбъ линіи QN будетъ $NW : 70^0$, т. е. обратный румбу линіи MP. Измѣренная цѣпью линія PQ будетъ равна неприступному разстоянію MN.

§ 153. Условные знаки на планахъ и картахъ. Чтобы по плану получить ясное представленіе объ изображенной на немъ мѣстности, необходимо заполнить нанесенные контуры *условными знаками*. Они будутъ показывать, что соотвѣтствующій контуръ очерчиваетъ какое-либо угодіе, напримѣръ, пашню, болото, лѣсъ, лугъ, кустарникъ и т. п., или какой-нибудь предметъ, напр., мостъ, домъ и т. п. По

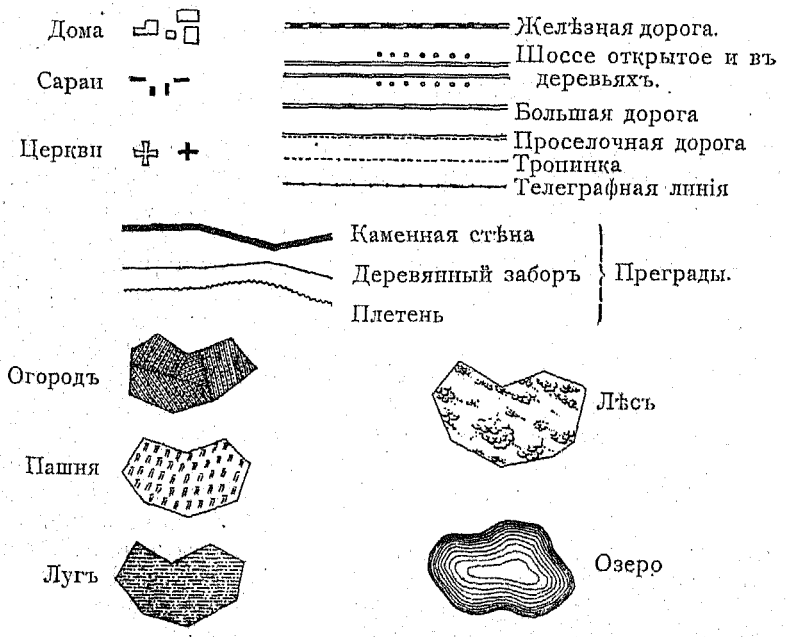
ѣтому они должны имѣть видъ, хотя отчасти напоминающій эти предметы, вслѣдствіе чего *планъ выигрываетъ въ наглядности.*

Выборъ *условныхъ знаковъ* зависитъ: 1) отъ цѣли плана, указывающей на относительную важность отдѣльныхъ предметовъ; 2) отъ масштаба его; такъ, напр., при съемкѣ селенія въ крупномъ масштабѣ изображаются отдѣльные дома, въ болѣе мелкомъ—селеніе снимаютъ и изображаютъ по кварталамъ; наконецъ, при очень мелкомъ масштабѣ селеніе не снимается вовсе и изображается въ видѣ отдѣльнаго условнаго знака (кружка); въ 3)—отъ точности съемки и въ 4) отъ способа изданія плана или карты, т. е. будутъ ли они вычерчены тушью или раскрашены, и т. д.

При пользованіи планами однимъ изъ важныхъ условій является *единство принятыхъ знаковъ*; поэтому нѣкоторыми вѣдомствами, напр., межевымъ и корпусомъ военныхъ топографовъ, были изданы *утвержденные условные знаки.*

Утвержденные условные знаки,

употребляемые въ топографическихъ планахъ.



Черт. 232.

Для приданія планамъ большей наглядности прибѣгаютъ къ раскрашиванію ихъ или, такъ называемой, *иллюминовкѣ*. На иллюминованныхъ планахъ разные предметы и угодья покрываются красками подходящихъ цвѣтовъ: всѣ воды покрываются синею краскою (лазурью), луга—зеленою (лазурь съ гуммигутомъ), каменныя строенія шоссе кроются красною краскою (карминомъ) а деревянныя желтою (гуммигутомъ) и т. п.

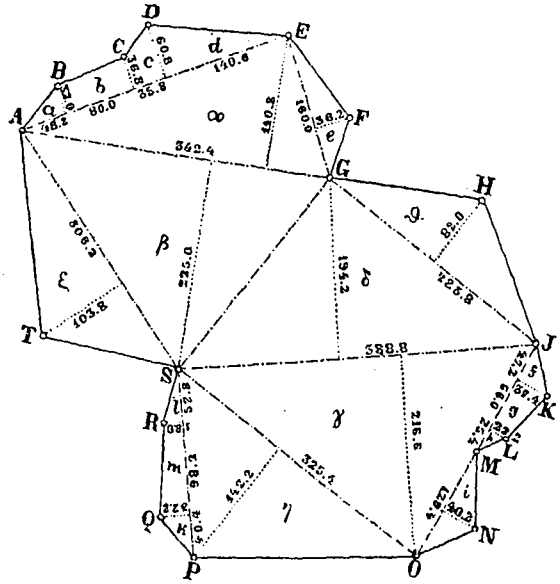
Если съемщику явится необходимость ввести новые знаки или измѣнить прежде существовавшіе утвержденные знаки, когда они окажутся недостаточными, то къ плану надо приложить особое *объясненіе знаковъ*. При окраскѣ плановъ можно воспользоваться брошюрой: „Условные знаки для плановъ и картъ межевого вѣдомства", составленной старшимъ преподавателемъ Межевого Института *П. П. Левитскимъ*. Москва, 1907.

Вычисленіе площадей.

§ **154. Три способа вычисленія площадей.** Площадь полигона можетъ быть получена и безъ плана, и по плану. Въ первомъ случаѣ площадь получается *изъ измѣренныхъ въ натурѣ* (на мѣстности) *величинъ*, напр., сторонъ и діагоналей многоугольника, или по измѣреннымъ въ полѣ абсциссамъ и ординатамъ точекъ контура, или по измѣреннымъ линіямъ и угламъ полигона, посредствомъ только однихъ вычисленій. Во второмъ случаѣ площадь вычисляется по начерченной въ заданномъ масштабѣ фигурѣ, при томъ двумя способами 1) или на основаніи теоремъ геометріи *графическимъ путемъ*, когда *по плану* циркулемъ по масштабу (или инымъ путемъ) измѣряются основанія и высоты треугольниковъ и трапецій, на которые обыкновенно разбиваются (или въ которые превращаются) геометрическія фигуры, или же 2) *механически* особыми приборами—такъ называемыми *планиметрами*.

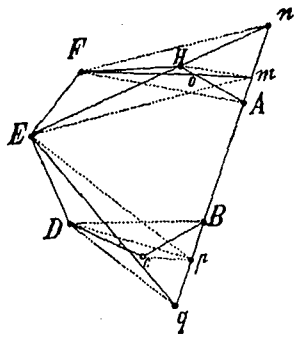
§ **155. Графическій способъ** вычисленія площадей состоитъ или въ вычисленіи площадей многоугольниковъ, или въ вычисленіи криволинейныхъ контуровъ на планѣ. Многоугольники стараются вычислить, обращая ихъ въ равновеликіе треугольники или трапеціи, какъ напр., обращая данный

многоугольникъ *ABcDEFH* (черт. 234) въ равновеликій треугольникъ *qEn*, постепенной замѣной ломанной *BcDE*

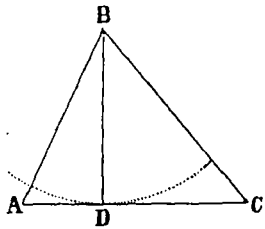


Черт. 233.

прямой Eq_1 а ломанной *AHFEq*—прямой *En*, дѣлая замѣну по правиламъ геометріи, или же разбивая ихъ діагоналями на треугольники и трапеціи какъ указано на чертежѣ 233.



Черт. 234.



Черт. 235.

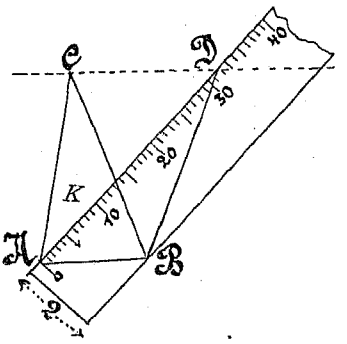
Основанія и высоты этихъ послѣднихъ берутся съ плана циркулемъ, какъ это указано на чертежѣ 235, и измѣряются по масштабу, а именно,—высота *BD* треугольника *ABC* берется въ растворъ циркуля не сразу, а постепенно: для чего одну ножку ставятъ въ *B*, а другую отодвигаютъ до тѣхъ поръ, пока описанная ею дуга коснется основанія *AC*. Иногда же, для облегченія работы, пользуются при этомъ механическими приспособленіями, каковы, напр., *агро-*

метръ Бибикова или параллельная линейка *Баслера* (работы Керна).

При разбивкѣ фигуры на треугольники слѣдуетъ стараться, чтобы 1) число фигуръ, составляющихъ данный многоугольникъ, было возможно меньше, 2) самыя фигуры были возможно больше и 3) чтобы основаніе фигуры приблизительно равнялось высотѣ, ибо чѣмъ меньше фигуръ, тѣмъ менѣе измѣреній будетъ сдѣлано по плану, а слѣдов. тѣмъ менѣе неизбѣжныхъ погрѣшностей, сопровождающихъ каждое измѣреніе (отъ несовершенства инструментовъ и несовершенства чувствъ измѣряющаго). При равенствѣ основанія a высотѣ h, неизбѣжныя ошибки въ a и h будутъ менѣе вліять на относительную ошибку въ площади, т. е. *при равенствѣ a и h ошибка, приходящаяся на единицу площади, будетъ наименьшая.*

Агрометръ Бибикова (черт. 236) состоитъ изъ линейки ADB, шириною въ 2 дюйма, съ параллельными длинными краями, изъ которыхъ одинъ подраздѣленъ, начиная отъ начальнаго нулевого штриха или на дюймы, или на промежутки = 0,24 дюйма (и его десятыя доли). Послѣдніе (промежутки) при масштабѣ 100 саж. въ дюймѣ будутъ давать длины, равныя 24 саженямъ.

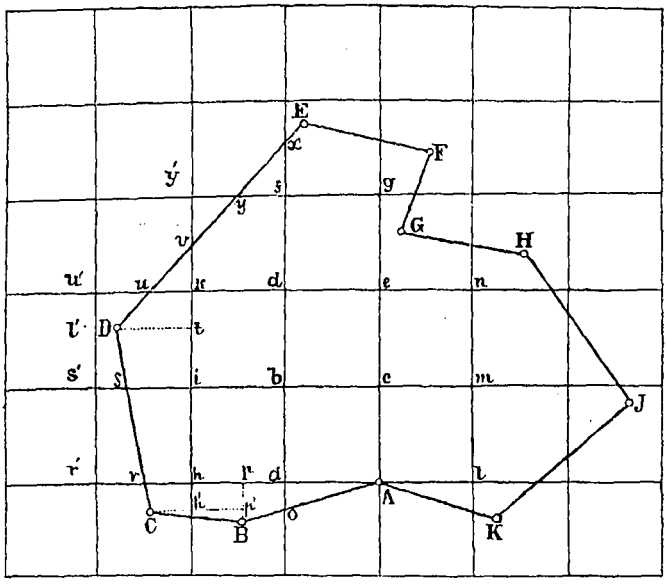
Употребленіе агрометра крайне просто и состоитъ въ томъ, что, проведя черезъ вершину даннаго треугольника ABC линію CD, параллельную основанію AB, прикладываютъ агрометръ къ основанію AB треугольника такъ, чтобы длинные края линейки совпали съ точками A и B, причемъ точка A приходилась бы на нулевомъ штрихѣ (какъ указано на чертежѣ), тогда при точкѣ D параллели CD къ основанію AB прочитываютъ число, напр., $AD = 32$. Если это число выражаетъ дюймы, то площадь треугольника ABC = площади тр. $ADB = {}^1/_2\ (AD \times 2)\ \square'' = AD\square''$ и слѣдовательно оно даетъ число квадратныхъ дюймовъ въ площади треугольника ABC, ибо высота треугольника ADB равна 2 дюймамъ. Если же дѣленія обозначаютъ вышеуказанные промежутки въ 0,24 дюйма, то при масштабѣ ${}^1/_{8400}$ число $AD = 32$ будетъ соотвѣтствовать площади треугольника ADB, выраженной въ десятинахъ, ибо тогда площадь $ABD = {}^1/_2\ AD \times BK$, причемъ $BK = 2$ дюймамъ (ширинѣ линейки) въ масштабѣ ${}^1/_{8400}$ равна 200 саж., т. е. будетъ ${}^1/_2\ (32 \times 24 \times 200) = 32 \times 2400\ \square$ саж. $= 32$ десятины. Если бы основаніе AB оказалось менѣе 2 дюймовъ, то его удваи-



Черт. 236.

ваютъ, утраиваютъ,.... вообще дѣлаютъ n-кратнымъ и прочтенную при D площадь дѣлятъ на выбранное для основанія число n.

Въ томъ же случаѣ когда основаніе AB настолько велико, что длина агрометра окажется для него недостаточной (сравнительно малой), то основаніе AB или дѣлятъ на 2, на 3 и т. д. равныя части и полученное при D число удваиваютъ, утраиваютъ и т. д., или же просто, разбивъ основаніе на произвольныя (хотя бы и не равныя части), разбиваютъ тѣмъ самымъ данный ΔABC на нѣсколько другихъ треугольниковъ, которые и вычисляютъ по отдѣльности каждый.



Черт. 237.

Числовой примѣръ. Площадь многоугольника *ABCDE FHJKLMNOPQRST* (черт. 233) по серединѣ разбита на семь большихъ $\triangle$-ковъ: α, β, γ, δ, ϑ, ε, η, а вдоль границы —на мелкіе треугольники и трапеціи: a, b, c, d, e, f, g, h, i, k, m, l, основанія и высоты которыхъ показаны (подписаны) на чертежѣ.

Площадь $\triangle$-ка $\alpha = 342{,}4 \times 70{,}4 = 24104{,}96$ кв. саж.
$\beta = 342{,}4 \times 112{,}5 = 38520{,}00$ „ „
$\delta = \left.\begin{matrix}388{,}8\end{matrix}\right\} \times 97{,}1 = 37752{,}48$ „ „
$\gamma = \left.\begin{matrix}\end{matrix}\right\} \times 108{,}3 = 42107{,}04$ „ „
$\eta =$ . . . . . .
$\vartheta =$ . . . . . .
$\varepsilon =$ . . . . . .

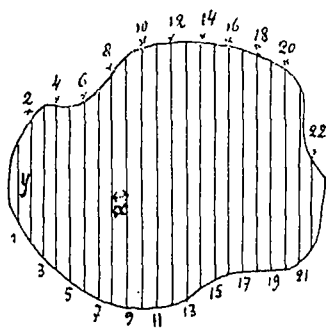
Сумма 193148,00 кв. саж.

△-ка $c =$ . . . . . .
$d =$ . . . . . .
Трапецій $b = 34{,}4 \times 80{,}0 = 2752{,}00$
$c = 48{,}8 \times 35{,}8 = 1747{,}04$
Сумма 9544,48 и т. д.

Искомая вся площадь $ABC\ldots$ $T = 89$ дес. 1073,7 кв. саж.

Если бы площадь многоугольника $ABC\ldots$ K (черт. 237) была нанесена на разграфленную на квадраты бумагу,[1] то, зная сторону каждаго квадрата и, подсчитывая сперва *число полныхъ квадратовъ* внутри фигуры, легко было бы подсчитать образуемую ими площадь, а затѣмъ уже перейти къ подсчету площадей отрѣзковъ вдоль границъ: треугольника Aod, трапецій $odpB$, $BprC$, $hrSi$, $sitD$, $tDuk$, △ков kuv и vyy' и т. д. придавая всѣ здѣсь поименованные отрѣзки, за исключеніемъ vyy', который слѣдуетъ вычесть изъ квадрата $dfky'$.

Линейка Баслера есть не что иное, какъ наугольникъ (въ видѣ буквы T) основаніе котораго—голова состоитъ изъ двухъ линеекъ, связанныхъ двумя равными на 4 шарнирахъ пластинками; благодаря чему вторая линейка движется параллельно первой, перемѣщаясь по высотѣ наугольника. На высотѣ нанесены дѣленія, цѣна которыхъ подписана числами вдвое меньшими: у 4 стоитъ 2 и т. д. Головка наугольника кладется на основаніе вычисляемаго треугольника, параллельная линейка отодвигается до его вершины, у которой по высотѣ наугольника прочитывается площадь.



Черт. 238.

Для вычисленія криволинейныхъ контуровъ можно пользоваться или волосяной сѣткой, или просто масляной прозрачной бумагой съ начерченными на ней равно отстоящими параллельными линіями (арфой), попеременно окрашенными въ красный и синій цвѣтъ. Обчертивъ по бумагѣ арфы криволинейный контуръ, вымѣряютъ по масштабу циркулемъ всѣ y (черт. 238) и зная разстояніе x между ними, примѣняютъ формулу Симпсона для опредѣленія площади контура, т. е.

$$P = \frac{2}{3}x\left[(y_2 + y_4 + y_6 + \ldots + y_{n-2}) + 2(y_1 + y_3 + y_5 + \ldots + y_{n-1}) + \frac{y_0 + y_n}{2}\right]$$ [1])

[1]) Выводъ формулы Симпсона основанъ на томъ, что взявъ двѣ трапеціи съ высотами x и паралельными основаніями, напр., y_1, y_2 и y_3, разбиваютъ эти двѣ трапеціи на три, съ высотами $= {}^2/_3 x$. Вслѣдствіе чего взятыя двѣ трапеціи даютъ $p_2 + p_3 = {}^2/_3 x$, $({}^1/_2 y_1 + {}^1/_2 2 y_2 + {}^1/_2 y_3)$, а сумма всѣхъ трапецій, взятыхъ попарно, приводятъ къ формулѣ Симпсона.

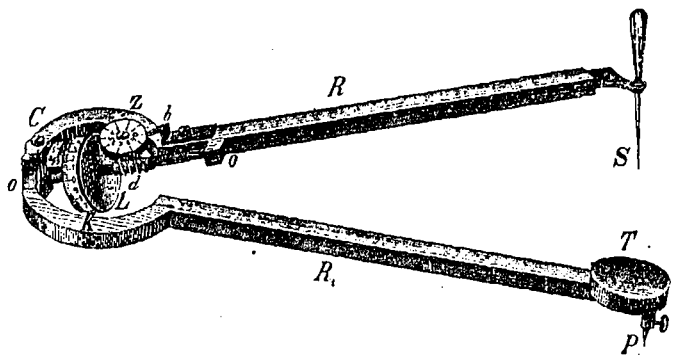
Если y_0 и y_n (какъ на чертежѣ) окажутся равными нулю, то примѣненіе формулы упростится.

Если криволинейный контуръ великъ, то его или заключаютъ въ многоугольникъ, или вписываютъ въ него многоугольникъ и, вычисливъ по отдѣльности площадь многоугольника разбивкою его на треугольники, а отрѣзки между контуромъ многоугольника и даннаго криволинейнаго контура—по формулѣ Симпсона, искомую площадь, въ случаѣ описаннаго около нея многоугольника, получаютъ какъ разность, а въ случаѣ вписаннаго въ нее многоугольника,— какъ сумму площадей многоугольника и прилегающихъ къ нему отрѣзковъ.

§ 156. **Вычисленіе площадей фигуръ по плану планиметрами,** или такъ называемый *механическій способъ* вычисленія площадей. Здѣсь мы ограничимся разсмотрѣніемъ главнымъ образомъ *полярнаго планиметра* системы Амслера и усовершенствованнаго полярнаго планиметра Коради.

Полярными планиметрами условимся называть такіе, которые при употребленіи вращаются около одной неподвижной точки, называемой *полюсомъ*, а линейными тѣ, которые при ихъ употребленіи перемѣщаются по плану параллельно своему первоначальному положенію.

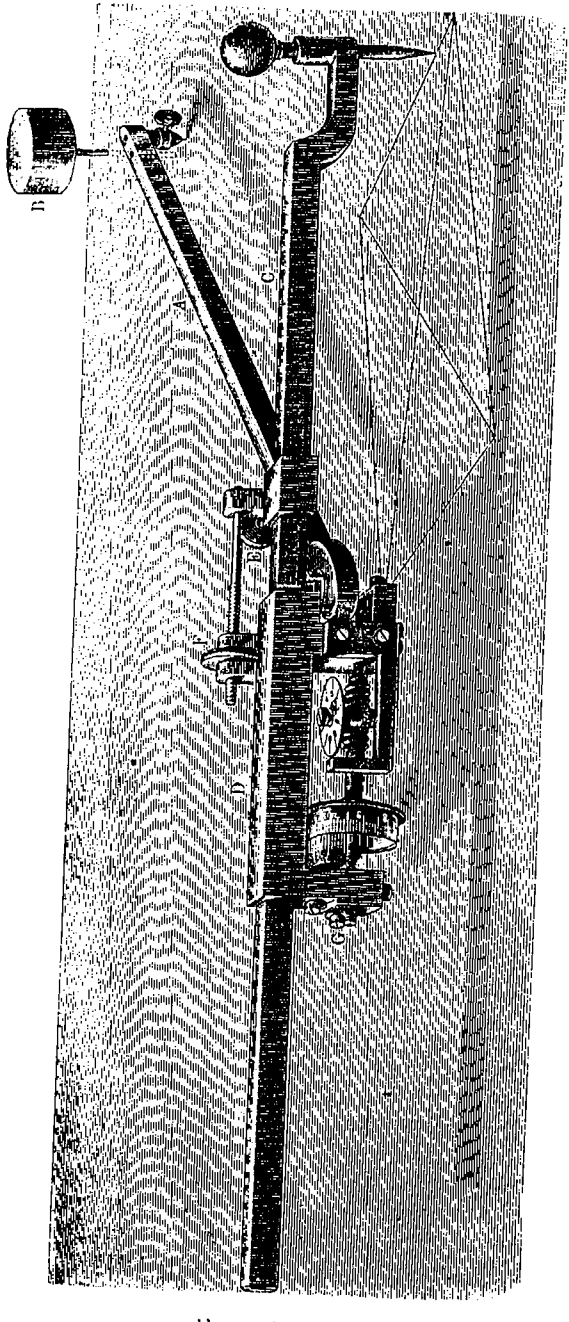
§ 157. **Полярный планиметръ Амслера** состоитъ изъ двухъ мѣдныхъ рычаговъ R_1 и R (черт. 239), соединенныхъ между



Черт. 239.

собою стальною тонкою вертикальною осью вращенія C (шарниромъ). Одинъ изъ рычаговъ R_1, имѣющій на свободномъ отъ оси C концѣ иглу P и тяжесть T, называется *полюснымъ рычагомъ*, въ отличіе отъ другого рычага R, снабженнаго штифтомъ S съ рукояткою *(грифомъ)* и носящаго названіе *обводнаго рычага*. При употребленіи плани-

метра, штифтомъ S водятъ по контуру той фигуры, площадь которой вычисляется; игла P при этомъ втыкается въ бумагу надавливаніемъ на тяжесть T и остается во все время обвода на одномъ и томъ же мѣстѣ. Эту постоянную точку планиметра, около которой онъ вращается во время обвода фигуры, называютъ *полюсомъ*. На обводномъ рычагѣ R ближе къ оси скрѣпленія C помѣщается металлическое *счетное колесо* (валикъ) K съ выступающимъ краемъ—ободкомъ L. Колесо прикасается къ бумагѣ одною изъ точекъ окружности L. плоскость круга которой *перпендикулярна* къ горизонтальной проекціи линіи CS, соединяющей проекціи оси скрѣпленія рычаговъ и обводнаго шпиля. Такимъ образомъ планиметръ имѣетъ на бумагѣ три точки опоры: иглу, обводный шпиль и точку прикосновенія выступающаго края колеса. Цилиндрическая поверхность валика подраздѣлена на 100 частей, причемъ десятки подписаны цифрами 1, 2, 3,..... 7, 8, 9, 0, считая отъ штриха, подписаннаго нулемъ. Для подсчета числа полныхъ оборотовъ начальной точки прикосновенія окружности L къ бумагѣ или, что то же самое, числа полныхъ оборотовъ валика K, сдѣланныхъ имъ за все время движенія обводнаго штифта S по контуру фигуры, служитъ раздѣленный на 10 частей круглый *циферблаттъ* Z съ указателемъ b. Циферблаттъ насаженъ на ось, оканчивающуюся шестернею, зубцы которой соединяются съ нарѣзкою безконечнаго винта d горизонтальной оси OO валика K, съ которой онъ наглухо соединёнъ, такъ что составляетъ съ нею одно нераздѣльное цѣлое. Вращеніе валика K съ осью OO происходитъ около точекъ O и O, служащихъ вершинами конусовъ, въ которые обточены концы оси OO; эти шипы оси упираются въ подшипники, имѣющія видъ винтовъ, съ гнѣздами въ изогнутой части Czb рычага R. Къ окружности колеса K прилегаетъ верньеръ, образуя, во избѣжаніе тренія, узкую щель между собою и краемъ валика. Точность t верньера равна $\frac{1}{10}$ доли сотаго дѣленія валика K. По верньеру, слѣдовательно, читаются *тысячныя* доли полнаго оборота колеса K. Каждый полный оборотъ колеса K отмѣчается указателемъ b циферблатта, переходомъ его съ одного штриха на сосѣдній, такъ какъ одно дѣленіе циферблатта соотвѣтствуетъ одному полному обороту колеса. Нулевой штрихъ верньера отмѣчаетъ десятыя и сотыя доли полнаго оборота окружности L колеса K, а отсчётъ по верньеру даетъ тысячныя доли той же длины окружности L. Вслѣдствіе этого, считая тысячную долю длины окружности L за единицу, можно сказать, что полный оборотъ циферблатта соотвѣтствуетъ числу $10 \times 100 \times 10 = 10000$ дѣленій, считаемыхъ по ноніусу (на циферблаттѣ 10 подраздѣленій, на окруж-



Черт. 240.

ности колеса 100 дѣленій, да каждое дѣленіе колеса при помощи ноніуса подраздѣляется еще на 10 частей).

Планиметры Амслера въ ихъ первоначальномъ устройствѣ встрѣчаются въ двухъ видахъ: съ *постояннымъ обводнымъ рычагомъ*—это, только что описанный и изображенный на чертежѣ 239, и съ *перемѣннымъ* по длинѣ *переставнымъ* обводнымъ рычагомъ C (черт. 240), весьма немногимъ отличающійся отъ перваго. Сходство и различіе въ устройствѣ обоихъ видовъ легко усмотрѣть изъ приводимыхъ рисунковъ. Перестановка обводнаго рычага C (черт. 240) съ цѣлію измѣненія его длины совершается простымъ его передвиженіемъ отъ руки въ муфтахъ D и E, въ которыхъ онъ затѣмъ закрѣпляется нажимательнымъ винтомъ E и медленно передвигается микрометреннымъ винтомъ F.

Передвигая обводный рычагъ въ муфтахъ, можно измѣнять его длину, сообразуясь съ размѣрами обводимой фигуры.

Площадь обводимой фигуры можетъ получаться двояко: 1) въ натуральномъ видѣ, т. е. въ квадратныхъ дюймахъ или футахъ, для чего на рычагѣ для установки муфты имѣются два штриха съ надписями ($1\square''$ и $0{,}0001\square'$), а также 2) въ поземельной мѣрѣ того участка, на который составленъ планъ, напр., десятинахъ [1]),—для чего также имѣются два штриха съ надписями:

$$\left|\begin{array}{l} {}^1/_{20}\ D\ (1''=100\,S) \\ {}^1/_{80}\ D\ (1''=500\,S) \end{array}\right. \quad \text{и} \quad \left|\begin{array}{l} 0{,}02\ D\ (1''=100\,S) \\ 0{,}005\ D\ (1''=\ 50\,S) \end{array}\right.$$

Изъ описанія устройства планиметра Амслера и приложенныхъ чертежей 239 и 240 можно было усмотрѣть, что: 1) опредѣленіе по плану площади данной въ немъ фигуры сводится къ обводу контура фигуры шпилемъ S рычага R (черт. 239) и 2) *къ подсчету длины дуги* U, *на которую обернулось колесо* K (въ доляхъ длины окружности L колеса K, движущейся по бумагѣ плана), за все время перемѣщенія обводнаго шпиля по контуру фигуры.

Будемъ различать два случая: 1) полюсъ планиметра находится *внутри обводимаго контура* и 2) полюсъ помѣщается *внѣ вычисляемой площади*.

Первоначальное и конечное положеніе планиметра пусть опредѣляются отсчетами, сдѣланными на циферблатѣ, колесѣ и ноніусѣ планиметра.

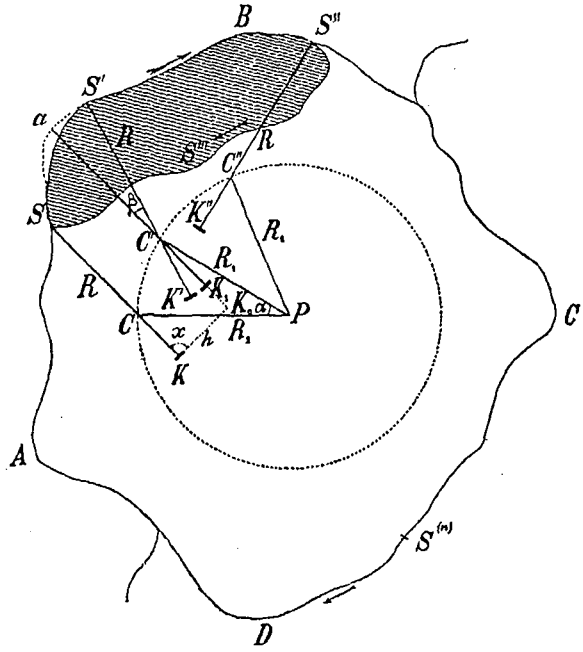
Обводъ контура дѣлается слѣва направо, т. е. *по ходу часовой стрѣлки*, при чемъ къ указателю b и нулю верньера подходятъ *вообще* возрастающія подписи дѣленій и, послѣ

[1]) въ зависимости отъ масштаба плана.

того, какъ обводъ закончился, второй отсчетъ долженъ быть болѣе перваго. Напротивъ того, колесо и циферблатъ вращаются въ сторону убывающей подписи, если контуръ обводится противъ хода часовой стрѣлки, а потому сдѣланный отсчетъ послѣ обвода контура не соотвѣтствуетъ истинному пути, пройденному окружностію L колеса K, а является дополненіемъ къ числу, представляющему *полный оборотъ циферблатика* (т. е. къ $10 \times 1000 = 10000$), выраженному въ *тысячныхъ* доляхъ длины окружности L.

При движеніи обводнаго шпиля S по контуру фигуры, колесо K (что легко усмотрѣть, слѣдя за нимъ) будетъ то вращаться, то скользить по бумагѣ.

Не трудно показать, что вся площадь Π обводимой сомкнутой фигуры $ABCDA$ (черт. 241) можетъ быть выра-



Черт. 241.

жена въ зависимости отъ размѣровъ планиметра, а именно отъ длины R и R_1 его обоихъ рычаговъ, разстоянія ρ отъ оси скрѣпленія рычаговъ до плоскости L счетнаго колеса K и отъ длины U той дуги, на которую обернется колесо K, т. е показать, что П есть нѣкоторая величина F зависящая отъ величинъ R, R_1, ρ и U, т. е.

$$\Pi = F\,(R,\ R_1,\ \rho,\ U),$$

а именно *общая формула* для случая, *когда полюсъ P стоитъ внутри фигуры*, будетъ:

$$П = RU + Q,$$
$$\text{гдѣ } Q = \pi\ (R^2 + R_1^2 \pm 2R\rho)$$

Величину Q, зависящую отъ длины обоихъ рычаговъ и ρ, или иначе отъ размѣровъ планиметра, принято называть *постояннымъ числомъ* планиметра.

Въ томъ же случаѣ, когда *полюсъ* планиметра *помѣщается внѣ* вычисляемой *площади*, формула принимаетъ видъ:

$$П_1 = RU_1.$$

Итакъ, получаются двѣ формулы

$$П = RU + Q \text{ (полюсъ } \textit{внутри} \text{ фигуры)}$$
$$П_1 = RU_1 \text{ (полюсъ } \textit{внѣ} \text{ фигуры).}$$

Такимъ образомъ употребленіе планиметра съ постановкою полюса внѣ фигуры выгоднѣе, ибо тогда не требуется знанія постояннаго числа Q. [1])

§ 158. Опредѣленіе постояннаго числа планиметра Амслера. Формулы $П = RU + Q$ и $П_1 = RU_1$ *для одной и той же фигуры съ площадью* П *даютъ*:

$$RU + Q = RU_1 \text{ } \textit{откуда}$$
$$Q = RU_1 - RU \text{ или } Q = R\ (U_1 - U),$$

а это прямо указываетъ, что *постоянное число Q легко найти какъ разность показаній планиметра при двухъ обводахъ шпилемъ одной и той же фигуры,—перваго, когда полюсъ стоитъ внѣ фигуры и второго, когда онъ стоитъ внутри ея.*

Прежде чѣмъ переїдемъ къ самому пріему употребленія полярнаго планиметра Амслера, остановимъ наше вниманіе на небольшомъ видоизмѣненіи устройства планиметра Амслера, сдѣланномъ Коради, тѣмъ болѣе что пріемъ употребленія остается одинаковымъ для обоихъ планиметровъ

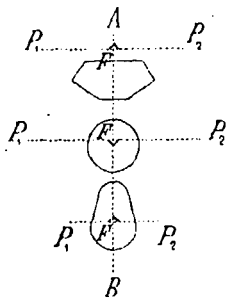
§ 159. Усовершенствованные планиметры Амслера системы Коради. Ось счетнаго колеса (валика), можетъ уклоняться отъ того нормальнаго положенія, которое она должна занимать; это уклоненіе, неизбѣжно однако появляющееся при устройствѣ полярныхъ планиметровъ по системѣ Амслера, обыкновенно вредно сказывается на результатѣ, даваемомъ планиметромъ. Желаніе избѣжать ошибки въ окончательномъ результатѣ, а также стремленіе сдѣлать ось C скрѣпленія

---

[1]) Теорію полярнаго планиметра см. полный курсъ Низшей Геодезіи С. М. Соловьева.

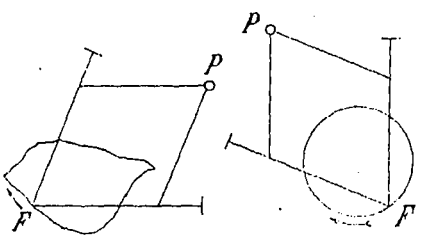
рычаговъ болѣе совершенною (болѣе прочною и дозволяющею большій растворъ рычаговъ при употребленіи) навело на мысль Коради устранять вліяніе несовершенства въ устройствѣ планиметра Амслера *двойной постановкой полюса планиметра*. При такой постановкѣ полюса, уклоненіе результата, отъ истиннаго его значенія на одну и ту же величину во взаимно-противоположныя стороны останется безъ послѣдствій, если только за окончательный результатъ принять среднее ариѳметическое изъ обоихъ результатовъ, полученныхъ при каждой изъ постановокъ полюса. Если при одной изъ нихъ результатъ будетъ болѣе истиннаго, то при другой—настолько же меньше, и полусумма (ариѳметическое среднее) изъ нихъ дастъ результатъ, освобожденный отъ вліянія ошибочнаго положенія осей планиметра.

При осуществленіи этой мысли немедленно же обнаружилось, что при обводѣ правильныхъ фигуръ за такія два положенія полюса нужно принимать тѣ изъ всѣхъ его возможныхъ положеній, которыя симметрично расположены относительно оси (симметріи) AB фигуры, т. е. при которыхъ (черт. 242) $P_1F = FP_2$, и P_1P_2 перпендикулярно къ AB и сверхъ того обводный рычагъ относительно полюснаго рычага находится вправо, если полюсъ—въ P_1 и—влѣво, если полюсъ въ P_2.



Черт. 242.

Позднѣе обнаружилось, что то же самое произойдетъ при обводѣ контура любой формы (черт. 243) даже при одномъ и томъ же положеніи полюса, если только обводный рычагъ одинъ разъ будетъ находиться влѣво, а другой разъ—вправо отъ полюснаго рычага, такъ какъ при этомъ получаются два результата, обнаруживающіе наклонъ оси счетнаго колеса (валика) въ противоположныя стороны.



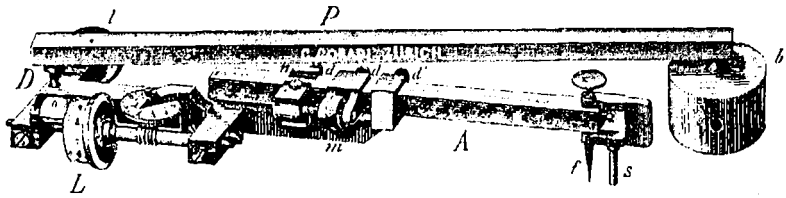
Черт. 243.

Это открытіе принудило отказаться отъ практиковавшейся до сего времени конструкціи обыкновенныхъ полярныхъ планиметровъ, допускающихъ пользованіе ими только при одномъ положеніи обводнаго рычага, вправо отъ полюснаго и ввело въ употребленіе изготовляемые Коради *компенсаціонные полярные планиметры* [1]). Планиметры эти

[1]) Для Россіи представителемъ Коради является механикъ Г. Герлахъ въ Варшавѣ и только черезъ него можно пріобрѣсти настоящіе планиметры Коради.

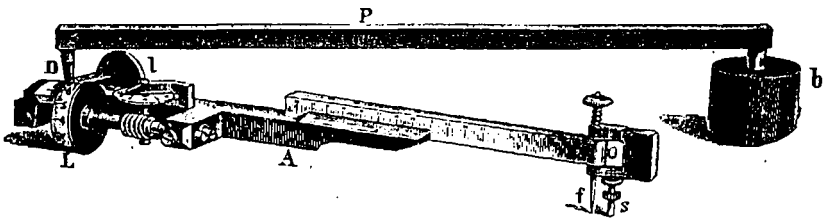
по точности даваемыхъ результатовъ стоятъ въ такомъ отношеніи къ обыкновенному полярному планиметру, какъ теодолитъ съ трубою, переводящеюся черезъ зенитъ, къ теодолиту съ непереводящеюся трубой.

Устройство планиметра съ перемѣннымъ и постояннымъ рычагомъ изображено на чертежахъ 244 и 244bis. Въ



Черт. 244.

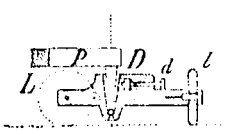
числѣ нѣкоторыхъ особенностей компенсаціоннаго планиметра надо отмѣтить *игольчатый полюсъ b*, неразрывно связанный съ тяжестію, находящеюся подъ полюснымъ рычагомъ; онъ обладаетъ большимъ удобствомъ въ противопо-



Черт. 244bis.

ложность прежнему полюсу съ отдѣляющеюся накладною тяжестію и большой иглой,—его не надо втыкать въ бумагу и продырявливать ее проколомъ иглы насквозь и кромѣ того при немъ возможно быстро и удобно устанавливать счетное колесо на нуль, для чего достаточно только наклонить въ бокъ полюсный рычагъ такъ, чтобы находящаяся подъ тяжестью малая игла не касалась бумаги и затѣмъ двигать по плану полюсъ до тѣхъ поръ, пока не произойдетъ установка на нуль.

Главнѣйшею особенностію инструмента надо считать то, что онъ состоитъ изъ двухъ частей: обводнаго *A* и полюснаго *P* рычаговъ, отдѣльно укладывающихся въ футляръ. Соединеніе обоихъ рычаговъ изображено на черт. 245.



Черт. 245.

Обводный рычагъ (черт. 244) *ALD* имѣетъ три точки опоры,—вращающееся мѣдное колесо валика (ободокъ счетнаго колеса) *L*, опорное колесеко *l* и обводный штифтъ *f*. Обводный рычагъ настолько низокъ, что про-

ходитъ подъ полюснымъ рычагомъ и свободно достигаетъ симметричнаго своего положенія. Ось опорнаго колеса *l* и ось ободка счетнаго колеса *L* взаимно перпендикулярны, и обѣ находятся въ плоскости, параллельной плану. Чтобы придавать обводному рычагу надлежащую длину, на немъ нанесены или полумилиметровыя дѣленія съ присоединеніемъ къ нимъ нонiуса, или на боковой грани штрихи съ особыми надписями. На эти штрихи устанавливается скошенный край муфты, въ которой двигается обводный рычагъ. При рычагѣ помѣщаются нажимательные винты *ddd'* муфты и микрометренный винтъ *m*, дѣйствующій по закрѣпленіи *d'*. Съ боку обводнаго шпиля *f* помѣщается удобный для концевъ пальцевъ руки *грифъ*, снабженный пружиной и подставкою *s*[1]). Нажимая на головку шпиля, возможно точно отмѣчать остріемъ обводнаго шпиля на бумагѣ начальную, а слѣдовательно и конечную точку обвода.

Соединеніе обоихъ рычаговъ происходитъ не такъ, какъ у планиметра Амслера, вертикальною тонкою игольчатою осью, легко подвергающеюся ошибкамъ механическаго исполненія и поврежденіямъ, а прочной стальной цапфой полюснаго рычага съ отшлифованнымъ на ея концѣ *шаровымъ наконечникомъ*, погружающимся въ полушарообразное же углубленіе (гнѣздо), высверленное въ обводномъ рычагѣ. Это устройство легко усмотрѣть изъ прилагаемыхъ чертежей 244 и 245. Для обезпеченія устойчивости положенія шарообразной части и самаго игольчатаго рычага служитъ тяжесть *b* полюснаго рычага. *Ось скрыленія рычаговъ необходимо представлять себѣ чисто математическою, прямою линіею, проходящею черезъ цапфу и шарообразный наконечникъ перпендикулярно къ плоскости плана.*

Качанія конической части шарообразнаго наконечника внутри его гнѣзда въ обводномъ рычагѣ, а вмѣстѣ съ ней и всего полюснаго рычага не производитъ никакого вліянія на даваемые инструментомъ результаты, такъ какъ черезъ это не мѣняются размѣры какихъ-либо другихъ частей планиметра, обусловливающихъ (какъ это показываетъ теорія полярнаго планиметра) величину даваемаго инструментомъ результата и оно не вредитъ предназначенному этимъ частямъ взаимодѣйствію.

Какъ видно изъ чертежа 244 счетное колесо (валикъ) *L* находится сбоку, чрезъ что совершенно свободно читаются цифры и дѣленія какъ по нему, такъ и по верньеру, а также и по горизонтальному циферблатту.

Дѣленія рѣзко нанесены на целлюлоидѣ и позволяютъ при нѣкоторомъ навыкѣ различать четвертыя доли одного дѣленія нонiуса. Колесо валика (ободокъ счетнаго колеса)

---

[1]) Подставка *s* предохраняетъ планъ отъ царапинъ, которыя получаются отъ обводнаго шпиля, такъ какъ она выше, чѣмъ *f*.

L не рѣдко бываетъ сдѣлано изъ стекла чтобы предохранить его отъ свойственныхъ металлу ржавчины и стиранія.

Компенсаціонный планиметръ болѣе удобенъ при употребленіи, чѣмъ полярный планиметръ прежней конструкціи, такъ какъ его обводный рычагъ можетъ уклоняться отъ полюснаго на уголъ, близкій къ 170° въ обѣ стороны безъ того, чтобы сообщить неустойчивое положеніе инструменту, слѣдовательно этотъ планиметръ дозволяетъ обводить заразъ фигуры большихъ размѣровъ. Имъ можно также пользоваться для вычисленія фигуръ, находящихся на краяхъ карты, если только онъ хорошо вывѣренъ.

Употребленіемъ инструмента съ двойной постановкою его полюснаго рычага направо и налѣво достигается еще и то, что нѣжныя его части, особенно же ободокъ счетнаго колеса, не будутъ стираться односторонне, какъ при старой конструкціи, а слѣдовательно гарантируетъ наиболѣе продолжительную пригодность инструмента.

Въ послѣднее время (около 15 лѣтъ тому назадъ) Coradi сдѣлалъ еще усовершенствованіе въ полярномъ планиметрѣ, помѣстивъ счетное колесо на особую шейбу, благодаря чему на отсчетахъ по колесу не сказываются неровность бумаги (складки плана).

§ 160. Преобразованіе формулъ $\Pi = RU + Q$ и $\Pi_1 = RU_1$ для употребленія планиметра Амслера. Выше мы замѣтили, что U или U_1 необходимо выражать въ тысячныхъ доляхъ длины L окружности колеса K, дѣлая отсчеты по циферблатту, колесу и верньеру до обвода фигуры плана, и послѣ него. Пусть по циферблатту замѣчено число цѣлыхъ оборотовъ колеса K, по нулю верньера десятыя и сотыя доли цѣлаго оборота, а по верньеру отсчитаны тысячныя доли, т. е. полный отсчетъ сдѣланъ въ четыре цифры. Обозначимъ его черезъ μ_1. Допустимъ, что послѣ обвода сдѣланъ подобный же отсчетъ μ_2, такъ что $(\mu_2 - \mu_1)$ есть число тысячныхъ долей полнаго оборота колеса K. Обозначимъ *длину одного дѣленія планиметра, т. е.* 0,001 L черезъ τ, тогда

$$U = (\mu_2 - \mu_1)\,\tau \text{ и } U_1 = (\mu_2 - \mu_1)_1\,\tau,$$

Площади:

$$\Pi = R\tau\ (\mu_2 - \mu_1) + Q \text{ и } \Pi_1 = R\tau\ (\mu_2 - \mu_1)_1.$$

Входящее сюда произведеніе $R\tau = p$ есть площадь, соотвѣтствующая одному дѣленію планиметра или иначе *цѣна одного дѣленія планиметра.* Если площадь Q основного круга представимъ согласно § 158 въ видѣ $Q = R\ (U_1 - U)$, а разность $U_1 - U = q\ .\ \tau$, то $Q = R\ .\ \tau\ .\ q$ или $Q = p\ .\ q$, и формулы примутъ видъ:

$$\Pi = p\ (\mu_2 - \mu_1) + pq$$
$$\Pi_1 = p\ (\mu_2 - \mu_1)_1$$

или $$\underbrace{\Pi = \{(\mu_2 + q) - \mu_1\}p}_{\text{полюсъ внутри фигуры}}$$

и $$\underbrace{\Pi_1 = (\mu_2 - \mu_1)_1\ p}_{\text{полюсъ внѣ фигуры.}}$$

Зная значеніе входящихъ сюда буквъ, яснымъ становится самое употребленіе планиметра въ томъ и другомъ случаѣ.

Если Π менѣе Q, то $\Pi - Q = RU$ должно быть отрицательно и болѣе общая первая формула будетъ:

$$\Pi = Q \pm RU.$$

Такъ какъ R отрицательнымъ *быть не можетъ*, то слѣдовательно $U = \mu_2 - \mu_1$ должно быть отрицательно, т. е. $\mu_1 > \mu_2$; а это будетъ имѣть мѣсто только тогда, *когда колесо будетъ вращаться въ сторону, противоположную возрастающей подписи колеса.* Такимъ образомъ въ случаѣ, когда данная площадь менѣе площади основного круга, и полюсъ находится внутри данной фигуры, колесо (при обводѣ фигуры слѣва направо) должно вращаться въ сторону противоположную возрастающей подписи колеса.

§ 161. Геометрическое значеніе цѣны одного дѣленія планиметра. Абсолютная и относительная цѣна одного дѣленія планиметра и ихъ измѣненіе. Измѣненіе длины рычага R съ измѣненіемъ масштаба плана. Геометрическое значеніе произведенія $R\tau = p$, т. е цѣны одного дѣленія планиметра, есть площадь прямоугольника, построеннаго на длинѣ R рычага съ высотою, равною длинѣ τ.

Площадь эта можетъ быть разсматриваема въ ея натуральную величину на планѣ и выражена въ квадратныхъ дюймахъ, футахъ, миллиметрахъ и т. п. единицахъ, смотря потому въ какихъ единицахъ выражены R и τ. Такое значеніе $R\tau = p$ будемъ называть *абсолютною цѣною* одного дѣленія планиметра. Но цѣнѣ одного дѣленія планиметра p можетъ быть придано и другое значеніе, если подъ p станемъ подразумѣвать ту поземельную мѣру, которой p можетъ соотвѣтствовать, *въ зависимости отъ масштаба плана*, если по плану хотятъ вычислять планиметромъ площади контуровъ въ поземельной мѣрѣ.

Такъ, если нанести на бумагу R и τ въ ихъ натуральную длину, а затѣмъ образованный ими прямоугольникъ на бумагѣ засчитать за поземельный участокъ, построенный, напримѣръ, въ масштабѣ $\frac{1}{m}$, то поземельная мѣра S, которой p станетъ соотвѣтствовать, выразится чрезъ

$$S = R.\ m.\ \tau.\ m = R.\ \tau.\ m^2 \text{ или}$$
$$S = pm^2.$$

Такое значеніе цѣны одного дѣленія планиметра, выраженное въ поземельной мѣрѣ, станемъ называть *относительною цѣною одного дѣленія планиметра.*

Величины p и S могутъ измѣняться: p можетъ измѣняться только съ измѣненіемъ R, такъ какъ τ остается постояннымъ для одного и того же планиметра, при томъ p измѣняется прямо пропорціонально длинѣ R. Для различныхъ R будутъ получаться различныя числовыя значенія p. Очевидно, что если бы мы пожелали придать p заранѣе намѣченное нами числовое значеніе, то нашли бы для него и числовое значеніе для R, ибо

$$R = \frac{p}{\tau}.$$

Что же касается измѣненія S, то оно можетъ зависѣть и отъ R, и отъ m, такъ какъ

$$S = R.\tau.m^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Если измѣнить m въ m_1 и R замѣнить черезъ R_1 то вмѣсто S найдемъ

$$S_1 = R_1.\tau.m_1^2 \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Отношеніе S къ S_1 даетъ:

$$\frac{S}{S_1} = \frac{R}{R_1} \cdot \left(\frac{m}{m_1}\right)^2 \cdot \ldots\ldots\ldots (3)$$

Откуда находимъ *общую формулу* для измѣненія R въ R_1 въ зависимости отъ измѣненія масштаба плана и отъ измѣненія цѣны S одного дѣленія планиметра.

$$R_1 = R \cdot \left(\frac{m}{m_1}\right)^2 \cdot \frac{S_1}{S} \ldots\ldots\ldots (4)$$

Пусть, напр., дано: для $\frac{1}{m} = \frac{1}{8400}$; $R = 216{,}4$; $S = 0{,}06$ десятины; надо найти R_1 для $\frac{1}{m_1} = \frac{1}{10000}$. По формулѣ находимъ

$$R_1 = 216{,}4 \times \left(\frac{8400}{10000}\right) \times \frac{S_1}{0{,}06};$$

или $R_1 = 152{,}4 \times \frac{S_1}{0{,}06}$. Если S_1 сдѣлаемъ равнымъ $S = 0{,}06$ дес., т. е. $\frac{S_1}{S} = 1$, то $R_1 = 152{,}4$.

Въ тѣхъ же случаяхъ, когда $\left(\frac{m}{m_1}\right)^2$ будетъ > 1 и R_1

получится *болѣе предѣльной* (возможной, приданной ему механикомъ) величины, измѣняютъ или одновременно и R, и S въ R_1 и S_1, или же измѣняютъ только S въ S_1, оставляя R безъ перемѣны.

Изъ формулы (1) слѣдуетъ, что при одномъ и томъ же R величина S измѣняется по (3) прямо пропорціонально *квадрату отношенія знаменателей* масштабовъ, масштабъ плана сталъ вдвое крупнѣе, фигура стала больше—цѣна S стала вчетверо мельче.

Примѣръ: $S = \frac{1}{20}$ десятины, $\frac{1}{m} = \frac{1}{8400}$, опредѣлимъ S_1 для $\frac{1}{m_1} = \frac{1}{2800}$, оставляя R безъ перемѣны.

Изъ равенства (3) при $R = R_1$ слѣдуетъ $S : S_1 = 9$ или $S_1 = S : 9 = \frac{1}{20} : 9 = \frac{1}{180}$ десятины.

Съ измѣненіемъ R будетъ мѣняться и Q—постоянное число планиметра [1]), вслѣдствіе этого на планиметрахъ съ постояннымъ рычагомъ на самомъ рычагѣ вырѣзается какъ p, такъ и S съ Q—для наиболѣе употребительныхъ масштабовъ, какъ объ этомъ упоминалось выше, напр., $S = {}^1/_{20}\, D$ (одной двадцатой десятины) для масштаба ($1'' = 100\, S$) — въ одномъ дюймѣ 100 саженъ или ${}^1/_{80}\, D$ (десятины) для масштаба ($1'' = 50\, S$) — 50 саж. въ дюймѣ.

У планиметровъ съ перемѣннымъ рычагомъ величины p, R, S и Q даются двояко: или на самомъ рычагѣ наносятся штрихи для длины R и при этихъ штрихахъ пишутся или p, или S и Q, или же на передвижномъ рычагѣ наносится цѣлый рядъ дѣленій, напр. полумиллиметры, какъ это дѣлаетъ механикъ Коради, усовершенствовавшій планиметры Амслера вмѣстѣ съ Гоманомъ, и тогда въ футлярѣ планиметра прикладывается особая табличка, по которой легко для данной длины R найти S и Q, для наиболѣе употребительныхъ масштабовъ.

Если масштабъ плана отличается отъ данныхъ при планиметрѣ, то для экземпляровъ съ постояннымъ рычагомъ по необходимости приходится мѣнять относительную цѣну S одного дѣленія планиметра. При этомъ однако можетъ случиться, что вычисленныя значенія S_1 будутъ выражаться дробными числами, напр. $\frac{1}{180} = 0{,}00555....$, неудобными для перевода числа $(\mu_2 - \mu_1)$ дѣленій планиметра въ поземельную мѣру. Въ планиметрахъ съ перемѣннымъ рычагомъ всегда можно избѣжать этого неудобства и назначить цѣну одно-

[1]) См. § 157 опредѣленіе величины Q.

го дѣленія планиметра, выражающуюся хотя и дробнымъ числомъ, но удобнымъ для умноженія и перевода найденнаго по планиметру числа $(\mu_2 - \mu_1)$ въ поземельную мѣру, какъ это мы видѣли изъ только что приведеннаго примѣра.

§ 162. Употребленіе полярнаго планиметра и уходъ за нимъ. Передъ употребленіемъ планиметра для вычисленія площадей необходимо убѣдиться въ надлежащемъ *общемъ состояніи* инструмента: счетное колесо должно легко вращаться и допускать лишь незначительныя, едва уловимыя колебанія вдоль оси, ноніусъ же хотя и не долженъ соприкасаться съ краемъ колеса, но промежутокъ между ними долженъ быть невеликъ, дабы отсчеты можно было точно производить. Полезно отъ времени до времени удалять попадающую въ этотъ промежутокъ пыль кусочкомъ тонкой почтовой бумаги. Обводный и полюсный рычаги, какъ равно и обводный шпиль, предохранять отъ гнутія.

Особое вниманіе должно обращать на предохраненіе счетнаго колеса, какъ важнѣйшей части инструмента, отъ толчковъ или паденія, могущихъ повредить тонкіе концы оси колеса. Эти острія отнюдь не надо вынимать изъ ихъ гнѣздъ. Замѣченное на нихъ сгустившееся масло лучше всего удалять смоченной керосиномъ ниткой, помѣщая ее около гнѣздъ оси въ натянутомъ положеніи и вращая, поддерживая снизу, колесо около его оси, послѣ чего на каждое остріе вновь впускаютъ чистое лучшее смазочное масло съ тонко очиненной деревянной спички.

Въ футлярѣ прилагается таблица, согласно которой можетъ быть взята та или другая *длина рычага, соотвѣтственно величинѣ площади одного дѣленія планиметра.* Напримѣръ, для 1:8400 длина $R = 216{,}4$ и $S = 0{,}06$ десятины.

Установка длины рычага производится сперва на глазъ рукою, а затѣмъ точно, по закрѣпленіи винта d', по верньеру n (черт. 226), находящемуся на муфтѣ обводнаго рычага R, а именно вращеніемъ микрометреннаго винта m, пользуясь ручною лупою. Послѣ чего закрѣпляются винты d, d. Такъ для $R = 216{,}4$, послѣ того какъ индексъ верньера (длинный штрихъ съ точкою) станетъ на 0,4 (между 6 и 7-мъ штрихами) промежутка, подписаннаго цифрами 21 и 22, т. е. четвертый штрихъ верньера совпадаетъ съ соотвѣтствующимъ штрихомъ рычага и получится отсчетъ $216{,}4$; тогда только закрѣпляются винты d, d.

Планъ лучше всего прикалывать кнопками на гладко выструганную *горизонтальную* доску, дабы колесо свободно скользило и вращалось по бумагѣ плана, не задерживаясь на складкахъ и перегибахъ.

Чтобы вполнѣ убѣдиться въ исправномъ общемъ состояніи планиметра, обводятъ 2—3, 4 раза одну и ту же извѣстную площадь (напр., площадь круга, радіусомъ въ 1, 2 или 3 дюйма при помощи контрольной линеечки, на-

ходящейся въ футлярѣ, или площадь начерченнаго квадрата), *изливняя* каждый разъ *полюсъ планиметра относительно обводимаго контура* (то приближая, то удаляя его отъ фигуры). Если площадь контура будетъ выражаться всегда однимъ и тѣмъ же числомъ дѣленій планиметра (или незначительно отъ нея разниться—на 2, 3—6 дѣленій), то общее *состояніе планиметра* считаютъ вполнѣ удовлетворительнымъ.

Выбравъ положеніе полюса, прикидываютъ (бѣгло обводя контуръ обводнымъ шпилемъ)—возможно ли безпрепятственно обвести фигуру такъ, чтобы при всѣхъ положеніяхъ обводнаго шпиля по контуру рычаги не образовали бы излишне остраго или излишне тупого угла и тѣмъ самымъ не нарушали устойчиваго положенія инструмента. Въ противномъ случаѣ мѣняютъ мѣсто полюса.

За начальную точку при обводѣ слѣдуетъ принимать ту точку контура, при установкѣ на которую обводнаго шпиля оба рычага приблизительно будутъ перпендикулярны другъ къ другу, такъ какъ при этомъ колесо больше скользитъ по бумагѣ, чѣмъ вращается (см. опредѣленіе постояннаго числа) и обычная неосторожность при началѣ и концѣ обвода контура менѣе будетъ сказываться на конечный результатъ величины площади.

При вычисленіи площади фигуры предпочтительнѣе полюсъ помѣщать внѣ фигуры.

Выбравъ окончательно мѣсто полюса такъ, чтобы разстояніе между нимъ и обводнымъ шпилемъ, помѣщеннымъ въ середину фигуры, образовали такой растворъ обоихъ рычаговъ, при которомъ рычаги приблизительно перпендикулярны другъ другу и намѣтивъ на контурѣ начальную точку обвода, дѣлаютъ по счетному механизму отсчетъ (или устанавливаютъ штрихъ 0 ноніуса на штрихъ 0 счетнаго колеса), замѣчая также и мѣсто указателя на горизонтальномъ циферблаттѣ; указатель всегда будетъ при этомъ находиться на одномъ изъ штриховъ циферблатта. Отсчетъ по счетному механизму планиметра долженъ заключаться въ: a) цифрѣ, прочтенной на циферблаттѣ, b) цифрѣ, прочтенной по счетному колесу, c) цифрѣ, выражающей № штриха, близъ котораго остановился индексъ (ноль) ноніуса и d) отсчета по ноніусу. Пусть отсчетъ выражается числомъ 3046. Первая цифра его взята съ циферблатта, вторая съ колеса, и указываетъ, что 0 ноніуса стоитъ между 0 и 1 колеса, пройдя четвертый штрихъ этого промежутка, послѣдняя же цифра 6 означаетъ, что шестой штрихъ ноніуса совпадаетъ съ какимъ-либо штрихомъ колеса.

Такъ какъ циферблаттъ вращается помощью шестерни и даетъ плавное движеніе, благодаря нѣкоторому промежутку между шестерней и безконечнымъ винтомъ оси счетнаго колеса, то указатель циферблатта *не всегда точно* оста-

навливается на нанесенныхъ на немъ штрихахъ въ то время, когда 0 ноніуса совпадаетъ или близокъ къ нулю колеса. Чтобы не ошибиться въ отсчетѣ 1-й цифры и не сдѣлать ошибки въ 1000 дѣленій, необходимо принять за правило, что при нахожденіи указателя циферблатта вблизи одного изъ его штриховъ, нужно прочитывать въ томъ случаѣ меньшую цифру, когда 0 ноніуса не прошелъ еще нуля колеса и указываетъ 7, 8, 9 и—большую, когда нуль ноніуса миновалъ уже 0 колеса и стоитъ близъ 1, 2, 3.... Положимъ указатель близокъ къ цифрѣ 3,—смотримъ, гдѣ находится 0 ноніуса. Пусть онъ прошелъ цифру 8 колеса, тогда записываютъ первою цифрою отсчета 2.

Послѣ отсчета начинается тщательная обводка шпилемъ вычисляемой площади по контуру фигуры по направленію хода часовой стрѣлки, т. е. слѣва направо, пока вернутся въ начальную точку обвода. Въ это время инструментъ будетъ вращаться около полюса, а колесо—то вращаться въ одну сторону, то въ противоположную ей, а то просто скользить по бумагѣ вдоль оси своего вращенія.

Болѣе точная обводка достигнется легко, если подъ кисть руки подложить кусочекъ бумаги, обернувъ ее гладкой поверхностью къ плану, а шероховатою къ рукѣ. Въ случаѣ прямолинейнаго контура прикладываютъ вдоль окружной границы фигуры простую линеечку, и по ней двигаютъ обводный шпиль, хотя при этомъ всегда будетъ получаться неизбѣжная односторонняя погрѣшность. При обводѣ же фигуры *„отъ руки"*, безъ линейки, эта погрѣшность будетъ то положительна, то отрицательна, а потому она отчасти будетъ сама собой уничтожаться. Вернувшись въ начальную точку обвода, дѣлаютъ вторично отсчетъ по циферблатту, колесу и ноніусу. Если при этомъ окажется, что ни одинъ штрихъ ноніуса точно не совпадаетъ съ дѣленіями колеса, то выбираютъ два штриха ноніуса, ближе другихъ стоящіе къ штрихамъ колеса и записываютъ, напр,, 7,5, если выбраны были 7-ой и 8-ой штрихи ноніуса.

Пусть полный второй отсчетъ выражается числомъ 5667,5 — тогда вычитаютъ изъ него первый — 3046 и полученную разность

$$\begin{array}{r} 5667{,}5 \\ -\ 3046 \\ \hline 2621{,}5 \end{array}$$

умножаютъ на цѣну одного дѣленія планиметра. Такъ, если тысячная доля полнаго оборота счетнаго колеса (или все равно одно дѣленіе) соотвѣтствуетъ $\frac{1}{20}$ десятины, то искомая площадь обведенной фигуры въ поземельной мѣрѣ будетъ:

$$\frac{1}{20} \times 2621{,}5 = \frac{262{,}15}{2} = 131{,}08 \text{ дес.} =$$
$$= 131 \text{ десятина} + 0{,}08 \times 2400 \square \text{саж.} =$$
$$= 131 \text{ десятина } 192 \square \text{саж.},$$

если же 1 дѣленіе соотвѣтствуетъ $1 \square''$, то число 2621,5 выразитъ натуральную величину на планѣ площади фигуры въ квадратныхъ дюймахъ.

При обводѣ большихъ фигуръ полюсъ планиметра помѣщаютъ или внутри фигуры, примѣрно въ серединѣ ея, или внѣ, разбивъ ее на болѣе мелкія части и вычисляя каждую изъ нихъ въ отдѣльности.

При нахожденіи полюса внутри фигуры [1]), употребленіе планиметра будетъ отличаться отъ предыдущаго только лишь тѣмъ, что ко второму отсчету придаютъ постоянное число, вырѣзанное на обводномъ рычагѣ, при соотвѣтствующемъ штрихѣ сверху, напр.

$$\frac{15323}{0{,}06D} \quad (1:8400)$$

или помѣщенное въ таблицѣ, прилагаемой въ футлярѣ инструмента. Изъ суммы 2-го отсчета съ постояннымъ числомъ вычитаютъ первый отсчетъ, и полученную разность множатъ, какъ и прежде, на цѣну одного дѣленія планиметра.

Постоянное число . . .	15323
2-й отсчетъ	9897
Сумма	25220
1-й отсчетъ	3026
Разность	22194

Площадь $= 22194 \times 0{,}06$ дес. $= 1331{,}64$ дес. $= 1331$ дес. 1536 $\square$ саж.

Если при обводѣ фигуры будетъ замѣчено, что циферблатъ сдѣлаетъ 1, 2, 3... полныхъ оборота (что при цѣнѣ одного дѣленія въ $\frac{1}{20}$ долю десятины соотвѣтствуетъ 500, 1000, 1500 дес.), то при прохожденіи черезъ указатель цифръ въ возрастающемъ порядкѣ слѣдуетъ къ послѣднему отсчету придавать соотвѣтственно 10000, 20000, 30000 дѣленій или что то же самое слѣва приписывать цифру 1, 2, 3.... Когда же площадь обводимой фигуры менѣе площади такъ называемаго основного круга, т. е. когда наибольшее протяженіе фигуры окажется менѣе двойного раствора меж-

[1]) большей постояннаго числа (напр., $15323 \times 0{,}06 = 919{,}38$ дес.).

ду обоими концами P и S рычаговъ въ то время, когда они почти перпендикулярны другъ къ другу (когда плоскость колеса проходитъ черезъ полюсъ планиметра), то въ этомъ случаѣ второй отсчетъ слѣдуетъ, по формулѣ

$$\Pi = -RU + Q = [-(v_2 - v_1) + q]p = [q + (v_2 - v_1)]p,$$

придавать къ постоянному числу и вычитать изъ суммы первый отсчетъ, такъ какъ колесо будетъ вращаться въ обратную сторону.

Обводъ контура шпилемъ должно совершать медленно настолько, чтобы всегда возможно было прочесть при движеніи колеса и циферблатта награвированныя на нихъ цифры и штрихи. При движеніи не должно допускать моментальныхъ остановокъ, а переходъ отъ движенія къ покою и обратно долженъ совершаться постепенно.

Полезно неоднократно обводить фигуру какъ слѣва направо, такъ и справа налѣво, мѣняя при этомъ для каждой соотвѣтственной пары обводовъ мѣсто полюса. Среднее ариѳметическое изъ результатовъ принимается за окончательный.

§ **163. Вычисленіе площадей внутреннихъ контуровъ.** Когда внутри одного контура (какъ, напр., при вычисленіи внутренней ситуаціи дачи) помѣщаются нѣсколько другихъ, то въ этомъ случаѣ: a) *если величина площади общаго контура неизвѣстна, ее вычисляютъ планиметромъ* въ дѣленіяхъ планиметра, b) *если же площадь общаго контура дана* (вычислена по координатамъ), пусть она, напр., 431 дес. 192 кв. саж., *то ее можно выразить въ дѣленіяхъ планиметра*, обративъ предварительно 192 саж. въ десятины и раздѣливъ затѣмъ 431,08 дес. на цѣну одного дѣленія планиметра. Такъ, если эта послѣдняя = 0,06 десятины, то найдемъ площадь общаго контура въ дѣленіяхъ = 431,08 : 0,06 = 7185.

Послѣ этого вычисляютъ *въ дѣленіяхъ планиметра* площади малыхъ контуровъ, составляющихъ большой. Сумма ихъ должна *незначительно* разниться отъ 7185 [1]). Если она, положимъ, превысила это число на 6 дѣленій, то полученныя числа дѣленій для каждаго внутренняго контура уменьшаютъ пропорціонально числу полученныхъ дѣленій для его площади. Пусть по вычисленіи найдено I) 1438, II) 2159 и III) 3594, тогда

[1]) Разность не должна превышать *въ среднемъ* $\frac{1}{200}$ отъ числа дѣленій, выражающихъ общую площадь.

Контуръ.	Неисправленныя площади по планиметру.	Измѣненіе.	Исправленныя площади въ дѣленіяхъ.	Площади въ десятинахъ.
I	 1438	—1	. . 1437 . .	86 д. 518 кв.с.
II	. . . . . +2159	—2	. . 2157 . .	129 „ 994 „ „
III	 3594	—3	. . 3591 . .	215 „1080 „ „
	Сумма . 7191		7185	431 д. 192 к.с. = =431,080 д.
	Общ. площ. —7185			
	Разность. . +6			

прянявъ по исправленіи за вѣрныя величины I) 1437, II) 2157 и III) 3591, составляемъ отношенія:

$$a)\ \frac{1437}{7185},\qquad b)\ \frac{2157}{7185},\ \text{и}\ c)\ \frac{3591}{7185}$$

и множимъ каждое изъ нихъ на 431,08 дес., черезъ что и получимъ площади малыхъ контуровъ, входящихъ въ составъ общаго, въ поземельной мѣрѣ. Другими словами, общую площадь дѣлимъ пропорціонально числамъ:

$$1437 : 2151 : 3591 = 479 : 719 : 1197.$$

Дѣленіе это приводитъ насъ къ слѣдующимъ числовымъ выкладкамъ:

$$\frac{1437}{7185} = \frac{479}{2395} = 0{,}2$$
$$\frac{2157}{7185} = \frac{719}{2395}$$
$$\frac{3591}{7185} = \frac{1197}{2395}$$

I. $431{,}08 \times 0{,}2 = 86{,}216 =$ 86 дес. 518 саж.

II. $431{,}08 \times \frac{719}{2395} = 129{,}414 =$ 129 дес. 994 саж.

III. $431{,}08 \times \frac{1197}{2395} = 215{,}450 =$ 215 дес. 1080 саж.

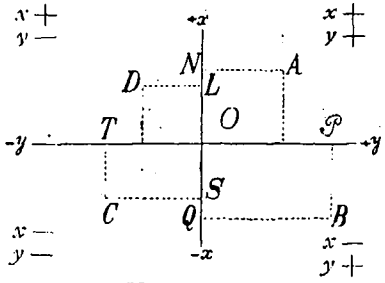
$431{,}080 =$ 431 дес. 192 саж. [1])

[1]) Непосредственное умноженіе полученныхъ чиселъ на цѣну одного дѣленія даетъ нѣкоторую разность общей площади съ суммою составляющихъ ее.

Повѣрка планиметра—см. полный курсъ Низшей Геодезіи С. М. Соловьева.

§ 164. Вычисленіе координатъ вершинъ полигона. Для того чтобы положеніе любой точки снятаго обходомъ полигона можно было нанести на бумагу, *независимо отъ остальныхъ точекъ*, въ геодезіи, для небольшихъ участковъ употребляются *прямоугольныя прямолинейныя координаты*. Въ этой системѣ каждая точка (вершина) полигона опредѣляется двумя разстояніями: однимъ до меридіана какой-либо точки, принятой за начало координатъ, и другимъ разстояніемъ до линіи западъ-востокъ, проходящей черезъ начало координатъ въ направленіи, перпендикулярномъ къ меридіану.

Меридіанъ (линія сѣверъ-югъ) и перпендикулярная къ ней прямая западъ-востокъ называются осями координатъ: первая—осью абсциссъ или осью иксовъ (x-овъ), вторая—осью ординатъ (или осью y-овъ). Разстояніе отъ точки до оси абсциссъ называется ординатою y данной точки, а разстояніе до оси ординатъ называется абсциссою x данной точки. Такъ какъ въ геодезіи азимуты считаются отъ сѣвера къ востоку черезъ югъ и западъ отъ 0° до 360°, то *ось абсциссъ* (x—овъ), согласно правила аналитической геометріи о счетѣ угловъ, *направляется по меридіану*, а ось ординатъ, т. е. y—овъ по направленію линіи западъ-востокъ. Положительныя абсциссы откладываются отъ начала координатъ по оси абсциссъ къ сѣверу, отрицательныя—къ югу. Положительныя ординаты откладываются къ востоку по линіи западъ-востокъ, а отрицательныя—къ западу. Вслѣдствіе такого счета образуются четыре четверти: I-я сѣверо-востокъ (черт. 246) въ которой точка A имѣетъ положительную абсциссу MA и положительную ординату NA; II-я четверть—юго-востокъ, въ которой точка B разсматривается съ отрицательной абсциссой PB и положительной ординатой QB, III-я четверть—юго-западъ; въ ней точка C опредѣляется отрицательной абсциссой TC и отрицательной ординатой SC. Наконецъ IV-я четверть—сѣверо-западъ, въ которой абсциссѣ KD приписываютъ знакъ плюсъ и ординатѣ LD—знакъ минусъ. При указанномъ выше счетѣ азимутовъ отъ сѣвера къ востоку, югу, западу, вновь до сѣвера избирается положительное направленіе оси x—овъ къ сѣверу, а положительное направленіе оси y—овъ къ востоку для того, чтобы *не* нарушать правила аналитической геометріи—считать углы, образуемые данной прямой съ осью x—овъ: отъ положительнаго направленія оси x—овъ къ положительному направленію оси y—овъ отъ 0° до 360°.



Черт. 246.

Знаки вводятся у координатъ для того, чтобы отмѣ-

тить четверть, въ которой лежитъ точка, такъ какъ данныя безъ знаковъ разстоянія точки до осей координатъ дозволяютъ построить четыре положенія точки, симметричныя попарно. Достаточно запомнить знаки первой и второй четверти, такъ какъ третья и четвертая имѣютъ соотвѣтственно знаки противоположные. Пусть, напр., дана точка C ея координатами $x = -15{,}32$ и $y = -27{,}64$. Соотвѣтственно знакамъ данныхъ координатъ точка C лежитъ въ 3-и четверти. Чтобы построить точку C нужно по оси абсциссъ внизъ (къ югу) отъ начала координатъ точки O отложить длину $OS = -15{,}32$ и возставить влѣво (къ западу) отъ оси абсциссъ перпендикуляръ и на немъ отложить величину $SC = -27{,}64$ или сперва отложить $OT = SC$, а потомъ построить $TC = OS$.

Вычисленію координатъ вершинъ какого-либо полигона, обойденнаго, напримѣръ, лентою и теодолитомъ, должны предшествовать:

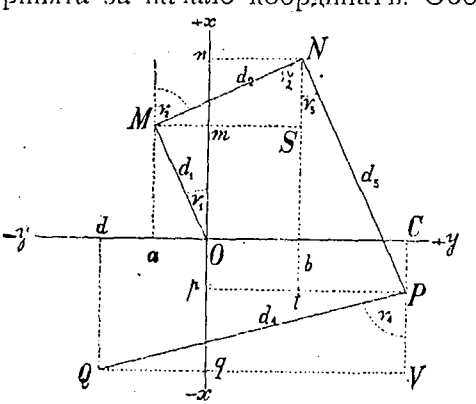
1) сравненіе измѣренной суммы внутреннихъ угловъ съ соотвѣтствующей ей теоретической 180^0 $(n-2)$ суммой, гдѣ n число сторонъ (угловъ) полигона,

2) раскладка оказавшейся разницы (если она менѣе[1]) тройной точности верньера, умноженной на корень квадратный изъ двойного числа угловъ) на углы съ болѣе короткими (обѣими) сторонами,

3) вычисленіе горизонтальныхъ проложеній измѣренныхъ длинъ сторонъ полигона и

4) вычисленіе азимутовъ и румбовъ по исправленнымъ внутреннимъ угламъ.

Пусть, наприм., одна изъ точекъ полигона O (черт. 247) принята за начало координатъ. Обозначимъ длины сторонъ черезъ d съ указателями 1, 2,...., а число градусовъ въ румбахъ тѣхъ же линій черезъ r съ указателями 1, 2.... Предложимъ себѣ найти координаты точки M по длинѣ линіи $OM = d_1$ и ея румбу—$NW : r_1^0$. Абсцисса $Ma = Om$ и ордината $Mm = Oa$ найдутся по абсолютной величинѣ изъ прямоугольнаго треугольника OMm, въ которомъ $OM = d_1$



Черт. 247.

[1]) Основаніе такого правила лежитъ въ ученіи (понятіи) о „предѣльной ошибкѣ".

будетъ гипотенузою, румбъ r_1 — острымъ угломъ и искомыя величины Om и Mm катетами, а именно

$$Om = d_1 \ Cos \ r_1$$
$$Mm = d_1 \ Sin \ r_1.$$

Объ онѣ, согласно указаннаго выше правила счета координатъ, для точки, лежащей въ четвертой четверти (нордъ-вестъ), будутъ имѣть слѣдующіе знаки:
абсцисса точки M, т. е. $Om = x_m = + d_1 . Cos \ r_1$
ордината точки M, т. е. $aO = y_m = - d_1 . Sin \ r_1$.
Координаты точки N: $x_n = On$ и $y_n = Nn$ найдутся по координатамъ предшествующей точки M, а именно абсцисса

$$x_n = x_m + mn = x_m + SN$$

и ордината

$$y_n = - \cdot Oa + ab = y_m + MS.$$

Обозначимъ mn черезъ Δx_2 и MS черезъ Δy_2. Величины Δx и Δy будемъ называть *приращеніями координатъ*. Замѣтивъ изъ треугольника MNS, что

$$\Delta x_2 = SN = d_2 . \ Cos \ r_2$$
и $$\Delta y_2 = MS = d_2 . \ Sin \ r_2,$$

найдемъ искомыя координаты точки N по длинѣ d_2 линіи MN и ея румбу NO: r_2 и координатѣ точки M въ видѣ:

$$+ On = + x_n = x_m + \Delta x_2 = x_m + d_2 \ Cos \ r_2$$
$$+ Ob = + y_n = y_m + \Delta y_2 = y_m + d_2 \ Sin \ r_2.$$

Знаки у x_n и y_n будутъ одинаковые, именно плюсъ (+), такъ какъ точка N лежитъ въ первой четверти (нордъ-остъ).

Подобнымъ же образомъ, пользуясь координатами предшествующихъ точекъ, разстояніями d_3 и d_4 и румбами SO: r_3 и SW: r_4, вычислимъ координаты x_p и y_p точки P и x_q и y_q точки Q. Дѣйствительно

$$x_p = - Op = On - np = x_n - Nt = x_n - d_3 \ Cos \ r_3 = x_n - \Delta x_3$$
$$y_p = + OC = Ob + bC = y_n + tP = y_n + d_3 \ Sin \ r_3 = y_n + \Delta y_3.$$

Здѣсь
$$- \Delta x_3 = - d_3 \ Cos \ r_3 \text{ и}$$
$$+ \Delta y_3 = + d_3 \ Sin \ r_3;$$

точно также

$$x_q = - Oq = - Op + (- pq) = x_p - PV = x_p - d_4 \ Cos \ r_4 = x_p - \Delta x_4 \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (x_q)$$
$$y_q = - Od = + OC - Cd = y_p - VQ = y_p - d_4 \ Sin \ r_4 = y_p - \Delta y_4 \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ (y_q)$$

гдѣ:

$$- \Delta x_4 = - d_4 \ Cos \ r_4 \text{ и}$$
$$- \Delta y_4 = - d_4 \ Sin \ r_4.$$

Если условимся писать, что *координата послѣдующей точки* $\begin{vmatrix} x_k \\ y_k \end{vmatrix}$ *равна координатѣ предшествующей точки* $\begin{vmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \end{vmatrix}$ *плюсъ соотвѣтствующее приращеніе координаты* $\begin{vmatrix} \Delta x_k \\ \Delta y_k \end{vmatrix}$, т. е. $\begin{vmatrix} x_k = x_{k-1} + \Delta x_k \\ y_k = y_{k-1} + \Delta y_k \end{vmatrix}$,

то приращенія координатъ различныхъ точекъ будутъ имѣть разные знаки,—такъ изъ предыдущаго видно, что Δx_2 имѣетъ знакъ плюсъ (+) и Δy_2—также плюсъ, при чемъ румбъ линіи d_2 былъ NO. Приращеніе Δx_3 имѣетъ знакъ минусъ (—) и Δy_3—знакъ плюсъ (+), при этомъ румбъ линіи d_3 былъ SO. Приращенія Δx_4 и Δy_4 были оба съ минусомъ, румбъ былъ SW.

Если, наконецъ, координаты точки M напишемъ въ видѣ:

$$Om = 0 + \Delta x_1 \quad \text{и}$$
$$Oa = 0 + \Delta y_1, \quad \text{то}$$

Δx_1 будетъ со знакомъ плюсъ и Δy_1—со знакомъ минусъ, при чемъ румбъ линіи d_1 былъ NW.

Изъ предшествующаго видимъ, что 1) общія формулы для приращеній координатъ суть:

$$\Delta x_n = \pm d_n \; Cos \; r_n \quad \text{и}$$
$$\Delta y_n = \pm d_n \; Sin \; r_n,$$

2) знаки приращеній зависятъ отъ названія румба линіи, а именно *приращенія координатъ по отношенію къ осямъ, проведеннымъ въ началѣ линіи, имѣютъ тѣ же знаки, что и координаты,* т. е. если румбъ линіи принадлежитъ первой четверти NO, то оба приращенія имѣютъ знаки плюсъ (+), если румбъ въ третьей четверти SW, то оба приращенія имѣютъ знакъ—, если румбъ линіи во второй четверти SO, то приращеніе абсциссы отрицательно, а приращеніе ординаты положительно; наконецъ, если румбъ линіи лежитъ въ четвертой четверти NW, то Δx положительно, а Δy— отрицательно, т. е. *въ діаметрально противоположныхъ четвертяхъ* (или при взаимно обратныхъ румбахъ) приращенія координатъ имѣютъ также противоположные знаки.

3) *Координаты слагаются изъ суммы приращеній:*

$$x_o = o, \; y_o = o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I)}$$

$$\begin{vmatrix} x_m = \Delta x_1 \\ y_m = \Delta y_1 \end{vmatrix} \quad \ldots \text{(II)} \qquad \begin{vmatrix} x_n = \Delta x_1 + \Delta x_2 \\ y_n = \Delta y_1 + \Delta y_2 \end{vmatrix} \quad \ldots\ldots \text{(III)}$$

$$\begin{vmatrix} x_p = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 \\ y_p = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 \end{vmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(IV)}$$

$$\begin{vmatrix} x_q = \Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4 \\ y_q = \Delta y_1 + \Delta y_2 + \Delta y_3 + \Delta y_4 \end{vmatrix} \quad \ldots\ldots\ldots \text{(V)}$$

а потому въ сомкнутомъ полигонѣ, если бы углы и линіи полигона были абсолютно вѣрно измѣрены, то необходимо должно, придя въ начальную точку O (изъ предшествующей ей точки), получить координаты точки O въ видѣ нулей, или, имѣя въ виду, что координаты слагаются изъ приращеній, придти къ заключенію, что

4) *суммы приращеній координатъ въ сомкнутомъ полигонѣ должны быть нули, какъ для* Δx, *такъ и для* Δy, т. е.

$$\Sigma\,\Delta x = 0 \text{ и}$$
$$\Sigma\,\Delta y = 0, \text{ гдѣ } \Sigma \text{ есть знакъ суммы.}$$

Въ этомъ легко убѣдиться изъ чертежа, такъ какъ Δx и Δy суть проекціи сторонъ d на оси координатъ, а сумма проекцій сторонъ сомкнутаго полигона на любую ось должна быть нуль.

5) Изъ равенства (V) слѣдуетъ, что

$$x_q - \Delta x_1 = \Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4$$
$$y_q - \Delta y_1 = \Delta y_2 + \Delta y_3 + \Delta y_4,$$

но по (II) $\begin{matrix}\Delta x_1 = x_m \\ \Delta y_1 = y_m,\end{matrix}$ а потому $\begin{matrix}\Delta x_2 + \Delta x_3 + \Delta x_4 = x_q - x_m \\ \Delta y_2 + \Delta y_3 + \Delta y_4 = y_q - y_m,\end{matrix}$ т. е.

сумма приращеній координатъ въ несомкнутомъ полигонѣ $MNPQ$ *равна разности координатъ конечной и начальной точекъ* Q *и* M.

6) По чертежу 247 имѣемъ $\frac{QV}{PV} = tgr_4$, при чемъ

$$QV = d_4\ Sin\ r_4 = y_q - y_p$$
$$PV = d_4\ Cos\ r_4 = x_q - x_p,$$

слѣдовательно $$tgr_4 = \frac{y_q - y_p}{x_q - x_p}.$$

Изъ ревенства (x_q) и (y_q) слѣдуетъ, что $y_q - y_p = -\Delta y_4 = -d_4\ Sin\ r_4$ и $x_q - x_p = -\Delta x_4 = -d_4\ Cos\ r_4$, а изъ чертежа 247 видно, что $\alpha_4 = 180 + r_4$, слѣдовательно $tgr_4 = tg(\alpha_4 - 180) = -tg(180 - \alpha_4) = tg\alpha_4$, т. е.

$$tg\alpha_4 = \frac{-\Delta y_4}{-\Delta x_4}.$$

А это указываетъ на то, что если даны двѣ точки P и Q своими координатами, то *по координатамъ концовъ прямой* PQ *можно найти tg азимута линіи* PQ; *знаки числителя и знаменателя правой части опредѣляютъ четверть, въ которой лежитъ азимутъ*, знакъ числителя одинаковъ со знакомъ $Sin'a$, а знакъ знаменателя — со знакомъ $Cos'a$.

7) Такъ какъ длина линіи d является гипотенузой прямоугольнаго треугольника съ катетами Δx и Δy, то

$$d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2},$$

а изъ общей формулы для приращеній

$$d = \frac{\Delta x}{\cos \alpha} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha}$$

если r замѣнимъ азимутомъ α.

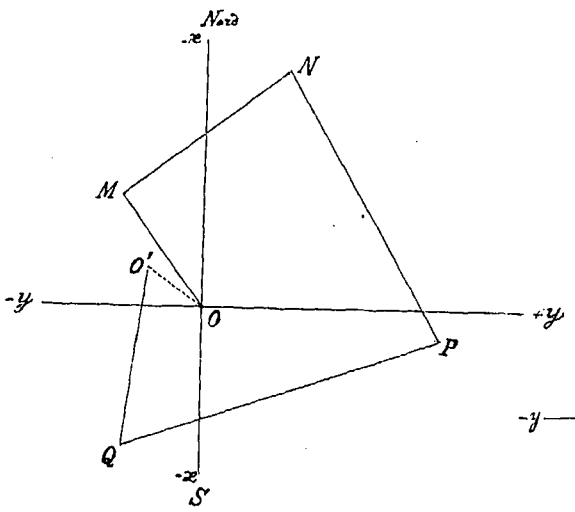
§ **165. Невязка въ координатахъ.** Хотя, теоретически разсуждая, мы и пришли къ заключенію, что въ сомкнутомъ полигонѣ

$$\Sigma\, \Delta y = 0 \text{ и}$$
$$\Sigma\, \Delta x = 0,$$

но на практикѣ, вслѣдствіе неизбѣжныхъ уклоненій, т. е. неизбѣжныхъ погрѣшностей въ результатахъ измѣреній, происходящихъ отъ несовершенства нашихъ чувствъ, несовершенства инструментовъ, а также несовершенства способовъ наблюденій, полученные результаты для длинъ сторонъ и величинъ угловъ полигона будутъ отличаться отъ истинныхъ ихъ величинъ, а потому вычисленныя горизонтальныя проложенія линій и вычисленные румбы будутъ отличаться отъ истинныхъ, а слѣдовательно и найденныя по нимъ приращенія Δx и Δy не дадутъ въ суммѣ нулей.

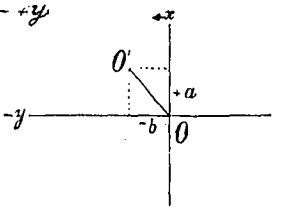
Пусть, напримѣръ, послѣ вычисленія оказалось, что

$$\Sigma\, \Delta x = +a \text{ и}$$
$$\Sigma\, \Delta y = -b,$$



Черт. 248.

т. е. пусть положительныя Δx превысили отрицательныя Δx, а въ Δy-хъ вышло наоборотъ, отрицательныя приращенія въ суммѣ превысили по-



Черт. 249.

ложительныя, тогда это обстоятельство было бы равносильно тому, что мы, *вообразивъ* себѣ, что двигаемся отъ точки O по периметру полигона $OMNPQO$, (черт. 248), *не* возвратились въ начальную точку O изъ предшествующей ей, послѣдней точки полигона Q, а пришли въ иную точку O' съ координатами

$$x = \Sigma\Delta x = +a \text{ и}$$
$$y = \Sigma\Delta y = -b \text{ (черт. 248 и 249).}$$

Изъ чертежа [1]) видно, что $00'$ есть *невязка въ периметрѣ* P *полигона* (фигура не сомкнулась въ точкѣ O) и

$$00' = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{(\Sigma\Delta x)^2 + (\Sigma\Delta y)^2}.$$

Такъ, напримѣръ, если

$$\Sigma\,\Delta x = +0{,}4 \text{ саж. и}$$
$$\Sigma\,\Delta y = -0{,}3 \text{ саж., то}$$
$$00' = \sqrt{0{,}16 + 0{,}09} = \sqrt{0{,}25} = 0{,}5 \text{ с.}$$

Если невязка $00'$ въ периметрѣ P не превыситъ, (окажется *менѣе* или равною) $\frac{1}{n}$ отъ периметра, т. е. если

$$00' \leq \frac{1}{n}\,P \text{ или } \frac{\sqrt{(\Sigma\Delta x)^2 + (\Sigma\Delta y)^2}}{P} \leq \frac{1}{n},$$

причемъ n, зависящее отъ точности измѣренія линій и угловъ полигона, не превыситъ наибольшаго возможнаго для него значенія, то *найденныя величины* $+a$ и $-b$ (невязка въ координатахъ) подлежатъ *уничтоженію*.

Замѣтимъ здѣсь, что частное $\Sigma\Delta y : \Sigma\Delta x = tg\varphi$ или $-b : +a = tg$ $(00')$ даетъ понятіе о *направленіи невязки*, т. е. объ ея азимутѣ $(00') = \varphi$.

Обыкновенно, при увязкѣ полигоновъ, употребляется или способъ разложенія невязки пропорціонально длинамъ сторонъ, или *пропорціонально абсолютнымъ величинамъ* самихъ приращеній (а иногда даже просто поровну на всѣ приращенія). Всѣ эти способы по существу *произвольны*. Одно лишь можно сказать въ защиту способа разложенія невязки пропорціонально длинамъ сторонъ полигона, что онъ является частнымъ случаемъ другого, болѣе общаго метода, а именно является возможнымъ въ томъ случаѣ, когда точность измѣренія угловъ строго согласована съ точностію измѣренія линій.

Что касается вопроса о числовомъ значеніи n въ выраженіи $\frac{00'}{P} < \frac{1}{n}$, то оно для различныхъ случаевъ прак-

---

[1]) Чертежи 248 и 249 должны быть разсматриваемы одновременно.

тики будетъ величиною перемѣнною. Такъ, напр., г. Рождественскій въ XVI выпускѣ „Трудовъ Топографо-Геодезической Комиссіи“ утверждаетъ, что при неблагопріятныхъ условіяхъ измѣренія $\frac{1}{n}$ для одноминутнаго теодолита и стальной ленты достигаетъ $\frac{1}{3000}$ или 0,033% периметра, при благопріятныхъ она представляетъ дробь $\frac{1}{7000} - \frac{1}{10000}$ и даже меньшую.

Профессоръ D-r A. Galle въ своей книгѣ Geodäsie (Leipzig 1907), ссылаясь на прусскую инструкцію для измѣреній (Vermessungsanweisung IX, § 40) указываетъ, что предѣльной ошибкою въ суммѣ угловъ для одноминутнаго теодолита считается величина $f_\beta < 1', 5 \sqrt{n}$, гдѣ n число угловъ полигона, а для ошибки въ периметрѣ величину

$$\sqrt{f_x{}^2 + f_y{}^2} < 0{,}01 \sqrt{p[d] + q[d]^2},$$

гдѣ $p = 4$ и $q = 0{,}005$ для благопріятныхъ мѣстныхъ условій измѣренія

— $p = 6$, $q = 0{,}0075$ для среднихъ условій
— $p = 8$, $q = 0{,}01$ для неблагопріятныхъ условій

и d — длины сторонъ полигона.

Мы же будемъ считать, что для начинающихъ работать $\frac{00'}{P}$ всегда будетъ нѣсколько большей, чѣмъ для людей опытныхъ и что $\frac{1}{n}$ должна быть указана инструкціею для работъ, напр., равной $\frac{1}{2000}$.

И такъ, полагая, что $\Sigma\Delta x = +a$ и $\Sigma\Delta y = -b$ (черт. 248) и что соблюдено условіе $\frac{00'}{P} \leqq \frac{1}{n}$, укажемъ сперва на *практическій пріемъ* уничтоженія невязки въ координатахъ пропорціонально длинамъ сторонъ полигона.

§ 166. Уничтоженіе невязки въ координатахъ. Очевидно, что исправленіе вычисленныхъ приращеній Δy и Δx — овъ должно быть сдѣлано такъ, чтобы *сумма поправокъ* въ Δx—ахъ равнялась $-a$, а въ Δy — ахъ была бы $+b$, дабы суммы исправленныхъ Δx — овъ и Δy — овъ были бы нулями. На основаніи этого всѣ положительныя Δx должны быть уменьшены, а отрицательныя Δx увеличены по абсолютной величинѣ, а въ Δy — ахъ наоборотъ, т. е. *поправки въ вычисленныя приращенія координатъ вводятся со знаками обратными полученнымъ* $\Sigma\Delta x$ *и* $\Sigma\Delta y$.

Раскладка невязокъ a и b дѣлается пропорціонально длинамъ линій, на основаніи того, что каждое приращеніе Δx не зависитъ отъ предшествующихъ Δx — овъ, а также и каждое Δy не зависитъ отъ предшествующихъ Δy — овъ. А потому и *исправленіе каждаго приращенія будемъ дѣлать независимо отъ предшествующихъ ему, а лишь пропорціонально длинѣ линіи, по которой приращеніе вычислено.*

Практически раскладка дѣлается такъ: 1) находятъ число сотенъ въ периметрѣ P, т. е. $P:100=Q$, 2) составляютъ частныя

$$\frac{a}{Q}=k \text{ и } \frac{b}{Q}=l,$$

3) узнаютъ

$$\frac{d_1}{100}=S_1; \qquad \frac{d_2}{100}=S_2 \text{.... и т. д.}$$

4) составляютъ произведенія

$$kS_1=v_1,\ kS_2=v_2, \text{ и } lS_1=w_1;\ lS_2=w_2\text{....},$$

5) получаютъ исправленныя приращенія:

$$\Delta x'=\Delta x_1-v_1;\ \Delta x''=\Delta x_2-v_2;\ \Delta x'''=\Delta x_3-v_3 \text{ и т. д.}$$
$$\Delta y'=\Delta y_1+w_1;\ \Delta y''=\Delta y_2+w_2;\ \Delta y'''=\Delta y_3+w_3\text{...}$$

принимая при сложеніи во вниманіе знаки вычисленныхъ Δx_1 и Δy_1, Δx_2 и Δy_2 и т. д.

Суммы поправокъ $\Sigma v=-a$ и $\Sigma w=+b$ *въ точности до сотыхъ долей сажени* согласуютъ съ найденными $+a$ и $-b$. Суммы всѣхъ исправленныхъ Δx—овъ должны въ точности давать нули. Точно также и сумма исправленныхъ Δy — овъ для сомкнутаго полигона должна быть нуль. Координаты всѣхъ промежуточныхъ вершинъ получаются какъ алгебраическія суммы послѣдовательныхъ исправленныхъ приращеній.

Числовой примѣръ вычисленія координатъ. Приведемъ здѣсь тотъ числовой примѣръ, который мы брали для накладки плана транспортиромъ. Первые 5 пунктовъ въ работѣ остаются безъ перемѣны.

6) Вычисленіе приращеній координатъ Δx и Δy совершается (также до сотыхъ долей сажени) по формуламъ: $\Delta x=\pm d\ Cos\ r$ и $\Delta y=\pm d\ Sin\ r$ по схемѣ на слѣд. стр.[1]).

7) Суммируемъ а) вычисленныя Δx и б) вычисленныя Δy, (см. реестръ координатъ дальше).

---

[1]) Вычисленныя Δx и Δy контролируются вторичнымъ вычисленіемъ или по таблицамъ Гаусса, или по таблицамъ Зейферта.

Вычисленіе приращеній координатъ помощію логариѳмическихъ таблицъ.

Порядокъ заполненія строкъ указанъ цифрами.		(1—2)	(2—3)	(3—4)	(4—5)	(5—6)	(6—7)	
	Румбъ	NW : 31° 56′	NW : 13° 33′	NO : 44° 26′	NO : 20° 17′	NO : 10° 37′	SO : 27° 54′	
	Гор. прол. мѣры линій	59,85 с.	68,23	55,23	146,47	110,74	220,31	
(6)	Δx	+ 50,79	+ 66,33	+ 39,44	+ 137,39	+ 108,85	— 194,70	(6)
(5)=(1)+(3)	$lg\ \Delta x$	1.70580	1.82172	1.59592	2.13795	2.03681	2.28937	(5)=(1)+(3)
(3)	$lg\ Cos\ r$	9.92874	9.98774	9.85374	9.97220	9.99250	9.94634	(3)
(1)	$lg\ d$	1.77706	1.83398	1.74218	2.16575	2.04431	2.34303	(1)
(2)	$lg\ Sin\ r$	9.72340	9.36976	9.84515	9.53991	9.26538	9.67018	(2)
(4)=(1)+(2)	$lg\ \Delta y$	1.50046	1.20374	1.58733	1.70566	1.30969	2.01321	(4)=(1)+(2)
(6)	Δy	— 31,66	— 15,99	+ 38,67	+ 50,78	+ 20,40	+ 103,09	
		(7—8)	(8—9)	(9—10)	(10—11)	(11—1)		
		SW : 0° 40′	SW : 3° 28′	NW : 78° 50′	SW : 57° 41′	NW : 78° 0′		
		122,00	97,48	97,09	28,07	41,08		
	Δx	— 121,99	— 97,30	+ 18,80	— 15,01	+ 8,54		
	$lg\ \Delta x$	2.08633	1.98812	1.27422	1.17627	0.93151		
	$log\ Cos\ r$	9.99997	9.99920	9.28705	9.72803	9.31788		
	$lg\ d$	2.08636	1.98892	1.98717	1.44824	1.61363		
	$lg\ Sin\ r$	8.06578	8.78152	9.99170	9.92691	9.99040		
	$lg\ \Delta y$	0.15214	0.77044	1.97887	1.37515	1.60403		
	Δy	— 1,42	— 5,89	— 95,25	— 23,72	— 40,18	Периметръ P = 1016,55	

Реестръ координатъ.

Съ точки № на точку №	Вычисленныя. Δx	Вычисленныя. Δy	Исправленныя. Δx	Исправленныя. Δy	№ точекъ.	Координаты. x	Координаты. y	ПРИМѢЧАНІЕ.
Съ 11 на 1	+ 8.54	— 40.18	+ 8.50	— 40.14	1	— 156.37	+ 8.78	Периметръ
Поправка.	—0.04	+0.04						$P = 1046.55$ саж.
1—2	+ 50.79	— 31.66	+ 50.73	— 31.60	2	— 105.64	— 22.82	
	—0.06	+0.06						За начало координатъ при-
2—3	+ 66.33	— 15.99	+ 66.26	— 15.91	3	— 39.38	— 38.73	нята 4-я точка полигона.
	—0.07	+0.08						
3—4	+ 39.44	+ 38.67	+ 39.38	+ 38.73	4	0	0	
	—0.06	+0.06						
4—5	+ 137.39	+ 50.78	+ 137.23	+ 50.94	5	+ 137.23	+ 50.94	
	—0.16	+0.16						
5—6	+ 108.85	+ 20.40	+ 108.73	+ 20.53	6	+ 245.96	+ 71.47	
	—0.12	+0.13						
6—7	— 194.70	+ 103.09	— 194.95	+ 103.34	7	— 51.01	+ 174.81	
	—0.25	+0.25						
7—8	— 121.99	— 1.42	— 122.12	— 1.28	8	+ 71.11	+ 173.53	
	—0.13	+0.14						
8—9	— 97.30	— 5.89	— 97.41	— 5.78	9	— 168.52	+ 167.75	
	—0.11	+0.11						
9—10	+ 18.80	— 95.25	+ 18.69	— 95.14	10	— 149.83	+ 72.61	
	—0.11	+0.11						
10—11	— 15.01	— 23.72	— 15.04	— 23.69	11	— 164.87	+ 48.92	
	—0.03	+0.03						
Сумма...	$\Sigma\Delta x = +1.14$	$\Sigma\Delta y = -1.17$	0	0	0	—	—	

$\Sigma\Delta x$		$\Sigma\Delta y$	
+	—	+	—
8.54	194.70	38.67	40.18
50.79	121.99	50.78	31.66
66.33	97.30	20.40	15.99
39.44	15.01	103.09	1.42
137.39	429.00	212.94	5.89
108.85			95.25
18.80			23.72
430.14			—214.11
429.00			+212.94
+1.14			—1.17

$(\Sigma\Delta x)^2 = 1.2996$

$(\Sigma\Delta y)^2 = 1.3689$

$A^2 = 2.6685$

$A = \sqrt{(\Sigma\Delta x)^2 + (\Sigma\Delta y)^2} = 1.63$

$\frac{1.63}{1046.55} < \frac{1}{642}$

8) Вычисляется невязка A въ периметрѣ.

$$(\Sigma\Delta x)^2 = 1\ .\ 2996$$
$$(\Sigma\Delta y)^2 = 1\ .\ 3689$$
$$A^2 = 2\ .\ 6685$$

$$A = \sqrt{[\Sigma\Delta x]^2 + [\Sigma\Delta y]^2} = 1{,}63$$

и узнается, допустима ли она?

$$\frac{A}{P} = \frac{1\ .\ 63}{1046{,}55} < \frac{1}{642}.$$

Это вычисленіе помѣщается внизу листа (см. реестръ координатъ).

9) Раскладываются невязки въ Δx-хъ и Δy-хъ: для чего сперва находятъ число сотенъ въ периметрѣ P : 100; а затѣмъ

$$\frac{\Sigma\Delta x}{(P:100)} = \frac{+1.14}{10.47} = +0.109;$$

$$\frac{\Sigma\Delta y}{(P:100)} = \frac{-1.17}{10.47} = -0{,}111.$$

Поправки въ Δx и Δy вводятся съ знаками обратными знакамъ у полученныхъ суммъ ($\Sigma\Delta x$ и $\Sigma\Delta y$) пропорціонально числу сотенъ въ мѣрѣ *каждой* линіи:

$(-0{,}109) \times 0{,}411 = -0{,}04$	$(+0{,}111) \times 0{,}411 = +0{,}04$
$(-0{,}109) \times 0{,}599 = -0{,}05$	$(+0{,}111) \times 0{,}599 = +0{,}05$
$(-0{,}109) \times 0{,}682 = -0{,}07$	$(+0{,}111) \times 0{,}682 = +0{,}07$
$(-0{,}109) \times 0{,}552 = -0{,}06$	$(+0{,}111) \times 0{,}552 = +0{,}06$
и т. д.	и т. д.

По сложеніи всѣхъ поправокъ въ Δx-хъ и Δy-хъ, должно получиться $-1{,}14$ и $+1{,}17$; вслѣдствіе же округленія, при вычисленіи поправокъ, точно сотыя доли не получатся. Оказавшуюся разницу раскладываютъ на тѣ поправки, при которыхъ сотыя доли увеличивались или уменьшались. Точность полученныхъ при вычисленіи Δx и Δy зависитъ отъ точности измѣренныхъ разстояній d и румбовъ r. И такъ какъ азимуты вычислены по внутреннимъ исправленнымъ угламъ и затѣмъ переведены на румбы, то *особенно тщательно* раскладку въ сотыхъ доляхъ сажени не дѣлаютъ, такъ какъ линіи измѣрены съ точностію до $\frac{1}{1000}$ и углы съ точностію до одной минуты.

10) Суммируютъ исправленныя Δx и Δy. Обѣ суммы должны давать нули.

11) Избравъ одну изъ точекъ полигона, напримѣръ

4-ю за начало координатъ, суммируютъ послѣдовательно исправленныя Δx и Δy и получаютъ координаты по формулѣ $x_k = x_{k-1} + \Delta x_k$ и $y_k = y_{k-1} + \Delta y_k$.

Контролемъ служитъ то, что, начавъ отъ нуля какъ въ x-хъ, такъ и въ y-хъ, послѣдовательнымъ алгебраическимъ сложеніемъ приращеній необходимо придти опять къ нулямъ.

Замѣчаніе о контролѣ вычисленія приращеній координатъ. При вычисленіи приращеній координатъ слѣдуетъ постоянно контролировать себя,—такъ, 1) вычисливъ по азимутамъ румбы, слѣдуетъ, примѣняя правило о соотношеніи между румбическими и астролябическими углами (§ 131), вновь по румбическимъ угламъ *попытаться обратно получить* астролябическіе (а слѣдовательно и внутренніе) углы полигона, 2) вычислять приращенія Δx и Δy слѣдуетъ или логариѳмически, пользуясь формулами

$$\text{I)} \qquad \Delta x = \pm d \,.\, Cos\ r \text{ и } \Delta y = \pm d \,.\, Sin\ r$$

и II) контролировать себя или по формуламъ

$$\Delta x = \pm d\ Sin\ (90 - r) = \pm 2d \,.\, Sin \frac{90 - r}{2}\ Cos \frac{90 - r}{2},$$

$$\Delta y = \pm d \,.\, Sin\ r = 2d \,.\, Sin \frac{r}{2}\ Cos \frac{r}{2},$$

или пользуясь „*таблицами* Гаусса (изданіе Н. Л. Волкова) *для непосредственнаго вычисленія прямоугольныхъ координатъ*“ — Fünfstellige vollständige trigonometrische und poligonometrische Tafeln für Maschinenrechnen von D-r F. G. Gauss, примѣняя для сложенія счеты или ариѳмометръ.

§ 167. **Накладка плана по координатамъ.** Приступая къ накладкѣ полигона по вычисленнымъ координатамъ, обращаютъ прежде всего вниманіе на то,—можетъ ли вычисленный полигонъ помѣститься на имѣющемся подъ руками листѣ бумаги въ заданномъ масштабѣ, для этого опредѣляютъ размѣры полигона, т. е. находятъ наибольшее его протяженіе по оси x-въ и по оси y-овъ. Понятно, что сумма абсолютныхъ величинъ наибольшей положительной и наибольшей отрицательной абсциссъ дадутъ протяженіе полигона по оси x-овъ, а сумма абсолютныхъ величинъ наибольшей положительной и наибольшей отрицательной ординатъ дадутъ размѣры полигона по оси y-овъ.

Въ нашемъ числовомъ примѣрѣ мы имѣли наибольшія (*max.*) координаты.

$$+x_{max.} = +245{,}96 \text{ и } -x_{max.} = -156{,}37$$
$$+y_{max.} = +174{,}81 \text{ и } -y_{max.} = -\ 38{,}73,$$

а потому размѣры полигона будутъ:

по оси x-овъ . . . . . 402,33 саж.
по оси y-овъ . . . . . 213,54 саж.

что при масштабѣ 50 саж.

{въ сотку (0,01 саж.) или дюймъ} даетъ {по оси x-овъ около 9 / по оси y-овъ „ 5} сотокъ или дюйм.

Опредѣливъ размѣры полигона, подбираютъ подходящихъ размѣровъ бумагу и проводятъ на ней направленіе осей координатъ; при этомъ назначеніе на бумагѣ начала координатъ сообразуются съ максимальными величинами положительныхъ и отрицательныхъ координатъ, дабы полигонъ симметрично помѣстился на бумагѣ. Съ этой цѣлію

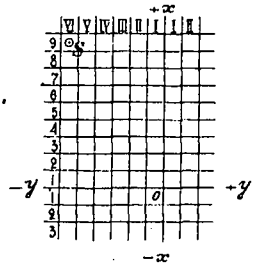
дѣлятъ {+ 245,96 / и / — 38,73} на 50 и узнаютъ число сотокъ (или дюймовъ) въ наибольшей положительной абсциссѣ и наибольшей отрицательной ординатѣ; числа эти будутъ 4,9 и 0,77. Отложивъ по лѣвому и правому краю листа сверху внизъ [1]) по 4,9, или круглымъ числомъ по 5 сотокъ (дюймовъ), получаютъ двѣ точки, опредѣляющія направленіе оси y-овъ. Прочертивъ ось y-въ, на ней отъ лѣваго края бумаги [2]) откладываютъ 0,77 или круглымъ числомъ одну сотку (дюймъ), чрезъ что получаютъ *начало координатъ на бумагѣ*; черезъ него проводятъ меридіанъ или ось x-овъ, перпендикулярно къ оси y-овъ.

Если же окажется, что полигонъ *не* можетъ помѣститься на одномъ листѣ, то разбиваютъ на каждомъ листѣ бумаги сѣтку квадратовъ, напр., со стороною квадрата въ 5 сотокъ (дюймовъ). Точно разбить сѣтку квадратовъ затруднительно, и тщательность геометрической разбивки отнимаетъ массу времени, поэтому, когда требуется разбить не одинъ листъ на квадраты, предпочитаютъ имѣть для этого особыя спеціальныя приспособленія; такъ Межевой Институтъ имѣетъ спеціально для него приготовленную механикомъ Вольцемъ (Max Wolz in Bonn a/Rh.) чугунную раму съ плоскими бляшками черезъ 5 дюймовъ и рама снабжена тонкою стальною линейкою (хорошо вывѣренной), которая по очередно прикладывается къ бляшкамъ и допускаетъ проводить по ней прямыя, отстоящія другъ отъ друга на 5 дюймовъ. Механикъ G. Coradi (Zürich) рекомендуетъ спеціальный инструментъ „координатографъ“, помѣщающійся на особомъ столѣ, для построенія сѣтки квадратовъ. Такой приборъ можно, напр., видѣть въ геодезическомъ кабинетѣ

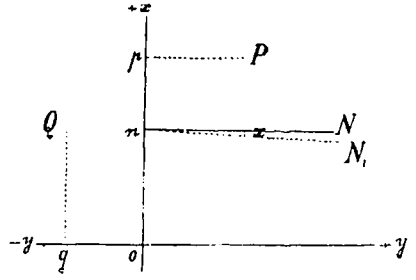
[1]) и [2]) Отъ линіи рамки, оставляя мѣсто для необходимыхъ надписей на планѣ.

Сельско-Хозяйственнаго Института въ Москвѣ. Для удобства нанесенія точекъ полигона, квадраты сѣтки перенумеровываютъ симметрично отъ направленія осей координатъ въ обѣ стороны и получаютъ *ряды* квадратовъ, параллельные оси y-овъ,—на чертежѣ 250-омъ они обозначены арабскими цифрами и *колонны* квадратовъ, параллельныя оси x-овъ (черт. 250), обозначены римскими цифрами. Сѣтку квадратовъ разбиваютъ на листѣ бумаги также и въ томъ случаѣ, когда подъ руками не имѣется штангенъ-циркуля дозволяющаго брать большія разстоянія сразу по масштабу [1]).

При нанесеніи точки по координатамъ сперва опредѣляется та четверть, въ которой лежитъ точка относительно осей, что дѣлается на основаніи знаковъ координатъ, а за-



Черт. 250.



Черт. 251.

тѣмъ откладывается большее разстояніе op (черт. 251) по оси ox и въ точкѣ p возставляютъ перпендикуляръ pP, на которомъ откладывается меньшая координата pP, т. е. *большую координату откладываютъ на ея оси, а меньшую—на возстановленномъ къ ней перпендикулярь* (параллели къ другой оси), основываясь на томъ соображеніи, что чѣмъ длиннѣе перпендикуляръ, тѣмъ дальше будетъ отстоять точка N_1 отъ истиннаго положенія N вслѣдствіе неизбѣжной ошибки x при построеніи перпендикуляра nN (черт. 251). При существованіи же квадратовъ прежде всего по знакамъ координатъ точки опредѣляется четверть, а затѣмъ уже самый квадратъ, въ которомъ точка лежитъ. Для этого дѣлятъ x и y на величину a стороны квадрата, выраженную въ саженяхъ, сообразно съ масштабомъ плана, и къ частнымъ прибавляютъ по единицѣ.

Пусть, напр.,

$$x = +2225{,}16 \qquad y = -1367{,}19$$
$$a = 250;$$

[1]) Приводимый чертежъ 250 слѣдуетъ понимать и чертить въ крупномъ масштабѣ.

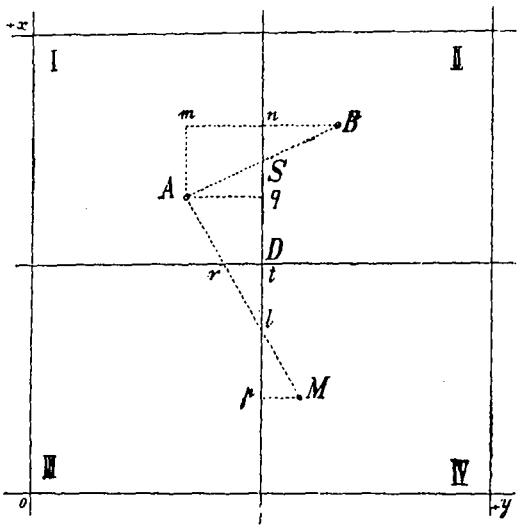
тогда четверть, въ которой лежитъ точка, будетъ *NW* (норд-вестъ). Выполнивъ дѣленіе, имѣемъ

$$\frac{2225{,}16}{250} = 8; \qquad \frac{1367{,}19}{250} = 5,$$

слѣдовательно, квадратъ, въ которомъ лежитъ данная точка, находится въ $(8+1) = 9$-мъ ряду и $(5+1) =$ VI-й колоннѣ.

На чертежѣ 250-мъ намѣчена точка S, согласно полученныхъ (отъ дѣленій x и y на a) остатковъ $+225{,}16$ и $-117{,}19$ въ 9-мъ ряду и VI-й колоннѣ.

Берлинскій механикъ *Розенбергъ* рекомендуетъ пользоваться при прокладкѣ точекъ, изготовляемымъ имъ инструментомъ „Kartirungs-Instrument", состоящимъ изъ *линейки абсциссъ* съ дѣленіями въ миллиметрахъ (27^{cm}—46^{cm}) и движущагося вдоль нея *квадрата для откладыванія ординатъ* (въ масштабахъ 1:500; 1:1000, или 1:2000) въ обѣ стороны отъ оси абсциссъ; длина ординатъ не должна превышать 4 сантиметровъ [1]).



Черт. 252.

Если случится, что одна конечная точка A (черт. 252) прямой нанесена на I-мъ листѣ, а другая B на II-мъ или напр. M на IV-мъ, то необходимо на листахъ намѣтить точки пересѣченія этой линіи (опредѣляемой нанесенными точками) со сторонами крайнихъ квадратовъ (черт. 252) каждаго листа. Точки эти S, r и l, какъ показываетъ чертежъ, опредѣлятся сторонами подобныхъ треугольниковъ AmB и BmS, а также Alq, lpM, rlt. Изъ этихъ треугольниковъ найдутся nS, rt и tl по координатамъ точекъ A, B, M и D. Напримѣръ, $nS = Am \cdot \frac{nB}{mB}$ или $nS = \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} \cdot nB$, но nB есть не что иное, какъ $y_B - a \cdot k$, гдѣ a — сторона квадрата, а k число квадратовъ, предшествующее точкѣ B.

---

[1]) Такой инструментъ пріобрѣтенъ Московскимъ Инженернымъ Училищемъ.

Послѣ нанесенія вершинъ полигона на бумагу онѣ соединяются прямыми въ томъ порядкѣ, въ какомъ онѣ находятся на земной поверхности, послѣ чего повѣряются мѣры линій и румбы нанесенныхъ сторонъ.

§ 168. **Преимущества накладки полигона по координатамъ.** Нанесеніе полигона по координатамъ имѣетъ слѣдующія преимущества передъ нанесеніемъ полигона транспортиромъ: 1) каждая точка наносится на бумагу независимо отъ предшествующихъ, 2) невязка въ координатахъ есть результатъ только полевыхъ дѣйствій и не зависитъ отъ способа построенія фигуры на бумагѣ, и 3) имѣя координаты полигона, можно вычислить его площадь, *не* производя накладку его фигуры на бумагу, *изъ мѣрь въ натуру.*

Примѣнительно къ изложенному, пользуясь 1) страницами 3-й, 4-ой и 5-ой абрисной книжки (черт. 203—206) и 2) „схематическимъ чертежемъ обхода границъ и внутреннихъ угодій участка" (черт. 202), составленъ планъ пустоши *Адамовки* (черт. 253) съ нанесеніемъ его границъ по координатамъ вершинъ и внутренней ситуаціи накладкою транспортиромъ. На планѣ показаны раздѣльныя границы трехъ владѣльцевъ I, II и III. Къ плану прилагаемъ формуляръ (образецъ заполненнаго бланка) вычисленія координатъ, площади и внутреннихъ ходовъ. Общая площадь раздѣлена на планѣ согласно заданныхъ условій владѣнія и цѣнности отдѣльныхъ угодій. (Задача эта будетъ изложена ниже).

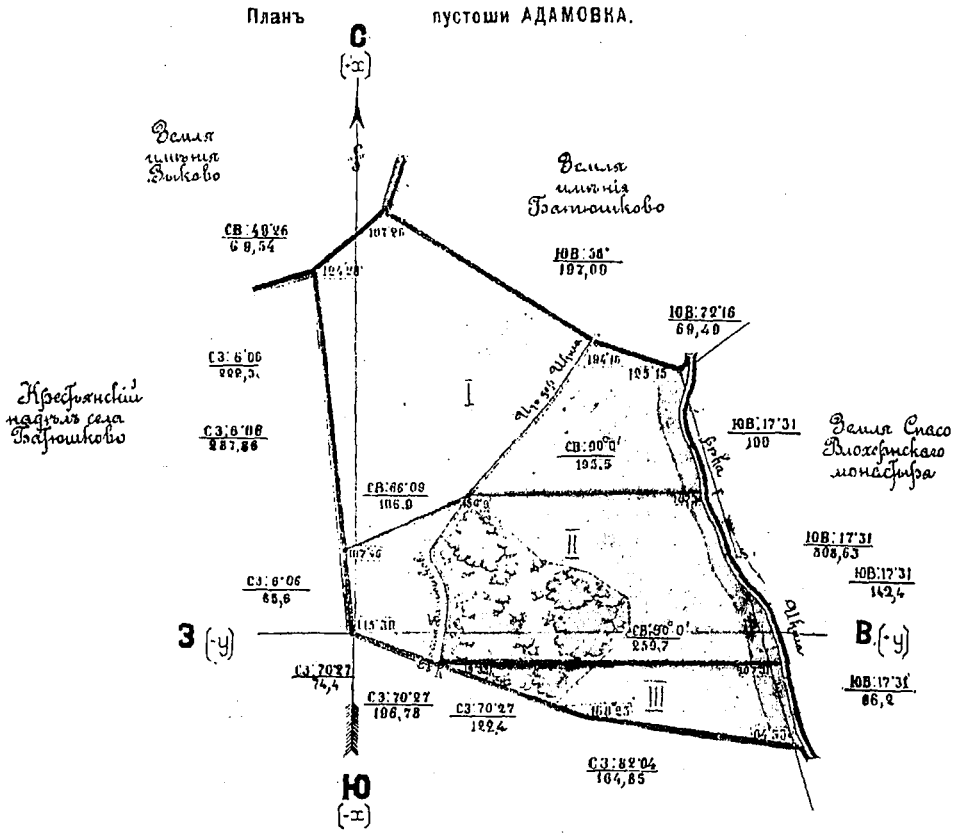
Изучающимъ этотъ отдѣлъ геодезіи рекомендуется самимъ сдѣлать попытку составить планъ пустоши Адамовки.

Кромѣ ранѣе приведеннаго способа вычисленія приращеній координатъ по логариѳмическимъ таблицамъ и помѣщеннаго на стр. 226 числового для него примѣра, слѣдуетъ указать на употребленіе таблицъ Гаусса для вычисленія приращеній координатъ (русское изданіе Н. Л. Волкова). По *внѣшнему виду* эти таблицы своимъ расположеніемъ имѣющагося въ нихъ матеріала напоминаютъ пятизначныя логариѳмическія таблицы Гаусса: сверху страницы указаны числа градусовъ, а въ первой лѣвой колоннѣ—числа минутъ, заключающіяся въ румбѣ данной линіи для угловъ отъ 0^0 до 45^0. Снизу страницы и въ правой колоннѣ—числа градусовъ и минутъ для угловъ отъ 45^0 до 90^0.

Для румбическихъ угловъ отъ 0^0 до 45^0 приращенія ординатъ берутъ съ лѣвой страницы, а приращенія абсциссъ—съ правой страницы. Для угловъ же отъ 45^0 до 90^0 наоборотъ абсциссы берутся съ лѣвой страницы, а ординаты съ правой. Да оно и понятно, такъ какъ

$$Sin\ r^0 = cos\ (90^0 - r)$$
$$\text{и } cos\ r^0 = Sin\ (90^0 - r).$$

Приращенія даны для длинъ линій въ $d = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80$ и 90 саженъ.



Черт. 253. Масштабъ.

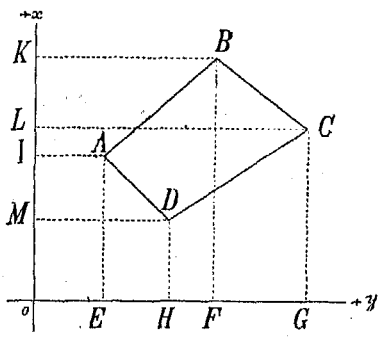
Перенося запятую на одинъ знакъ вправо или влѣво во взятыхъ изъ таблицъ величинъ, мы получимъ тѣ же приращенія координатъ для d въ 100, 200, ... саж. или для d въ 1, 2, 3 . . . . саж. Для полученія приращеній координатъ на десятыя и сотыя доли сажени мѣры линій справа каждой страницы помѣщены столбцы съ заголовкомъ *Cent.* Верхняя табличка относится къ верхней половинѣ страницы, *считая сверху* отъ 0′ до 29′, а правая къ нижней отъ 30′ до 60′. Въ табличкѣ лѣвый вертикальный столбецъ означаетъ десятыя доли, а верхняя строка—сотыя доли сажени. Въ пересѣченіи горизонтальной строки съ вертикальнымъ рядомъ и полу-

$d = 542{,}35$ и $r^0 = 72^0\ 12'{,}3$		
	Δx	Δy
300	91,69	285,65
200	61,12	190,43
40	12,23	38,09
2	0,611	1,904
0,35	0,11	0,33
542,35	165,76	516,40

чается искомая поправка на десятыя + сотыя доли сажени. Примѣръ вычисленія указанъ на предыдущей страницѣ.

По серединѣ между этими двумя табличками находится 3-ья табличка для поправокъ на десятыя доли минуты. Табличныя разности помѣщены надъ ней сверху болѣе жирнымъ шрифтомъ.

§ 169. Вычисленіе площади полигона [1]) по координатамъ его вершинъ. Пусть, напр., x_a, y_a; x_b, y_b; x_c, y_c; x_d и y_d — вычисленныя координаты обойденнаго въ полѣ многоугольника $ABCD$ (черт. 254), площадь P котораго необходимо вычислить. Изъ чертежа видно, что искомую площадь P можно разсматривать какъ алгебраическую сумму площадей трапецій, а именно: $P = ABFE + FBCG - DCGH - ADHE$ или



Черт. 254.

$$P = \frac{x_a + x_b}{2}(y_b - y_a) + \frac{x_b + x_c}{2}(y_c - y_b) - \frac{x_c + x_d}{2}(y_c - y_d) - \frac{x_d + x_a}{2}(y_d - y_a).$$

Послѣ переумноженія получаемъ:

$$2P = x_a y_b + x_b y_b - x_a y_a - x_b y_a + x_b y_c + x_c y_c - x_b y_b - x_c y_b - x_c y_c - x_d y_c + x_c y_d + x_d y_d - x_d y_d - x_a y_d + x_d y_a + x_a y_a \ldots (P)$$

Сдѣлавъ приведеніе и соединяя оставшіеся члены попарно, найдемъ, располагая ихъ по x-мъ, искомую площадь

$$2P = x_a(y_b - y_d) + x_b(y_c - y_a) + x_c(y_a - y_b) + x_d(y_a - y_c),$$

т. е. *двойная площадь многоугольника равна суммѣ произведеній, составленныхъ изъ абсциссы каждой точки на разность ординатъ точекъ послѣдующей и предшествующей ей,*

итакъ $$2P = \Sigma x_n (y_{n+1} - y_{n-1})$$ [2]).

Изъ равенства (P) легко составить выраженіе

$$2P = y_a(x_d - x_b) + y_b(x_a - x_c) + y_c(x_b - x_d) + y_d(x_c - x_a). (P'),$$

---

[1]) Площадь многоугольника можно непосредственно вычислить по измѣреннымъ его сторонамъ и внутреннимъ угламъ; но мы не приводимъ для сего существующей формулы, какъ малоупотребительной.

[2]) Разности вида $(y_{n+1} - y_{n-1})$, какъ напр., $(y_c - y_a)$ представляютъ изъ себя, въ чемъ легко убѣдиться изъ чертежа 254, сумму приращеній (Δy_b и Δy_c), а потому площадь можно вычислять не по разностямъ координатъ, а по суммѣ приращеній.

Вычисленіе координатъ вершинъ полигона, показаннаго

№№ вершинъ полигона.	Внутренніе углы.		Азимуты.		Румбы (r).			(d) Длина линій (горизонтальн. пролож.).	log Δx / log cos r / log d / log sin r / log Δy.	Вычисленныя (по таблицамъ Гаусса).	
	°	′	°	′	Назв.	°	′			Δx	Δy
I	107°	26′	122°	—	SO	58°	—	197,09	—	— 104,44	+ 167,14
II	194°	16′	107°	44′	SO	72°	16′	69,49	—	— 21,17	+ 66,19
III	125°	15′	162°	29′	SO	17°	31′	308,63	—	— 294,32	+ 92,89
IV	64°	33′	277°	56′	NW	82°	04′	164,85	—	+ 22,74	— 163,27
V	168°	23′	289°	33′	NW	70°	27′	196,78	—	+ 65,85	— 185,42
VI	115°	39′	353°	54′	NW	6°	06′	287,86	—	+ 286,23	— 30,58
VII	124°	28′	409°	26′	NO	49°	26′	69,54	—	+ 45,22	+ 52,83
Сумма	900°	″	—	—	—	—	—	1294,24	—	+ Σ Δx = 0,11	— Σ Δy = 0,22

Вычисленіе внутреннихъ ходовъ (см. § 146. стр. 179 и черт. 202).

Невязка: $\frac{1}{5392,6}$.

Румбъ линіи (1-2) *ЮВ*: 58°... Азимутъ 122°; далѣе вычисляемъ (*AB*) = 122° + 180° −

(*DE*) = 173°40′.... *ЮВ*: 6°20′; (5-6) = 289°30′.... дол. б. = 289°27′.... *СЗ*: 70°27′;

−3 23 −3 Разница 3′—допустима.

на чертежахъ 202 и 253.				Вычисленіе площ. P (см. § 169). Формула $2P=\Sigma(x_{k-1}-x_{k+1})\,y_k$; $2P=\Sigma(y_{k+1}-y_{k-1})\,x_k$.			
Исправленныя (по таблицамъ Гаусса).		Координаты.		$x_{k-1}-x_{k+1}=$	$y_{k+1}-y_{k-1}=$	$(x_{k-1}-x_{k+1})\,y_k$	$(y_{k+1}-y_{k-1})\,x_k$
				$=-(\Delta x_k+\Delta x_{k+1})$.	$=\Delta y_k+\Delta y_{k+1}$.		
Δx	Δy	x	y				
				— 45,21 + 104,46	+ 52,85 + 167,18		
— 104,46	+ 167,18	+ 331,41	+ 22,29	+ 59,25	220,03	+ 1320,6825	+ 72920,1423
				331.41 | 104.46 — 205.78 | 21 17	265.68 | 167,18 — 22.29 | 66,21		
— 21,17	+ 66,21	+ 226,95	+ 189,47	+ 125,63	+ 233,39	+ 23803,1161	+ 52967,8605
				226,95 | 21,17 + 88,57 | 294,35	348,60 | 66,21 — 189,47 | 92,92		
— 294,35	+ 92,92	+ 205,78	+ 255,68	+ 315,52	+ 159,13	+ 80672,1536	+ 32745,7714
				294,35 — 22,73	92,92 — 163,23		
+ 22,73	— 163,23	— 88,57	+ 348,60	+ 271,62	— 70,31	+ 94686,7320	+ 6227,3567
				22,73 65,84	— 163,23 — 185,37		
+ 65,84	— 185,37	— 65,84	+ 185,37	— 88,57	— 348,60	— 16418,2209	+ 22951,8240
				65,84 286,20	— 185,37 — 30,56		
+ 286,20	— 30,56	00,00	00,00	— 352,04	— 215,93	0000,0000	0000,0000
				286,20 45,21	— 30,56 + 52,85		
+ 45,21	+ 52,85	+ 286,20	— 30,56	— 331,41	— 22,29	+ 10127,8896	+ 6372,3980
0	0	—	—	$\Sigma=0$	$\Sigma=0$	+194192,3529	+194192,3529

$2P=194192{,}3529$. $P=97096=40$ д. 1096 кв. с.$=40{,}4566$ д.

$87^0 46' = 214^0 14'$...$IO3 : 34^0 14'$; $(BC) = 222^0 11'$...$IO3 : 42^0 11'$; $(CD) = 214^0 58'$...$IO3 : 34^0 58'$
$-1'$ $13'$ $-1'$ $10'$ $-2'$ $56'$
$(CF)=(DC)+180^0-91^0 32'=(CD)-91^0 32'=123^0 24'$; $(FG)=224^0 46'$; $(5-6)=289^0 31'$.
-1 -2 д. б. 29.

т. е. ту же двойную площадь полигона можно вычислить по ординатамъ и по разности абсциссъ его вершинъ. Разности абсциссъ въ послѣднемъ равенствѣ берутся для точекъ предшествующей и послѣдующей той точкѣ, ордината которой берется для составленія произведеній вида:

$$y_n\ (x_{n-1} - x_{n+1}).$$

Сличая равенства (P) и (P'), видимъ, что они отличаются знаками, если ихъ писать по одному и тому же правилу. Дѣйствительно:

$$2P = \Sigma x_n\ (y_{n+1} - y_{n-1}) = \Sigma y_n \left\{ -(x_{n+1} - x_{n-1}) \right\}.$$

И такъ какъ для полигона площадь разсматривается по абсолютной ея величинѣ, то на *общій знакъ суммы* произведеній въ конечномъ результатѣ не обращается вниманія, лишь бы всѣ члены суммы произведеній были составлены *однообразно*. Само собою разумѣется, что разности абсциссъ (или ординатъ) послѣдующей и предшествующей точекъ, какъ и соотвѣтствующая ей ордината (или абсцисса) могутъ имѣть и различные, и одинаковые знаки, а потому при составленіи разностей и произведеній слѣдуетъ обратить вниманіе на знаки этихъ величинъ.

Для облегченія дѣйствія умноженія можно пользоваться или вычислительною машиною, напримѣръ, ариѳмометромъ системы Однера, или вычислительными таблицами Крелля, Циммермана и т. п.

Чтобы удобнѣе было слѣдить за ходомъ вычисленія, обыкновенно рекомендуется придерживаться однообразнаго расположенія числовыхъ величинъ въ особо составляемыхъ и заранѣе отпечатанныхъ формулярахъ или схемахъ.

Приводимъ образецъ такой схемы (см. ранѣе данный формуляръ вычисленія площади по координатамъ пустоши Адамовки).

С. М. Соловьевъ.

СОКРАЩЕННЫЙ КУРСЪ
Низшей Геодезіи

Часть II.

ТИПО=ЛИТОГРАФІЯ
Ю. ВЕНЕРЪ
ПРЕЕМН. О. ФАЛЬКЪ
МОСКВА, ПЕТРОВКА,
РАХМАНОВСКІЙ ПЕР.,
=ДОМЪ ГРАЧЕВА.=

1909 г.

Предисловіе.

Вторая часть „Сокращеннаго курса“ Низшей Геодезіи содержитъ главнымъ образомъ *изложеніе вопросовъ о вертикальной съемкѣ*, т. е. нивелированіе и тахеометрію и непосредственно, рядомъ стоящую съ нею тахеографометрію (мензульную съёмку съ назначеніемъ горизонталей). Учащіеся во второмъ семестрѣ учебнаго года начинаютъ изучать тригонометрію и успѣваютъ вполнѣ ознакомиться съ основами элементарной математики, примѣнительно къ которымъ и присобленъ весь матеріалъ этой книжки. Во второй половинѣ книги учащіеся найдутъ изложеніе нѣкоторыхъ вопросовъ, связанныхъ съ приложеніемъ Геодезіи къ землеустройству.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ГЛАВА VI.

Вертикальная съемка.

§§ *Стр.*

170. Цѣль и виды вертикальной съемки 241

Геометрическое нивеллированіе.

171. Общее понятіе о геометрическомъ нивеллированіи и подраздѣленіе его на „нивеллированіе впередъ“ и „нивеллированіе изъ средины“ 241
172. Виды инструментовъ, употребляющихся при нивеллированіи . 243
173. Дѣленіе нивеллировъ на глухіе и съ перекладными трубами . 245
174. Глухой нивеллиръ 245
175. Повѣрка глухого нивеллира 247
176. Нивеллиры съ перекладными трубами 253
177. Условія, требуемыя отъ нивеллировъ съ перекладными трубами и ихъ повѣрка 257
Повѣрка нивеллира Эго 257
„ „ съ уровнемъ подъ трубою 261
„ „ „ перекладнымъ на трубѣ уровнемъ . . 263
178. Нивеллирныя рейки 264

Производство топографическаго нивеллированія.

179. Виды геометрической нивеллировки 265
180 Нивеллированіе узкой полосы земли 266
181. Отмѣтка. Реперъ. Связующія и промежуточныя точки нивеллировки 267
182. Разбивка прямыхъ линій 268
183.*Разбивка закругленій въ главныхъ ихъ точкахъ 268
184. Нумерація кольевъ пикетажа 269
185. Веденіе пикетажной книжки 271
186. Порядокъ работы при сложномъ продольномъ нивеллированіи . 272
187. Превышеніе конечной точки надъ начальной при сложномъ нивеллированіи 276
188. Уклоненіе рейки отъ отвѣснаго направленія 277
189. Поправка отъ кривизны земли и рефракціи 278
190. Сравненіе нивеллированія „впередъ“ съ нивеллированіемъ „изъ средины“ 280
191. Нивеллированіе крутыхъ скатовъ 282
192. Поперечное нивеллированіе 284
193. Контроль отсчетовъ по рейкамъ 286

§§ Стр.
194. Журналъ нивеллированія 287
Закладныя марки (реперы) 290
195. Вычисленіе отмѣтокъ технической нивеллировки 292
196. Увязка сомкнутаго нивеллирнаго хода и хода, пройденнаго два раза (впередъ и назадъ) съ нивеллиромъ 293
197. Вычерчиваніе профиля 294
Построеніе поперечныхъ профилей 297
198. Паденіе и уклонъ линіи 298
199. Проведеніе проектной линіи 299
200. О горизонталяхъ 300
201. Свойство горизонталей 302
202. Виды и названіе отдѣльныхъ частей неровностей мѣстности . 303
203. Недостатки горизонталей (о проведеніи горизонталей на бумагѣ см. стр. 341) 306
204. Разбивка на мѣстности точекъ и прямыхъ проекта 307
205. Нивеллированіе поверхности 311
206. Нивеллированіе рѣки. Опредѣленіе живого сѣченія 316
Опредѣленіе уклона рѣки 318
207. Нивеллированіе дна стоячихъ водъ 324

Тахеометрія.

208. Общее понятіе 325
209. О высотомѣрахъ (мѣсто нуля вертикальнаго круга) 326
210. Примѣненіе дальномѣра - высотомѣра къ вертикальной съемкѣ 329
211. Порядокъ работъ при вертикальной съемкѣ, производимой дальномѣрами - высотомѣрами 330
212. Цѣль съемки тахеометромъ, ея особенность, преимущества и недостатки 334
213. Тахеометры 335
214. Производство тахеометрической съемки 336
215. Кроки 339
216. Порядокъ наблюденій инструментомъ 340
217. Составленіе плана 341
218. Назначеніе горизонталей на планѣ по даннымъ альтитудамъ точекъ земной поверхности 341
219. Приспособленія для вычисленія превышеній точекъ мѣстности 343
Масштабъ высотъ 345
220. Задачи, рѣшаемыя по плану съ горизонталями 347
Полевой кроки и Планъ тахеометрической съемки (чертежи) 348 и 349
Масштабъ заложеній 350

ГЛАВА VII.

Мензульная съемка.

221. Предварительныя понятія 356
222. Устройство мензулы 358
223. Построеніе на мензулѣ горизонтальнаго продолженія угла и необходимыя принадлежности мензулы 361
224. Повѣрки мензулы 362
225. Описаніе принадлежностей мензулы и ихъ повѣрки 364
Вилка 365
Алидада 366
Кипрегель 368
Буссоль 374

Основныя задачи, рѣшаемыя мензулою на мѣстности.

§§ Стр.

226. Орiентированiе мензулы, прямая и обратная засѣчки 377
227. Задача Потенота 381
228. О возможномъ положенiи искомой точки относительно трехъ данныхъ 382
229. Непосредственное и посредственное рѣшенiе задачи Потенота. 383
Способъ Боненберга и Бесселя 384
„ Лемана 386
„ Боненберга 388
230. Мензульная съемка, основанная на составленiи геометрической сѣти. 390
Выборъ точекъ сѣти 392
„ базиса и его длина 393
Измѣренiе базиса 393
Нанесенiе пунктовъ сѣти на планшетъ 394
231. Съемка контуровъ мензулою. 399
232. Съемка мензулою на основанiи тригонометрической сѣти . . . 404
233. Нанесенiе горизонталей при мензульной съемкѣ 404
234. Повѣрка мензульной съемки 407
235. Достоинства и недостатки мензульной съемки 408

ГЛАВА VIII.

Перерисовка плановъ.

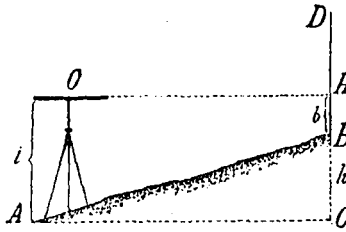
236. Общее понятiе 408
237. Перерисовка безъ измѣненiя масштаба 409
238. Перерисовка съ измѣненiемъ масштаба 410
239. Приспособленiя, употребляемыя для перерисовки плановъ въ данномъ линейномъ измѣненiи, при геометрическомъ способѣ 412
240. Механическiй пріемъ перерисовки плановъ и картъ. Пантографъ 415
241. Теорiя пантографа 417
242. О выраженiи неровностей мѣстности штрихами на картахъ и планахъ 420

ГЛАВА IX.

Общее понятiе о тригонометрической сѣти.

243. Значенiе тріангуляцiи для съемокъ 424
244. Размѣры треугольниковъ сѣти, дѣленiе треугольниковъ (точекъ) сѣти на разряды (классы) и перечень работъ на тріангуляцiи 426
245. Осмотръ мѣстности 428
246. Сигналы 428
247. Измѣренiе угловъ 429
248. Измѣренiе базиса 430
249. Вычисленiе длины базиса 432
250. Окончательное вычисленiе сѣти 432
251. Вычисленiе координатъ точекъ сѣти 433
252. Пользованiе тригонометрическою сѣтью для съемокъ 433

одной точки надъ другой помощію горизонтальнаго луча зрѣнія состоитъ въ слѣдующемъ: Пусть требуется опредѣлить превышеніе $h = BC$ (черт. 256) точки B мѣстности надъ точкою A. Достичь этого можно двояко: 1) помѣстивъ инструментъ, спеціально приспособленный, чтобы давать горизонтальный лучъ зрѣнія, въ точкѣ A, а вертикальный брусъ съ дѣленіями — *рейку* въ точкѣ B или 2) помѣстивъ инструментъ въ серединѣ M (черт. 257) между точками A и B, а въ данныхъ точкахъ — двѣ *вертикально* установленныя *рейки* съ одинаково нанесенными на нихъ дѣленіями. Въ первомъ случаѣ, называемомъ „*нивеллированіемъ впередъ*“, превышеніе $BC = h$ найдется какъ разность $i - b$ высоты инструмента $i = AO$, непосредственно измѣренной отъ земли до горизонтальнаго луча зрѣнія OH, собственно до центра окуляра зрительной трубы, и высоты $b = BH$, прочтенной или отмѣченной по рейкѣ въ точкѣ H[1]) помощію того же горизонтальнаго луча зрѣнія OH.



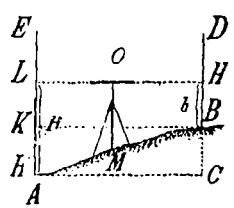
Черт. 256.

Отсчетъ $BH = b$ дѣлается *въ тѣхъ же доляхъ сажени*, въ какихъ выражено i. И такъ искомая разность уровней будетъ:

$$h = i - b.$$

Она берется со знакомъ + для мѣстности повышающейся и со знакомъ — для мѣстности понижающейся.

Во второмъ случаѣ, называемомъ „*нивеллированіемъ изъ середины*“, та же разность уровней h можетъ быть найдена по разности отсчетовъ n и b (черт. 257), сдѣланныхъ на обѣихъ рейкахъ, установленныхъ на концахъ данной линіи AB, по одному и тому же горизонтальному лучу LOH зрѣнія, т. е.



Черт. 257.

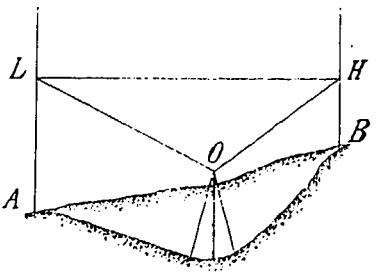
$$h = n - b.$$

Называя отсчетъ n по задней рейкѣ *взглядомъ назадъ*, а отсчетъ b по передней рейкѣ *взглядомъ впередъ*, можно сказать, *что разность h уровней двухъ точекъ* (относительная ихъ высота или превышеніе одной надъ другой) *равняется, при нивеллированіи изъ середины линіи, взгляду назадъ минусъ взглядъ впередъ*.

---

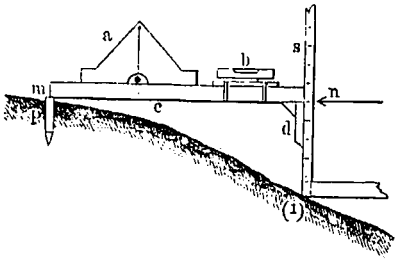
[1]) Въ точку H проектируется горизонтальная нить креста нитей зрительной трубы, установленной въ точкѣ A для наблюденій.

Изъ чертежа 258 видно, что при нивеллированіи изъ середины *нити надобности становиться съ инструментомъ точно на линію AB*, а возможно помѣщать инструментъ *въ сторонѣ* (въ точку *O*) отъ той линіи *AB*, которая нивеллируется, лишь бы отсчеты *L* и *H* по задней и передней рейкамъ были произведены *въ одной горизонтальной плоскости OLH*, проходящей черезъ точку *O* пересѣченія оптической оси съ вертикальною осью вращенія инструмента.



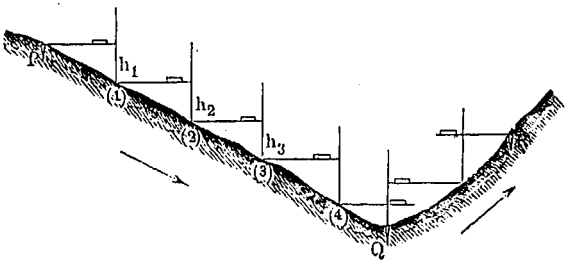
Черт. 258.

§ 172. Виды инструментовъ, употребляющихся при нивеллированіи. Въ предыдущемъ параграфѣ мы видѣли, что при геометрическомъ нивеллированіи необходимо имѣть: 1) инструментъ, дающій горизонтальный лучъ зрѣнія, и 2) вертикальный брусъ съ дѣленіями или рейку.



Черт. 259.

Инструменты, дающіе болѣе или менѣе точно горизонтальный лучъ зрѣнія, или просто горизонтальную прямую, бываютъ различны по устройству. Однимъ изъ такихъ инструментовъ является простой плотничный ватерпасъ. Если у ватерпаса *a* (черт. 259) горизонтальный брусъ



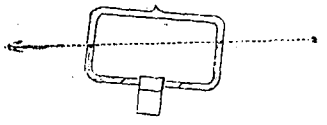
Черт. 260.

mn достаточно длиненъ, то, онъ можетъ съ удобствомъ служить для непосредственнаго опредѣленія превышенія одной точки надъ другой. Въ этомъ случаѣ къ нему присоединяютъ сажень *s* съ дѣленіями, замѣняющую

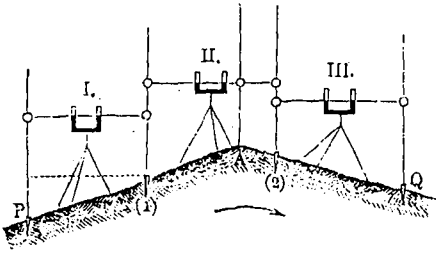
рейку. Ватерпасъ a обыкновенно замѣняется цилиндрическимъ уровнемъ b.

Ватерпасовку производятъ съ помощію горизонтальнаго бруса, могущаго однимъ концомъ опираться на колъ P, вбитый въ землю, а другимъ на скобу d съ крючкомъ, удерживаемую винтомъ на вертикальной сажени. Конецъ сажени s даетъ на землѣ точку (1), превышеніе h которой надъ начальной точкой P, прочтется непосредственно по сажени въ точкѣ n (черт. 259 и 260). Послѣдовательная же постановка ватерпаса въ точкахъ (1), (2), (3), (4).... Q (черт. 260) и т. д. даетъ превышеніе H точки P надъ точкою Q въ видѣ суммы $H = h_1 + h_2 + h_3 + \ldots h_q$.

Инструменты, дающіе горизонтальный лучъ зрѣнія, принято называть *нивеллирами*. Простѣйшій изъ нихъ есть *водяной нивеллиръ*. Устройство его основано на томъ свойствѣ жидкости, что ея поверхность будетъ лежать на одной и той же высотѣ (надъ горизонтомъ данной мѣстности) въ двухъ сообщающихся между собою сосудахъ (черт. 261). Сосудами могутъ служить стклянки узкой продолговатой формы, соединенныя общимъ каналомъ. Водяной нивеллиръ схематически изображенъ на черт. 262. Въ немъ лучъ зрѣнія опредѣлится линіею, проходящею черезъ горизонтальныя поверхности жидкости въ каждой изъ стклянокъ. Изъ этого же чертежа, соотвѣтствующаго чертежу 260, видно, что разность уровней двухъ данныхъ точекъ P и Q можетъ быть опредѣлена по частямъ, въ видѣ суммы, такъ же, какъ и при ватерпасовкѣ, послѣдовательной постановкой водяного нивеллира въ пунктахъ I, II и III.



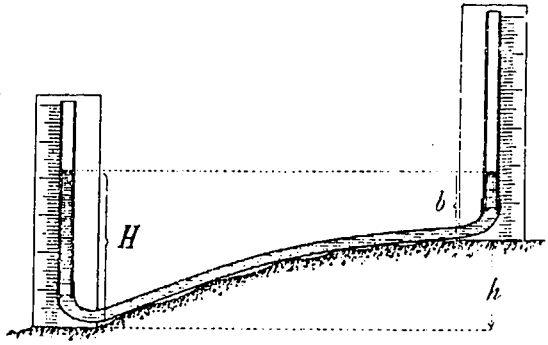
Черт. 261.



Черт. 262.

Если стклянки замѣнить доходящими до земли длинными стеклянными трубками, плотно прилегающими къ шкаламъ (рейками) такъ, чтобы по шкаламъ можно было читать высоту уровня воды въ стеклянныхъ трубкахъ и нижніе концы этихъ стеклянныхъ трубокъ соединить между собою длинною въ нѣсколько, напр., 10 саженъ резиновою (гуттаперчевою) трубкою, то возможно будетъ устанавливать стеклянныя трубки съ ихъ шкалами (рейки Штраусса) въ двухъ точкахъ мѣстности, удаленныхъ между собою, на длину гуттаперчевой трубки, по шкаламъ дѣлать отсчеты

H и b (черт. 263) и находить $h = H - b$, т. е. разность уровней тѣхъ точекъ, гдѣ стоятъ шкалы [1]).



Черт. 263.

Самые распространенные и удобные при употребленіи нивеллиры, это—*нивеллиры съ зрительными трубами*, оптическая ось которыхъ параллельна оси цилиндрическаго уровня. Зрительная труба (или замѣняющіе ее діоптры съ горизонтальнымъ волосомъ) и цилиндрическій уровень — существенныя и необходимыя составныя ихъ части.

§ 173. Дѣленіе нивеллировъ на глухіе и съ перекладными трубами. Нивеллиры съ зрительными трубами дѣлятся на двѣ группы: 1) одни, у которыхъ *трубы не перекладываются въ подставкахъ*, а соединены съ ними наглухо, такъ что труба, уровень и подставка составляютъ *одно нераздѣльное цѣлое*; такіе нивеллиры называются *глухими*; 2) другіе имѣютъ *трубы, вынимающіяся изъ подставокъ*, эти нивеллиры допускаютъ возможность переложить трубу въ подставкахъ такимъ образомъ, чтобы объективъ занялъ мѣсто окуляра и наоборотъ, и поэтому называются *нивеллирами съ перекладными трубами*.

Трубы нивеллировъ, предназначенныя для чтенія дѣленій удаленной рейки, должны имѣть достаточно *большое увеличеніе*, а потому чаще *снабжаются окулярами Рамсдена*, хотя нивеллиры берлинскаго механика *Мейснера* всѣ съ окулярами Гюйгенса.

§ 174. Глухой нивеллиръ (работы механиковъ Dennert и Pape въ Альтонѣ) изображенъ на черт. 264. Труба привинчена къ вертикальнымъ подставкамъ горизонтальной линейки, на которыя поверхъ трубы насаженъ цилиндрическій уровень. [2]) Линейка снизу имѣетъ конусъ, служащій вертикальною осью вращенія инструмента. Ось соединяется съ треножникомъ о трехъ *подъемныхъ* винтахъ, которыми нивел-

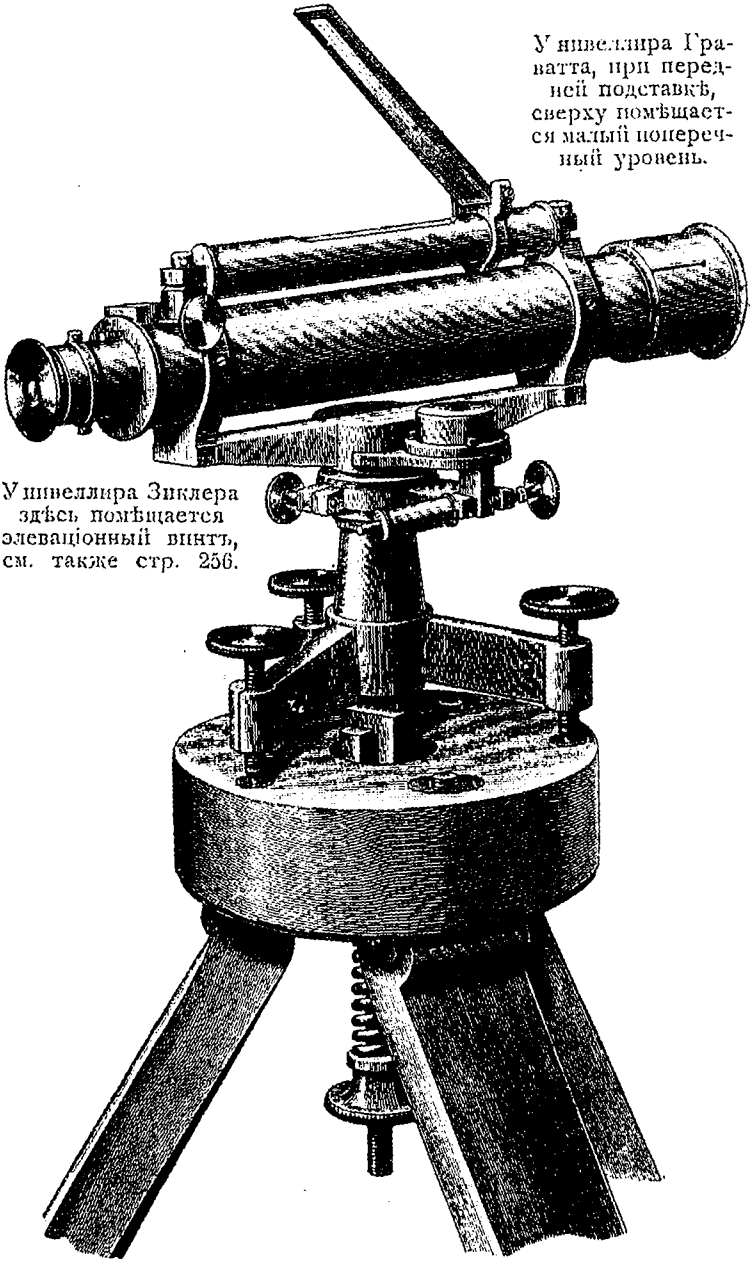
---

[1]) Быстрота нивеллированія такимъ приборомъ доходитъ до 1 версты въ часъ и даетъ ошибку въ $\pm$ 0,01 саж. на версту (см. В. Витковскій—„Топографія“).

[2]) Нивеллиры нѣмецкихъ механиковъ Зиклера-Шеурера и англійскаго Граватта имѣются въ геодезическомъ музеѣ, въ Межевомъ Институтѣ.

Зеркало.

У нивеллира Граватта, при передней подставкѣ, сверху помѣщается малый поперечный уровень.



У нивеллира Зиклера здѣсь помѣщается элевационный винтъ, см. также стр. 256.

Черт. 264.

лиръ ставится на голову штатива: она проходитъ черезъ полую вертикальную цапфу треножника и закрѣпляется снизу гайкою. Для удобства употребленія инструмента, цапфа треножника снабжена хомутомъ съ нажимательнымъ и микрометреннымъ винтами; на горизонтальной линейкѣ посаженъ круглый уровень, подъ которымъ и помѣщается микрометренный винтъ. Штативъ съ нивеллиромъ связываются становымъ винтомъ со спиральною пружиною.

Ось уровня относительно вертикальной оси вращенія нивеллира можетъ мѣнять свое положеніе исправительнымъ винтомъ на лѣвомъ концѣ уровня.

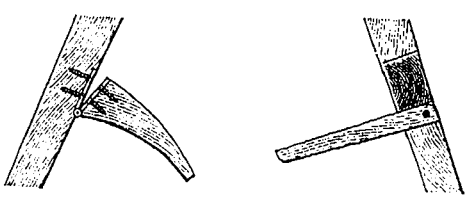
Оптическая же ось трубы и ось цилиндрическаго уровня могутъ нѣсколько измѣнять свое взаимное положеніе въ вертикальной плоскости съ помощію двухъ вертикальныхъ винтовъ сѣтки трубы.

Кромѣ того на трубѣ имѣется еще малый поперечный цилиндрическій уровень (напр. въ англійскомъ нивеллирѣ Граватта лондонскихъ фирмъ Stanley и Негретти и Цамбра), при горизонтальности оси котораго одна изъ нитей сѣтки должна быть горизонтальна. Онъ также имѣетъ исправительные винты.

Для того, чтобы можно было наблюдать положеніе пузырька уровня относительно середины его стеклянной трубки, не сходя съ мѣста и имѣя глазъ при окулярѣ трубы, надъ уровнемъ ставится наклонно зеркало.

Зеркало, вращающееся на шарнирѣ, имѣетъ большое значеніе на зыбкомъ, болотистомъ грунтѣ и при вѣтренной погодѣ [1]).

Объективъ задвигается круглою пластинкою, составляющей дно крышки въ видѣ подвижного на объективѣ цилиндра—бленды; пластинка при употребленіи трубы опускается внизъ.



Черт. 265.

Къ ножкѣ штатива для болѣе осторожной и удобной переноски инструмента рекомендуется прикрѣплять *плечевой крючекъ*. Видъ этого крючка, недозволяющаго краямъ ножекъ штатива давить на плечо, изображенъ на чертежѣ 265, для сквозной ножки направо и для сплошной ножки штатива налѣво.

§ **175. Повѣрка глухого нивеллира.** Отъ глухого нивеллира необходимо требовать, какъ и отъ всякаго другого нивел-

[1]) Лучше, какъ это дѣлается въ послѣднее время, помѣщать зеркало съ боку уровня, а не сверху его, потому что оно, представляя сопротивленіе вѣтру, вредно дѣйствуетъ на уровень, а слѣдовательно и на правильное положеніе линіи визированія.

лира, прежде всего выполненія главнѣйшаго условія—*параллельности визирной оси трубы съ осью продольнаго цилиндрическаго уровня*, а затѣмъ къ нему можно предъявлять и другія условія, какъ ради удобства его употребленія, такъ и для того случая, когда съ одной точки стоянія съ нивеллиромъ (съ одной станціи) приходится визировать *вокругъ* на нѣсколько *пикетовъ* (мѣстъ постановки рейки).

При пріобрѣтеніи нивеллира требуется провѣрить одинъ разъ навсегда, чтобы *уровень, параллельный трубѣ, имѣлъ достаточную и не излишнюю чувствительность*; другими словами чувствительность уровня должна соотвѣтствовать силѣ зрѣнія трубы. Необходимость этого условія видна изъ того, что если уровень недостаточно чувствителенъ, то большая сила зрѣнія трубы не принесетъ пользы, потому что линія визированія приводится въ горизонтальное положеніе съ малою точностью; если же уровень имѣетъ излишнюю чивствительность, то будетъ непроизводительно тратиться время на точную установку его пузырька, потому что труба при малой своей силѣ не въ состояніи уловить незначительнаго измѣненія наклоненія линіи зрѣнія (отмѣтить разности въ отсчетахъ по рейкѣ).

Для повѣрки этого условія ставятъ рейку въ разстояніи 20—30 саженъ отъ инструмента, приводятъ пузырекъ уровня на середину трубки и дѣлаютъ по горизонтальной нити сѣтки отсчетъ на рейкѣ. Послѣ того однимъ или нѣсколькими оборотами подъемнаго или элеваціоннаго винта (объ элеваціонномъ винтѣ см. дальше, напр., нивеллиръ Керна) сдвигаютъ немного горизонтальную нить съ первоначальнаго отсчета и смотрятъ, мѣняется ли положеніе пузырька уровня; если нѣтъ, то чувствительность недостаточна.

Чтобы обнаружить излишнюю чувствительность, устанавливаютъ горизонтальную нить сѣтки на какой-нибудь штрихъ рейки и замѣчаютъ положеніе пузырька уровня, затѣмъ элеваціоннымъ или подъемнымъ винтомъ сдвигаютъ нить со штриха и снова наведя на тотъ же штрихъ, замѣчаютъ положеніе пузырька. Если онъ занимаетъ прежнее положеніе, то уровень не имѣетъ излишней чувствительности. Въ противномъ случаѣ уровень излишне чувствителенъ.

Уровень съ недостаточною или излишнею чувствительностію долженъ быть замѣненъ другимъ. По отношенію къ точности работы лучше имѣть уровень съ небольшою излишнею чувствительностію, чѣмъ съ недостаточною.

При круговомъ визированіи на различныя разстоянія необходимо, чтобы *ось уровня была перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента*, такъ какъ въ противномъ случаѣ при каждомъ поворотѣ трубы пузырекъ уровня будетъ уклоняться отъ середины трубки; сверхъ того, если пузырекъ поставимъ вновь на середину трубки, дѣйствуя подъемными винтами, то тѣмъ самымъ измѣнимъ

первоначальную высоту линіи визированія, и отсчетъ на рейкѣ будетъ ошибоченъ (черт. 258). Повѣрку дѣлаютъ такъ: поворачиваніемъ всей верхней части инструмента ставятъ уровень по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ и, дѣйствуя ими въ противоположныя стороны, приводятъ пузырекъ уровня на средину трубки. Затѣмъ поворачиваютъ верхнюю часть *точно на 180°* (у Гравата отсчетомъ по буссоли, а у другихъ, какъ у Зиклера — постановкою инструмента на мѣстности на прямую, концы которой замѣчены вѣхами). Если пузырекъ сойдетъ со средины, то условіе не выполнено и *половина* уклоненія уничтожается исправительнымъ винтомъ уровня, а у нивеллира системы Зиклера — элеваціоннымъ у подставки винтомъ. Послѣ неоднократнаго поворачиванія на 180° добиваются, чтобы уровень *не* сходилъ съ середины трубки отъ вращенія нивеллира около вертикальной оси точно на 180°; достигнувъ этого, у нивеллира Зиклера *на той подставкѣ трубы, что у окуляра, на рукавахъ*, обхватывающихъ горизонтальную линейку, дѣлаютъ замѣтку, на которую и ставятъ элеваціоннымъ винтомъ линейку каждый разъ передъ приведеніемъ инструмента въ горизонтальное положеніе.

Одна изъ нитей сѣтки (для удобства отсчитыванія дѣленій вертикально стоящей рейки) *должна быть горизонтальна*. Приводятъ инструментъ въ горизонтальное положеніе, ставятъ трубу по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ, и по направленію трубы замѣчаютъ неподвижную точку, покрываемую изслѣдуемою нитью сѣтки, послѣ чего двигаютъ трубу (микрометреннымъ винтомъ) немного вправо и влѣво (около ея вертикальной оси). Если замѣченная точка не будетъ сходить при этомъ съ изслѣдуемой нити, то нить горизонтальна. Оказавшуюся невѣрность уничтожаютъ вращеніемъ сѣтки около геометрической оси трубы. Въ моментъ когда нить станетъ горизонтально, исправительнымъ винтомъ устанавливаютъ пузырекъ *поперечнаго* уровня на середину трубки.

Выполненіе этого условія нужно для того, чтобы визировать на рейку не пересѣченіемъ нитей, а одною горизонтальною нитью, что ускоряетъ работу. Вмѣстѣ съ тѣмъ это даетъ возможность поправить наклонную постановку рейки.

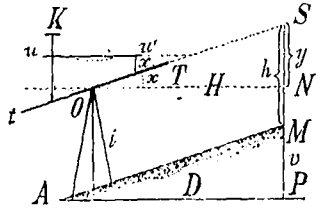
Производство повѣрки главнаго условія *параллельности* оси *уровня визирной оси* въ глухомъ нивеллирѣ дѣлается *двойнымъ нивеллированіемъ одной и той же линіи мѣстности (сверху внизъ и снизу вверхъ)*. Пусть ось уровня $ии'$ не параллельна визирной оси OT трубы, а составляетъ съ нею уголъ x (черт. 266).

Выберемъ на мѣстности наклонную линію AM длиною въ 25—30 саженъ, поставимъ въ точку A теодолитъ, въ M — рейку установимъ пузырекъ уровня на середину труб-

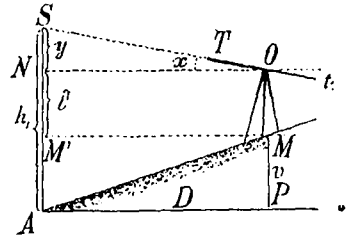
ки. Въ это время ось уровня mn' будетъ горизонтальна, а визирная ось пусть будетъ наклонна къ горизонтальной линіи OH на уголъ x. Установимъ трубу для наблюденій; наведемъ визирную ось трубы на рейку и сдѣлаемъ черезъ трубу, по горизонтальной нити сѣтки, на рейкѣ отсчетъ $MS = h$, оцѣнивая тысячныя доли сажени на глазъ. Отсчетъ h будетъ ошибоченъ на величину y, зависящую отъ угла x и разстоянія $D = AP$. Чѣмъ больше AP, тѣмъ больше y при одномъ и томъ же углѣ x. Измѣривъ высоту $i = OA$ инструмента, опредѣлимъ разность уровней точекъ M и A, т. е. превышеніе точки M надъ точкою A. Разность эта $v = PM$ вычисляется такъ:

$$v = PN + NS - SM = i + y - h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

Перемѣнимъ мѣста рейки и инструмента. Наклонъ оси къ горизонту, т. е. уголъ x останется тотъ же, разстояніе



Черт. 266.



Черт. 267.

D также не измѣнится, слѣдовательно и ошибка y въ отсчетѣ по рейкѣ останется та же самая. Изъ чертежа 267 найдемъ, что

$$v = h_1 - i' - y \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (II)$$

Такъ какъ величина y ничѣмъ по рейкѣ самостоятельно не обнаруживается, то разность уровней v въ первый разъ опредѣлится какъ $i - h$, а во второй—какъ $h_1 - i'$. Если разности эти равны, то въ инструментѣ условіе выполнено.

Если же ошибка y существуетъ, то $h_1 - i'$ не будетъ равно $i - h$, а, какъ показываютъ уравненія (I) и (II) $h_1 - i' - y = i - h + y$, т. е. ошибка

$$y = \frac{h + h_1}{2} - \frac{i + i'}{2}$$

полусумм отсчетовъ на рейкѣ безъ полусуммы высотъ инструмента.

Истинная разность уровней получится въ видѣ:

$$v = \frac{h_1 - h}{2} + \frac{i - i'}{2}$$

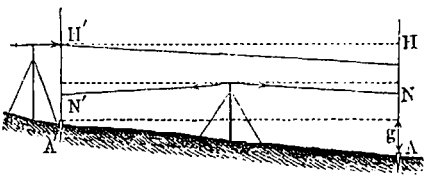
Если y превышаетъ двойную точность отсчитыванія по рейкѣ, т. е. болѣе, 0,002 саж., то параллелизма между

осью уровня и оптической осью трубы не существуетъ и его достигаютъ такъ: *вычисленную величину* y, откладываютъ отъ точки S (черт. 267) внизъ, когда y положительно, и вверхъ, если y отрицательно, намѣчаютъ точку N на рейкѣ и наводятъ на нее визирную ось трубы, дѣйствуя вертикальными винтами сѣтки, въ это время она будетъ горизонтальна. Если пузырекъ уровня стоитъ на серединѣ трубки, то ось $ии'$ уровня будетъ также горизонтальна, а слѣдовательно параллельна визирной оси трубы. И такъ уничтоженіе погрѣшности въ глухомъ нивеллирѣ достигается вертикальными винтами сѣтки. Несоблюденіе условія параллельности визирной оси къ оси уровня не имѣетъ вліянія въ тѣхъ случаяхъ, когда линія нивеллируется *изъ средины*, такъ какъ разстоянія отъ инструмента до реекъ одни и тѣ же, а потому ошибки y въ отсчетахъ отъ существованія ошибки x наклона осей будутъ равны и при вычисленіи разности уровней h (см. черт. 268 и 257) ошибки взаимно уничтожаются:

$$h = (H \pm y) - (b \pm y) = H - b.$$

Болѣе внимательнымъ къ выполненію главнаго условія приходится быть тогда, когда разстоянія отъ реекъ до инструмента различны.

Повѣрка условія параллельности осей (визирной трубы и уровня) можетъ быть произведена еще и слѣдующимъ образомъ: на линіи съ небольшимъ уклономъ вбиваютъ два колышка A и A' (черт. 268) на разстояніи наибольшаго, встрѣчающагося при нивеллированіи, удаленія рейки отъ инструмента, т. е. 50 или 100 саж., сообразно съ силою зрѣнія трубы; на линіи AA' точно отмѣчаютъ средину и ставятъ въ нее нивеллиръ.



Черт. 268.

При равенствѣ разстояній, на разность уровней g конечныхъ точекъ непараллельность осей вліянія не окажетъ, и g получится какъ разность отсчетовъ n и n', сдѣланныхъ въ точкахъ N и N' на рейкахъ, т. е.

$$n - n' = g.$$

Перенося инструментъ на точку A' такъ, чтобы объективъ пришелся надъ точкою A', касаясь передней стороны рейки $A'N'H'$, приводятъ пузырекъ уровня на середину трубки и читаютъ отсчетъ $AH = h$ по рейкѣ A, на рейкѣ же A' замѣчаютъ отсчеты, соотвѣтствующіе верхней и нижней точкамъ оправы объектива нивеллира и изъ нихъ образуютъ ариѳметическую средину $A'H' = h'$. Точка H' опредѣлитъ положеніе оптической оси.

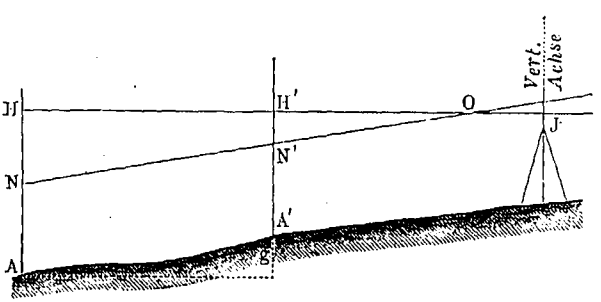
При соблюденіи условія параллельности между визирной осью трубы и осью уровня, необходимо должно получиться, что

$$h = h' + g.$$

Если же h не равно $(h' + g)$, то крестъ нитей трубы передвигаютъ вертикальными винтами сѣтки такъ, чтобы отсчетъ h точно равнялся $h' + g$.

Точно также надо требовать, чтобы *передвиженіе окулярнаго колѣна въ объективномъ совершалось по прямой, дабы отсчетъ по рейкѣ при этомъ не мѣнялся*, необходимость измѣненія положенія окулярнаго колѣна въ объективномъ обыкновенно вызывается измѣненіемъ разстоянія отъ инструмента до рейки, на что было уже разъ нами указано въ статьѣ объ испытаніи трубы (конецъ § 104).

Условіе правильнаго передвиженія колѣнъ повѣряется слѣдующимъ образомъ: взявъ прямую и намѣтивъ на ней рядъ точекъ, въ сторонѣ отъ нихъ устанавливаютъ для наблюденій нивеллиръ такъ, чтобы сдѣланные отсчеты на рейкахъ, поставленныхъ на точкахъ прямой, были прочитаны при неизмѣнномъ положеніи окуляра относительно объектива,—что возможно, если нивеллиръ отъ середины прямой длиною въ 50 саж. отстоитъ саженяхъ въ 30. Послѣ этого нивеллиръ переносятъ въ одну изъ конечныхъ точекъ и, приведя пузырекъ на средину (или не приводя при наклонномъ положеніи оптической оси) вновь дѣлаютъ отсчеты по рейкамъ, поставленнымъ на прежнія точки, отсчетъ же въ точкѣ O (мѣсто объектива) (черт. 269) дѣлаютъ



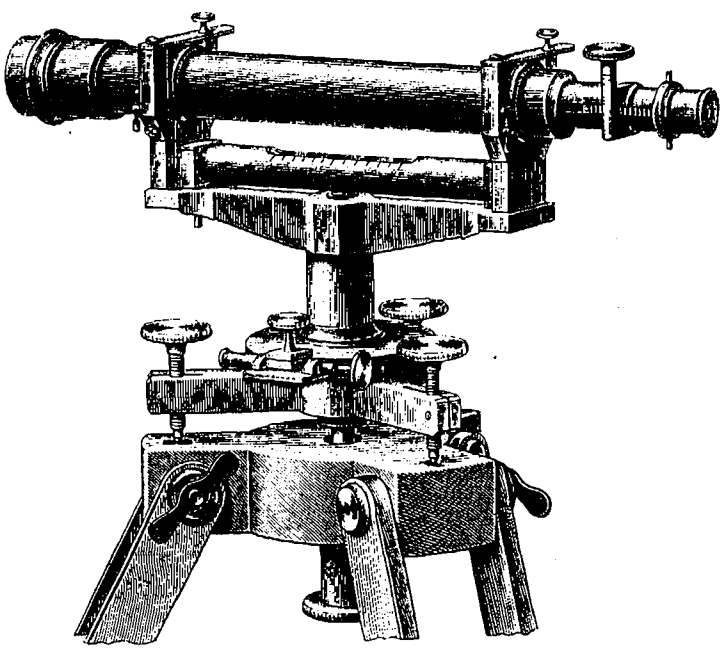
Черт. 269.

на рейкѣ чтеніемъ по концамъ оправы объектива. Составивъ разность отсчетовъ на каждой точкѣ изъ двойной постановки на ней рейки, наносятъ на бумагу разстоянія между рейками и въ точкахъ отложенія строятъ ординаты, равныя разности отсчетовъ на одной и той же рейкѣ. Если концы отложенныхъ ординатъ и точка O не будутъ лежать на одной прямой, то условіе не выполнено. Движеніе окулярной трубки можетъ регулировать только механикъ. Если

отсчетъ по рейкѣ, при 50 саж. разстоянія отъ нивеллира до рейки, будетъ измѣняться болѣе чѣмъ на 0,002 сажени подъ дѣйствіемъ кремальерки, то нивеллиръ направляется къ механику для починки.

§ **176. Нивеллиры съ перекладными трубами.** Мы разсмотримъ изъ нихъ три системы: 1) нивеллиръ французской системы *съ уровнемъ при подставкѣ трубы*—напр. типа Эго; 2) нивеллиръ нѣмецкой системы *съ уровнемъ подъ трубою* и наглухо съ ней соединенный, напр. типа Рейхенбаха, работы механика Розенберга и 3) нивеллиръ системы *съ уровнемъ перекладывающимся на трубѣ* (будемъ ее называть въ отличіе отъ первыхъ двухъ—швейцарской системой) напр. типа, изготовляемаго Керномъ.

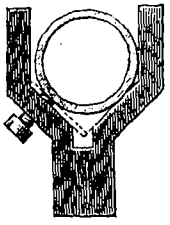
Нивеллиръ Эго въ работѣ французскихъ механиковъ показанъ на черт. 270, онъ имѣетъ зрительную трубу помѣщающуюся на коромыслѣ въ двухъ вертикальныхъ подставкахъ, верхнимъ частямъ которыхъ придана вилко-



Черт. 270.

образная форма (черт. 271). Эти мѣста подставокъ принято называть *обоймицами* или *лагерами*. *Кольца* же трубы, которыми она кладется въ лагеры, называются *цапфами* или *шейками* трубы. Объ подставки трубы помѣщаются на горизонтальной линейкѣ, образуя коромысло, причемъ одна изъ подставокъ наглухо соединена съ линейкой, а другая

можетъ быть немного поднимаема и опускаема посредствомъ *исправительнаго винта подставки*, помѣщающагося снизу линейки. Этотъ винтъ служитъ для приведенія визирной оси трубы въ положеніе, параллельное съ осью уровня; вмѣсто него въ нивеллирѣ *Эго* нерѣдко встрѣчается винтъ съ боку, въ лагерѣ (см. черт. 271) подставки. Уровень также помѣщается на линейкѣ коромысла. Одинъ конецъ его можетъ подниматься и опускаться посредствомъ *исправительнаго винта уровня*, проходящаго снизу чрезъ линейку коромысла. Онъ ясно обозначенъ на чертежѣ 270 Его назначеніе—установка оси уровня перпендикулярно къ вертикальной оси вращенія инструмента. Вертикальная ось всего инструмента имѣетъ у французскихъ механиковъ слѣдующее устройство: втулка, съ которою соединена линейка коромысла, оканчивается кругомъ съ клещами, имѣющими нажимательный и микрометренный винты. Вертикальная ось помѣщается въ срединѣ треножника, въ рукава котораго входятъ три подъемные винта. Весь инструментъ устанавливается на головѣ французскаго штатива, къ которой онъ прикрѣпляется становымъ винтомъ, входящимъ снизу въ треножникъ.

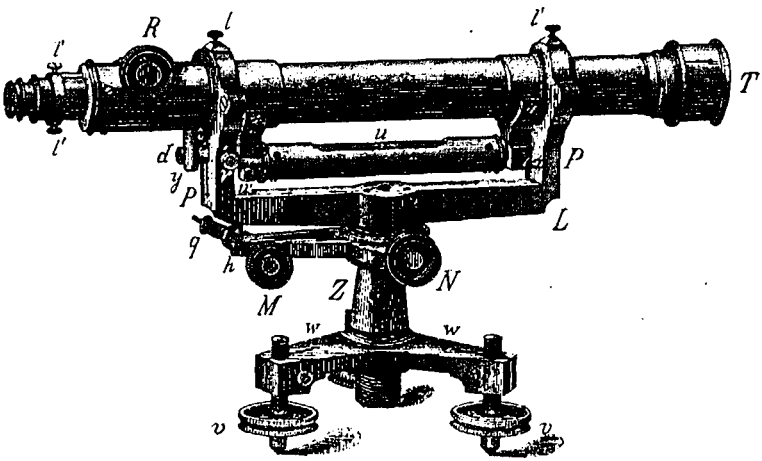


Черт. 271.

Въ заключеніе надо сказать, что иногда подъ линейкою коромысла помѣщается кругъ съ алидадою и градусными дѣленіями; тогда нивеллиръ можетъ служить для приближеннаго измѣренія горизонтальныхъ угловъ, при условіи, что визируемые предметы находятся на мѣстности слабо наклоненной къ горизонту, такъ какъ *труба* по самому устройству *инструмента можетъ быть поворачиваема только въ горизонтальной плоскости*. Въ мѣстностяхъ же съ большимъ наклономъ къ горизонту нивеллиръ окажется не пригоднымъ и придется для той же цѣли или употреблять какой-нибудь угломѣрный инструментъ, или дѣлать въ нивеллирѣ спеціальное приспособленіе для измѣренія горизонтальныхъ угловъ.

Нивеллиръ нѣмецкой системы, работы механика *Розенберга* (черт. 272) въ нижней своей части представляетъ усѣченный конусъ Z съ тремя рукавами w, въ которые входятъ подъемные винты v. Въ конической колонкѣ Z помѣщается вертикальная ось вращенія инструмента, соединенная съ линейкою L коромысла. Нажимательный винтъ N прекращаетъ вращеніе всей верхней части инструмента вокругъ вертикальной оси. Медленное вращеніе сообщается нивеллиру микрометреннымъ винтомъ M со спиральною пружиною q, упирающимися съ двухъ противоположныхъ сторонъ въ вертикальный стержень h линейки L. Одна изъ подставокъ P распилена вдоль (на чертежѣ лѣвая) и регулируется

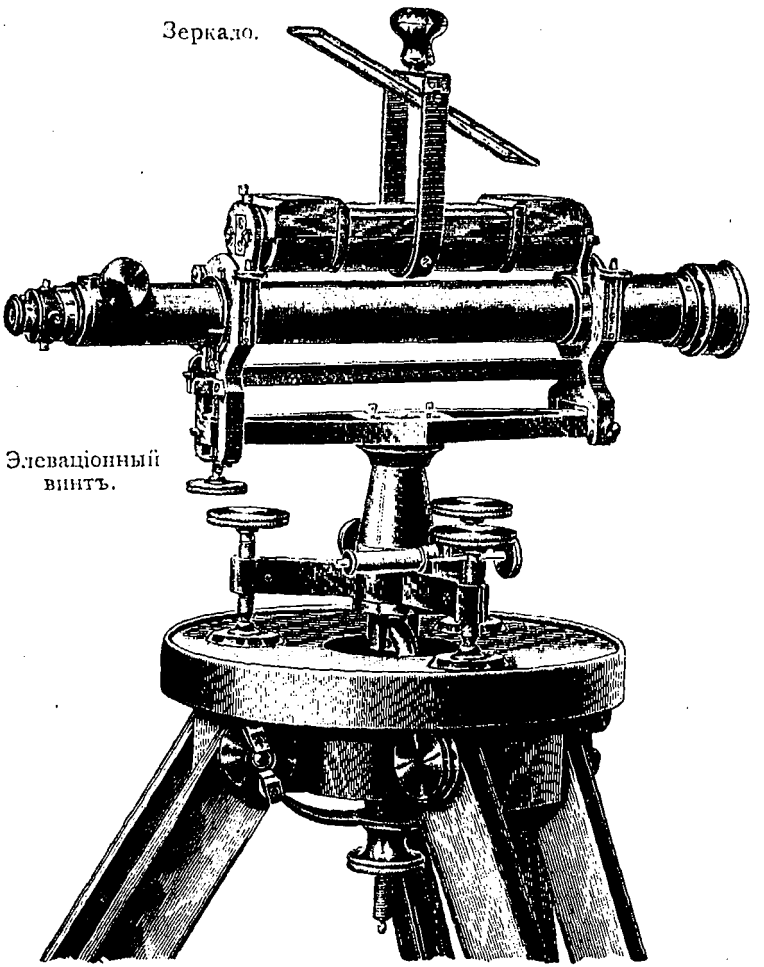
винтомъ *r*. Труба *T* накладывается на подставки въ лагеры и застегивается крючками *l* и *l'*; къ трубѣ снизу привинченъ уровень *u*. Одинъ конецъ уровня (на чертежѣ лѣвый) можетъ быть приподнятъ или опущенъ исправительнымъ винтомъ *u'*, а другой вращается какъ на шарнирѣ между остріями винтовъ *x*, могущихъ сообщить оси уровня перемѣщеніе по горизонтальному направленію. Винтъ *R* служитъ для передвиженія окулярнаго колѣна въ объективномъ. Винтики *i* (два вертикальныхъ *i'* и два горизонтальныхъ *i*) удерживаютъ сѣтку въ трубѣ. Для того, чтобы одна изъ нитей была горизонтальна при отсчитываніи по рейкѣ, къ трубѣ привернутъ вертикальный стерженекъ *y*, упирающійся въ горизонтальный (невидимый на чертежѣ) винтикъ *a*, перпендикулярно входящій въ горизонтальную планку *d* подставки *P*. Точно такую же пластинку *d* съ винтомъ *a* имѣетъ и другая подставка *P*. Труба *T* можетъ быть вмѣстѣ съ уровнемъ *u* переложена въ лагерахъ подставокъ *P* и стержнемъ *y* плотно прижата къ винтику *a*, вращая который, возможно одну изъ нитей установить горизонтально.



Черт. 272.

Нивеллиръ швейцарской системы *съ перекладнымъ на трубѣ уровнемъ* работы механика *Керна* (въ Аарау въ Швейцаріи) изображенъ на чертежѣ 273, имѣетъ легкую сквозную горизонтальную часть подставки съ элевацiоннымъ винтомъ, на подобіе такого же винта, у нивеллира механика Шеурера (фирмы Зиклера). Линейка подставки сидитъ на коническoй втулкѣ треножника о трехъ подъемныхъ винтахъ. На трубѣ находится *перекладной* (на цапфахъ трубы) *уровень* съ зеркаломъ на шарнирѣ; шарниръ, находясь по серединѣ зеркала, по-

зволяетъ наклонять его въ сторону глаза наблюдателя. Уровень въ двойной оправѣ. Наружная оправа изъ дерева и толстаго зеркальнаго стекла, предохраняетъ уровень отъ нагрѣванія лучами солнца. Уровень удерживается на трубѣ застеж-



Черт. 273.

ка милагеръ трубы помощію 2-хъ штифтовъ. Близъ треножника (сверху его) находятся нажимательный и микрометренный винты вертикальной оси вращенія инструмента. Снизу на треножникъ навертывается гайка съ петлей, въ которую входитъ крючекъ станового винта съ плоской пружиной,

поддерживаемой второй сквозной гайкой, перемѣщающейся вдоль нарѣзки станового винта. Штативъ сквозной, французской системы, съ круглой широкой головой.

§ 177. Условія, требуемыя отъ нивеллировъ съ перекладными трубами и ихъ повѣрка. Схема устройства нивеллира съ уровнемъ при подставкѣ помѣщена на чертежѣ 274. Подобные же схематическіе чертежи мы будемъ дѣлать и для нивеллировъ съ уровнями при трубѣ (напр. сист. Розенберга) и для нивеллировъ съ уровнями, перекладывающимися на трубѣ (напр. сист. Керна). На нихъ условимся впредь обозначать черезъ LL' горизонтальную линейку подставки трубы [1]), черезъ p и p' размѣры подставокъ трубы отъ цапфъ (шеекъ) трубы до линейки, S и S'—размѣры подставокъ уровня, (разстоянія между концами оси uu' и линейкой LL') r и r'—діаметры шеекъ (цапфъ, колецъ) трубы, черезъ hh_1—направленіе визирной оси трубы, черезъ uu'—ось уровня, параллельнаго трубѣ, черезъ mm' образующую трубы (линію, соединяющую двѣ точки m и m' шеекъ трубы).

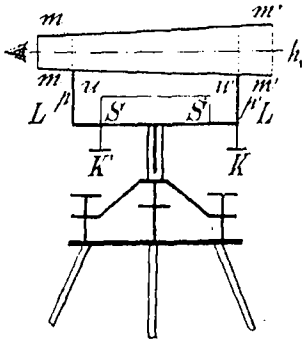
Условія, требуемыя отъ нивеллировъ съ перекладными трубами, въ сущности тѣ же, что и въ глухихъ нивеллирахъ, но повѣрки ихъ имѣютъ нѣкоторыя особенности, *вызываемыя различіемъ конструкцій*. По этому *необходимо твердо запомнить* эти чертежи—схемы устройствъ трехъ типовъ нивеллировъ съ перекладными трубами. Сначала остановимся на повѣркахъ нивеллировъ съ уровнемъ, прикрѣпленнымъ къ линейкѣ подставки трубы, а затѣмъ укажемъ на соотвѣтственныя измѣненія ихъ въ другихъ нивеллирахъ.

Условія, требуемыя отъ нивеллировъ съ уровнемъ, прикрѣпленнымъ къ линейкѣ подставки трубы (напр. нивеллиръ Эго), слѣдующія:

1) *Уровень долженъ имѣть чувствительность достаточную и не излишнюю.* Повѣрка производится совершенно такъ же, какъ и въ глухихъ нивеллирахъ.

2) *Ось уровня должна быть перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента.* Ставятъ инструментъ на линію, на концахъ которой выставлены вѣхи, направляютъ пересѣченіе нитей трубы на одну изъ этихъ вѣхъ, подъемными винтами приводятъ пузырекъ уровня на средину, поворачиваютъ верхнюю часть инструмента настолько, чтобы пересѣченіе нитей покрыло другую вѣху, т. е. точно на 180^0, и смотрятъ, находится ли пузырекъ уровня на срединѣ трубки. Уклоненіе середины пузырька отъ середины трубки уровня уничтожается на половину дуги отклоненія

[1]) Т. е. перпендикуляръ къ вертикальной оси вращенія.



Черт. 274.

винтомъ K' уровня (черт. 274). Повѣрка повторяется снова до совершеннаго выполненія требуемаго отъ уровня условія.

Замѣчаніе. Повернуть точно на 180° нивеллиръ съ перекладной трубой около его вертикальной оси вращенія можно также и слѣдующимъ образомъ: навести крестъ нитей трубы на какую либо точку, переложить трубу въ лагерахъ и вновь навести крестъ нитей на ту же точку.

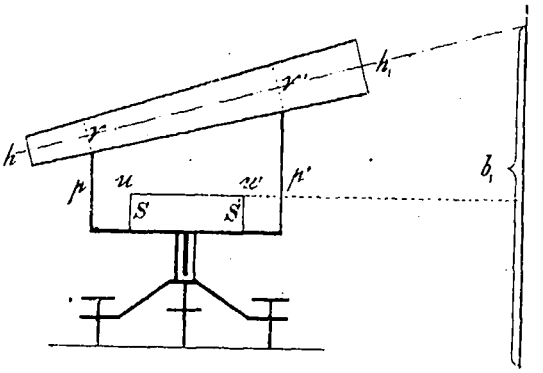
3) *Одна изъ нитей сѣтки трубы должна быть перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента, т. е. горизонтальна* при отвѣсномъ положеніи этой оси. Повѣрка производится такъ же, какъ и въ глухихъ нивеллирахъ, т. е. по приведеніи инструмента въ горизонтальное положеніе, направляютъ изслѣдуемую нить на точку предмета и двигаютъ трубу немного вправо и влѣво. Уклоненіе нити съ избранной точки уничтожается горизонтальнымъ винтомъ *a* пластинки *d* при подставкѣ трубы, конецъ котораго долженъ упираться въ вертикальный выступъ *y* (черт. 272 и 270) близъ шейки трубы. Ту же установку нужно сдѣлать и для второго подобнаго же винта, помѣщающагося на другой подставкѣ трубы. Это условіе лучше всего производить послѣ того, какъ повѣрено совпаденіе визирной оси зрительной трубы съ геометрической ея осью.

4) Главное условіе: *визирная ось трубы должна быть параллельна оси уровня.* Изъ схематическаго чертежа устройства нивеллира съ уровнемъ при подставкѣ видно, что это условіе распадается на двѣ части, а именно: оптическая ось hh' будетъ тогда параллельна оси уровня, когда I) *ось уровня,* II) *а также и визирная ось трубы будутъ (каждая въ отдѣльности) параллельны линейкѣ* LL' или, что то-же самое, перпендикулярны къ вертикальной оси вращенія инструмента, а для параллельности визирной оси трубы линейкѣ LL' нужно выполнить слѣдующія три условія, а именно чтобы: III) *визирная ось совпадала съ геометрической осью зрительной трубы,* IV) *образующая* mm' *трубы была параллельна линейкѣ* LL', *и чтобы* V) *зрительная труба представляла собою цилиндръ,* т. е. чтобы діаметры шеекъ трубы были равны.

Ось уровня nn' будетъ тогда параллельна линейкѣ, когда подставки S и S' уровня будутъ равны между собою и одинаково наклонены къ линейкѣ LL'. Равенство же подставокъ S и S' достигается (какъ уже это было указано) при повѣркѣ 2-го условія, дѣйствуя винтомъ K' уровня.

Совпаденіе визирной и геометрической осей трубы достигается способомъ, изложеннымъ въ § 164 (черт. 153). Допустимъ, что объ оси совпадаютъ, тогда легко повѣрить параллельность образующей трубы mm' линейкѣ LL', ибо выполненіе этого условія достигается *выравниваніемъ подставокъ p и p' трубы*. При этомъ мы предполагаемъ, что подставки p и p' такъ же, какъ и S и S' перпендикулярны къ линейкѣ LL'.

Пусть p и p' — подставки трубы (черт. 275), неравныя между собою, причемъ передняя $p' > p$, кольца имѣютъ также неравные діаметры $r' > r$, т. е. зрительная труба не представляетъ собою цилиндра. Подставки уровня выравнены, т. е. $S = S'$. Приведемъ пузырекъ уровня на середину трубки и, чтобы замѣтить положеніе hh_1 визирной оси, выставимъ на 25 саж. передъ инструментомъ рейку (обычное разстояніе станціи отъ пикета), и сдѣлаемъ по рейкѣ отсчетъ b_1, онъ будетъ болѣе истиннаго [1]), ибо передній конецъ трубы (визирной оси hh_1) повышенъ; но если бы подставки у трубы были равны, то отъ перемѣны ихъ мѣстъ подъ трубою разъ сдѣланный отсчетъ b_1 на рейкѣ измѣниться не могъ бы. Испытаемъ это: повернемъ инструментъ около вертикальной оси на 180°, тогда объективъ станетъ на мѣсто окуляра. Подставка p' займетъ мѣсто подставки p. (черт. 276). Для того же, чтобы можно было вновь визировать черезъ трубу на рейкѣ, дабы убѣдиться, что визирная ось не измѣнила своего положенія, необходимо трубу переложить въ лагерахъ. *Послѣ перекладыванія трубы большая цапфа r' снова встанетъ впередъ*. Если теперь вновь поставимъ пузырекъ уровня точно на середину трубки и сдѣлаемъ второй отсчетъ b_2 по рейкѣ (черт. 277), то онъ будетъ *не* равенъ первому отсчету b_1. Причиною несогласія между собою отсчетовъ будетъ только *неравенство подставокъ трубы*, ибо большое кольцо r' трубы осталось на прежнемъ мѣстѣ у объектива, а потому пріемъ обнаруженія неравенства подставокъ трубы и основанъ на двойномъ от-



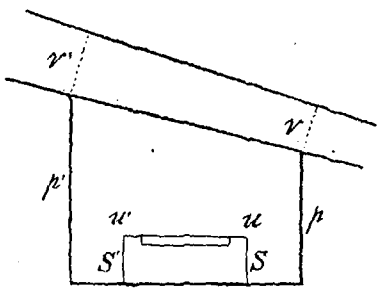
Черт. 275.

[1]) Т. е. того отсчета, который мы сдѣлали бы при равенствѣ подставокъ p и p'.

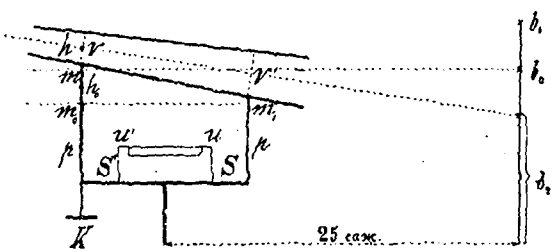
счетѣ по рейкѣ. Для выравниванія подставокъ служитъ исправительный винтъ K, устраиваемый или снизу подставки, или сбоку ея, у одной изъ лагеръ, какъ это показано на чертежѣ 277 и 271.

Пусть $b_1 - b_2 = c$, тогда $b_1 - \frac{c}{2} = b_2 + \frac{c}{2} = b_0 = \frac{b_1 + b_2}{2}$.

На основаніи этого мы можемъ сказать, что, опуская повышенную подставку p_1 винтомъ K (черт. 277) до тѣхъ поръ, пока отсчетъ b_2 измѣнится въ b_0 (черт. 277), мы наконецъ повтореніемъ этого пріема повѣрки достигнемъ такой разности подставокъ p и p', которая не будетъ сказываться на отсчетахъ b_1 и b_2 по рейкѣ, при разстояніи 25 саж. отъ инструмента до рейки, т. е. разность ихъ будетъ $b_2 - b_1$, $< 0{,}002$ саж. И такъ, чтобы обнаружить и достигнуть возможнаго равенства подставокъ трубы у нивеллира Эго, слѣдуетъ 1) избрать линію около 25 саж., въ одинъ



Черт. 276.



Черт. 277.

конецъ поставить отвѣсно рейку, въ другой — инструментъ, 2) привести пузырекъ уровня на средину трубки, 3) сдѣлать по рейкѣ отсчетъ, 4) повернуть инструментъ на 180^0, 5) поправить уровень, чтобы пузырекъ въ точности оставался на срединѣ трубки, 6) переложить трубу въ лагерахъ 7) вновь сдѣлать второй отсчетъ, 8) изъ обоихъ отсчетовъ взять среднее ариѳметическое и 9) винтомъ при подставкѣ трубы установить крестъ нитей на отсчетъ, равный полученному среднему ариѳметическому изъ обоихъ отсчетовъ. При равенствѣ отсчетовъ b_1 и b_2 само собою разумѣется подставки не требуютъ исправленія. Опуская подставку p' (черт. 277), тѣмъ самымъ опустимъ h и m до положенія h_0 и m_0 и образующая $m_0 m'$ будетъ почти параллельна uu'.

Остается провѣрить равенство діаметровъ колецъ r и r', такъ какъ даже при равенствѣ подставокъ p и p' трубы и совпаденіи геометрической оси съ визирной, при неравенствѣ діаметровъ r и r' цапфъ, визирная ось трубы *не* будетъ параллельна оси уровня.

Чтобы повѣрить это послѣднее условіе у нивеллира Эго, нужно, положивъ трубу въ лагеры послѣ всѣхъ приведенныхъ выше повѣрокъ, *идти на мѣстность и, взявши наклонную линію, дважды пронивеллировать ее—снизу вверхъ и сверху внизъ*, т. е. продѣлать то же самое, что и въ глухомъ нивеллирѣ при производствѣ повѣрки параллельности оптической оси къ оси уровня. Пусть отсчетъ по рейкѣ при нахожденіи нивеллира внизу былъ b_1, а высота инструмента i_1, послѣ переноски нивеллира на мѣсто рейки высота его измѣнилась въ i_2, а отсчетъ по рейкѣ (при нахожденіи пузырька уровня на срединѣ трубки) сдѣлался равнымъ b_2. Если разность $i_1—b_1$ *не* равна $b_2—i_2$, (дающія при вывѣренномъ нивеллирѣ превышеніе одной точки надъ другой), то діаметры r и r' колецъ трубы *не* равны. Исправленіе ошибки поручается механику, который долженъ переточить шейки. Ошибка y въ отсчетѣ на рейкѣ будетъ

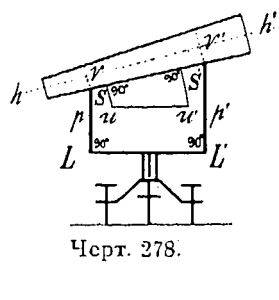
$$y = \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{b_1 + b_2}{2}.$$

Она возрастаетъ пропорціонально разстоянію. Если бы разстоянія отъ нивеллира до обѣихъ реекъ были равны, то эта ошибка не сказывалась бы на разности высотъ подошвъ реекъ. При нивеллированіи впередъ она неминуемо цѣликомъ войдетъ въ отсчетъ по рейкѣ, а слѣдовательно и въ разность высотъ. Чтобы не считаться съ вліяніемъ этой ошибки (т. е. не вводить поправки въ отсчеты) необходимо преобразовать нивеллиръ изъ нивеллира съ перекладною трубою въ глухой нивеллиръ, т. е. употреблять его въ одномъ *разъ навсегда замѣченномъ* положеніи, напр. кладя трубу объективомъ на подставку, замѣченную какимъ-либо знакомъ, и достигая параллельности осей уровня и трубы винтами при сѣткѣ.

Повѣрки нивеллира съ уровнемъ подъ трубою. Условія, требуемыя отъ нивеллира съ уровнемъ подъ трубою (напр. системы Розенберга) тѣ же самыя, что и для нивеллира Эго, но производство повѣрокъ этихъ условій нѣсколько иное. Такъ, чтобы повѣрить перпендикулярность оси uu' уровня къ вертикальной оси вращенія инструмента, достаточно, потребовать, чтобы

I) $S = S'$, т. е. *чтобы были равны подставки уровня* и

II) $p = p'$, т е. чтобы были *равны подставки у трубы.*

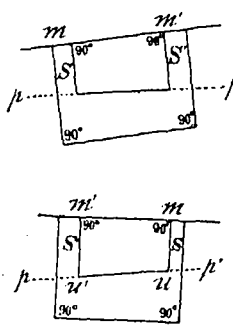


Черт. 278.

При соблюденіи условія $S = S'$, само собою разумѣется, выполнится параллельность образующей трубы къ оси uu' уровня и останется провѣрить

III) *совпаденіе геометрической и визирной осей у трубы* и IV) *равенство діаметровъ ея цапфъ, которыми она кладется въ лагеры*, тогда выполнится и главное условіе: параллельность оси уровня къ визирной оси трубы.

Повѣрка равенства подставокъ S и S' *уровня* дѣлается такъ: ставятъ уровень по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ, приводятъ пузырекъ уровня на средину, затѣмъ мѣняютъ мѣста подставокъ S и S' (черт. 279), *что достигается простымъ перекладываніемъ трубы въ лагерахъ*. Если пузырекъ отклонится отъ середины трубки, то S не равно S', пузырекъ уклонится къ повышенному концу, къ короткой подставкѣ, тогда исправительнымъ винтомъ u' при уровнѣ uu' выравниваются подставки уровня. Пузырекъ переводится винтомъ при u' на половину дуги отклоненія отъ середины трубки.



Черт. 279.

Самое производство повѣрки основано на томъ, что какъ при 1-омъ, такъ и при 2-омъ положеніи трубы, *образующая ея*, т. е. линія mm' (черт. 279) *не измѣнитъ своего направленія относительно спокойно стоящей всей нижней части нивеллира*. Уголъ наклона линіи mm' къ горизонту отъ перекладыванія трубы не мѣняется, такъ какъ положеніе ея (направленіе) только зависитъ отъ положенія подставокъ p и p', а онѣ остаются на мѣстѣ.

Повѣрка равенства подставокъ p *и* p' *трубы*. Выравнивъ подставки уровня, *снова* ставятъ уровень по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ и приводятъ пузырекъ его на середину трубки, послѣ чего мѣняютъ подъ зрительной трубою мѣста подставокъ трубы p и p', *вращая всю подставку нивеллира точно на* 180^0 *около вертикальной оси*[1]). Если пузырекъ уклонится отъ середины трубки, то это укажетъ, что подставки p и p' не равны. Выравниваніе подставокъ производится у нивеллира Розенберга исправительнымъ винтомъ r подставки p_1 (смотри перспективный чертежъ № 272), а у нивеллировъ той же системы, имѣющихъ элевационный винтъ при подставкѣ, напр., системы Бамберга, исправленіе дѣлается элевационнымъ винтомъ, причемъ по головкѣ элевационнаго винта, или замѣчается отсчетъ, или же на самой подставкѣ (системы Рейхенбаха) дѣлается за-

[1]) Такъ какъ равенство подставокъ S и S' уже провѣрено, то можно прямо, оставляя на мѣстѣ трубу въ лагерахъ, повернуть весь инструментъ на 180^0 около его вертикальной оси вращенія.

рубка (подобно тому, какъ это дѣлается въ глухомъ нивеллирѣ Зиклера), на которую и устанавливается подставка передъ приведеніемъ инструмента въ горизонтальное положеніе. Самое выравниваніе состоитъ въ томъ, что пузырекъ уровня двигаютъ винтомъ r (или элеваціоннымъ) *на половину дуги отклоненія*. Передвинувъ пузырекъ, вновь повторяютъ пріемъ, т. е. ставятъ *подъемнымъ* винтомъ пузырекъ уровня на середину трубки и поворачиваютъ нивеллиръ около вертикальной оси на 180°. Въ случаѣ уклоненія пузырька отъ середины трубки опять дѣйствуютъ винтомъ при подставкѣ. Пріемъ повторяется до тѣхъ поръ, пока пузырекъ перестанетъ мѣнять свое положеніе въ трубкѣ вслѣдствіе поворота нивеллира на 180° около вертикальной оси.

Чтобы убѣдиться, *лежитъ ли ось ии' уровня съ визирной осью въ одной плоскости*, поступаютъ такъ же, какъ это было указано на черт. 181—183, § 125.

Совпаденіе геометрической оси съ оптической и *равенство діаметровъ цапфъ* въ нивеллирѣ съ уровнемъ при трубѣ повѣряется точно такъ же, какъ и въ нивеллирѣ съ уровнемъ на подставкѣ трубы (сист. Эго).

Повѣрка чувствительности уровня не зависитъ отъ системы нивеллира.

Повѣрки нивеллира съ перекладнымъ на трубѣ уровнемъ. Въ нивеллирѣ съ уровнемъ, перекладывающимся на трубѣ (*сист. Керна*) требуется выполненіе тѣхъ же 6 условій:

I) *равенство подставокъ уровня*,

II) *равенство діаметровъ цапфъ* (*шеекъ*) у трубы,

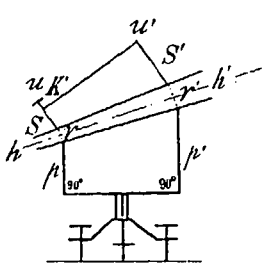
III) *равенство подставокъ трубы*,

IV) *совпаденіе геометрической оси съ визирною у трубы*,

V) *нахожденіе оси уровня съ визирною осью въ одной плоскости*,

и VI) *нахожденіе одной изъ нитей въ горизонтальной плоскости* (*или правильнѣе ея перпендикулярность къ вертикальной оси вращенія нивеллира*).

I. Равенство подставокъ S и S' уровня повѣряется *перекладываніемъ уровня на цапфахъ трубы*. При этомъ, замѣтивъ первоначальное положеніе подставокъ S и S' (черт. 280), ставятъ уровень по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ и приводятъ пузырекъ его на середину трубки. *Затѣмъ мѣняютъ мѣста ножекъ S и S' простымъ перекладываніемъ уровня, не трогая трубы и нижней части нивеллира*. Отклоненіе середины пузырька отъ середины трубки укажетъ на неравенство подставокъ и ихъ выправляютъ исправительнымъ винтомъ K' уровня, передвигая пузырекъ на половину дуги отклоненія.



Черт. 280.

II. *равенство діаметровъ цапфъ* можно обнаружить такъ: убѣдившись въ равенствѣ подставокъ уровня, т. е. въ томъ, что $S=S'$, и приведя пузырекъ уровня на середину трубки, *приподнять* уровень (*не* мѣняя мѣстъ S и S'), *и подъ уровнемъ переложить трубу въ лагерахъ*, т. е. перемѣнить мѣста цапфъ; если цапфы не равны, то пузырекъ уклонится отъ середины трубки, и шейки слѣдуетъ переточить.

III. *Равенство подставокъ* p и p' провѣряется, послѣ приведенія пузырька на середину трубки уровня, поворачиваніемъ всего инструмента на 180° такъ же, какъ въ нивеллирѣ системы Розенберга.

Исправленіе неравенства подставокъ трубы достигается элевационнымъ винтомъ. Правильное положеніе подставокъ замѣчается отсчетомъ по элевационному винту или мѣткою на подставкѣ, на которую устанавливается край линейки подставки.

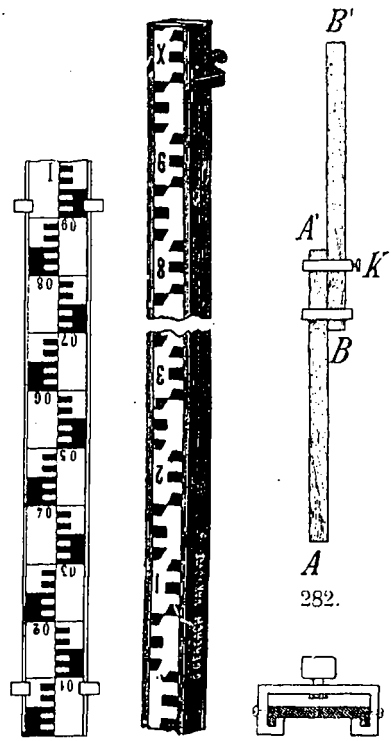
Выполненіе условій IV, V и VI достигается тѣми же пріемами, что и въ ранѣе описанныхъ нивеллирахъ.

§ 178. Нивеллирныя рейки. Для отсчитыванія вертикальныхъ разстояній отъ земли до горизонтальнаго луча зрѣнія, при геометрическомъ (или иначе топографическомъ) нивеллированіи служатъ *нивеллирныя рейки*, т. е. деревянные бруски, длиною отъ 1 до 2 саженъ, толщиною около полдюйма и шириною отъ 2 до 3 дюймовъ. Самая распространенная рейка, извѣстная подъ названіемъ *мюнхенской рейки* (системы механика Рейхенбаха), состоитъ изъ двухъ *равныхъ по длинѣ* брусковъ, соединенныхъ снизу и сверху скобами. Въ этихъ скобахъ одинъ брусъ можетъ двигаться вдоль другого. Длина каждаго бруса немного болѣе одной сажени. Въ случаѣ надобности задній брусъ выдвигается изъ-за передняго, и подпись его дѣленій должна служить продолженіемъ подписи передняго бруса (черт. 281а). Лицевая сторона передняго бруса выкрашена бѣлой масляной краской и по бѣлому полю (черт. 281) нанесены поперемѣнно бѣлыя и черныя (или красныя) шашки двухъ родовъ: каждая малая шашка = 0,01 саж., а каждая большая шашка = 0,05 сажени (полудесятыя). Черезъ каждыя 10 малыхъ шашекъ, т. е. черезъ каждую десятую долю сажени сдѣлана подпись. На переднемъ брусѣ подпись дѣлается такъ:

0,0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,9; 1,
или 0, 1, 2, 3, 4, 5, ... 9, X,
а на заднемъ брусѣ: I, 1; I, 2, I, 3; ..... I, 9; II
или 11, 12, 13, ... 19, 20.
Встрѣчается также подпись: 0, 1, 2, ... 9, X
$\dot{1}$, $\dot{2}$, $\dot{3}$, $\dot{4}$, ... $\dot{9}$, $\dot{X}$.

На чертежѣ 282 представлена раздвинутая рейка, если смотрѣть на нее въ профиль (сбоку). На немъ AA' передній

брусъ, а BB' — задній брусъ, къ переднему брусу привернута верхняя скоба съ винтомъ K, могущимъ плотно прижать задній брусъ къ переднему; нижняя скоба привернута къ низу бруса BB', т. е. къ заднему брусу, скользящему вдоль передняго. При раздвиганіи рейки нижняя скоба поднимается къ верхней скобѣ. *Подпись цифръ на рейкѣ должна идти въ обратномъ видѣ*, какъ показано на предшествующемъ чертежѣ, такъ какъ зрительныя трубы нивеллировъ — астрономическія, т. е. дающія изображенія въ обратномъ видѣ. Въ планѣ раздвижная мюнхенская рейка имѣетъ видъ, указанный на чертежѣ 283.



282.

Черт. 281. Черт. 281а. Черт. 283.

Для того, чтобы дерево не размочаливалось и рейка не оббивалась, сверху и снизу она обита желѣзными скобочками, имѣющими видъ поперечнаго сѣченія рейки. Нижній конецъ рейки, которымъ она ставится на землю, или на деревянный колышекъ, обозначающій точку мѣстности, принято называть *пяткою рейки*.

Производство топографическаго нивеллированія.

§ 179. Виды геометрической нивеллировки. Пріемъ нивеллировки вполнѣ зависитъ отъ той цѣли, съ которой предпринимается нивеллированіе. I) Если опредѣляется разность уровней двухъ *незначительно удаленныхъ* другъ отъ друга точекъ и при этомъ оказывается вполнѣ достаточнымъ *одной постановки* инструмента или, какъ говорятъ, одной станціи *съ нивеллиромъ*, то такое нивеллированіе называется *простымъ*. Пріемъ простого нивеллированія можетъ быть двоякій,—*„впередъ“* и *„изъ средины“*. II) Если же для опредѣленія разности уровней двухъ точекъ приходится брать нѣсколько станцій, то нивеллированіе называется *сложнымъ*. При сложномъ нивеллированіи опредѣляется разность уровнѣй не только двухъ крайнихъ точекъ, а цѣлаго ряда то-

чекъ на данномъ направленіи. Если сложное нивеллированіе ведется *вдоль* заранѣе намѣченной линіи заданнаго направленія (по прямой, ломаной, или кривой, или по извилинѣ, состоящей изъ ряда прямыхъ и кривыхъ), то такое нивеллированіе принято называть *продольнымъ*. Продольное (техническое) сложное нивеллированіе въ большинствѣ случаевъ ведется по оси будущей дороги или по оси проектируемой канавы. Нивеллированіе, идущее (въ горизонтальной плоскости) подъ угломъ къ главному продольному, принято называть *поперечнымъ*. Поперечною нивеллировкою опредѣляется характеръ всей поверхности узкой полосы земли, предназначенной для дороги или канала. На основаніи продольной нивеллировки въ связи съ поперечной дѣлается разсчетъ земляныхъ работъ для насыпей и выемокъ. Если ширина поперечныхъ профилей (вертикальныхъ сѣченій) незначительна, какъ это имѣетъ мѣсто при нивеллировкѣ узкой полосы земли, то поперечная нивеллировка ведется совмѣстно съ продольной. Если же ось поперечной нивеллировки достаточно длинна и число поперечныхъ профилей значительно, то поперечная нивеллировка поручается особому лицу. Для поперечныхъ нивеллировокъ нерѣдко пользуются даже простымъ ватерпасомъ. III) Нивеллированіе можетъ имѣть цѣлію опредѣленіе *общаго характера поверхности цѣлаго участка мѣстности;*—такое нивеллированіе, дающее рядъ профилей: 1) непосредственно изъ полевыхъ дѣйствій, по заранѣе намѣченнымъ въ полѣ направленіямъ, а во 2) по плану (съ горизонталями) въ любомъ направленіи, называется *нивеллированіемъ поверхности*.

Если продольное нивеллированіе ведется по оси будущей дороги или канала по несомкнутой линіи, состоящей изъ ряда прямыхъ, соединенныхъ кривыми, то въ такомъ случаѣ прямыя между двумя сосѣдними кривыми называютъ *„прямыми вставками"*, а кривыя—*„закругленіями"*. Кривыя эти по преимуществу дѣлаются дугами круговъ опредѣленныхъ (заранѣе данныхъ) радіусовъ.

§ 180. Нивеллированіе узкой полосы земли (будущей дороги или канала) слагается изъ а) *заготовленія оси нивеллированія* или *разбивки пикетажа* и б) *собственно* сложнаго продольнаго *нивеллированія* вдоль заготовленной оси, иногда въ связи съ поперечнымъ нивеллированіемъ.

а) *Заготовленіе оси продольнаго нивеллированія* слагается изъ *разбивки прямыхъ линій* и изъ *разбивки закругленій* и заключается, помимо вѣшенія линій, I) въ промѣрахъ разстояній стальной лентой (или цѣпью), II) въ забиваніи деревянныхъ кольевъ а) въ мѣстахъ постановокъ реекъ (для *обозначенія пикетовъ*), б) въ мѣстахъ, означающихъ начало, средину и конецъ кривой, в) въ точкахъ *перегиба* земной поверхности, г) въ мѣстахъ точекъ поперечныхъ профилей и т. п., III) въ правильной нумераціи забитыхъ кольевъ,

IV) въ измѣреніи теодолитомъ (или инымъ угломѣрнымъ инструментомъ, напр. пантометромъ) угловъ между прямыми вставками, (а также и при детальной разбивкѣ кривыхъ), V) въ нанесеніи пикетовъ на кривыя и VI) въ правильномъ веденіи пикетажной книжки.

б) *Собственно сложное продольное нивеллированіе* заключается 1) въ удачномъ выборѣ наименьшаго числа станцій по оси, 2) въ надлежащей установкѣ инструмента на станціяхъ, 3) въ правильномъ чтеніи на рейкахъ отрѣзковъ, даваемыхъ горизонтальною нитью зрительной трубы (считая ихъ отъ пятки рейки), 4) въ надлежащей записи отсчетовъ въ графы журнала нивеллированія и 5) въ принятіи ряда предосторожностей, исключающихъ возможность какъ грубыхъ ошибокъ, такъ и неизбѣжныхъ погрѣшностей (отъ несовершенства инструментовъ, несовершенства пріема нивеллировки и отъ несовершенства зрѣнія наблюдателя) въ окончательныхъ результатахъ сдѣланныхъ наблюденій.

§ 181. Отмѣтка. Реперъ. Связующія и промежуточныя точки нивеллировки. *Отмѣткою* точки земной поверхности или иначе ея *альтитудою* условимся называть высоту ея надъ заранѣе нами выбраннымъ уровнемъ. За этотъ уровень обыкновенно считаютъ средній горизонтъ водъ извѣстнаго моря (напримѣръ Балтійскаго или Чернаго) въ заранѣе намѣченномъ пунктѣ.

Если же высоты точекъ нивеллируемой мѣстности будемъ относить къ произвольному фиктивному уровню, то такія отмѣтки станемъ называть *условными*.

Высоту линіи визированія на каждой станціи надъ условнымъ уровнемъ будемъ называть *горизонтомъ инструмента* или *горизонтомъ станціи*.

Постоянныя точки (чѣмъ-либо хорошо замѣченныя относительно окружающихъ ихъ точекъ, напр. верхнія линіи цоколей церквей и каменныхъ зданій, спеціально вбитые горизонтально желѣзные болты въ стѣны, верхній край сруба колодца, а также прочно врытые по пути нивеллированія въ землю, спеціальной формы, столбики и т. п.), отъ которыхъ ведется нивеллировка или при которыхъ заканчивается нивеллирный ходъ, будемъ называть *реперами* или *нивеллирными марками* (замѣтками).

Точки, на которыя будемъ дѣлать взгляды (т. е. брать отсчеты) по одной и той же рейкѣ *съ двухъ сосѣднихъ станцій* сложнаго продольнаго нивеллированія, будемъ называть *связующими* точками нивеллировки, точки же, встрѣчающіяся между связующими—*промежуточными*. Въ зависимости отъ наклона мѣстности и отъ силы зрѣнія трубы и чувствительности уровня разстояніе между связующими точками мѣняется, а потому мѣняется и разстояніе между станціями.

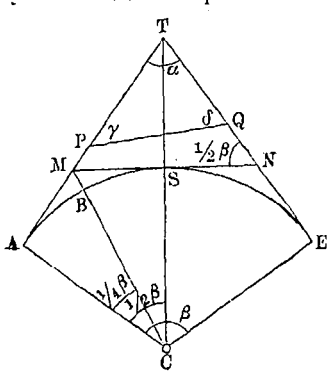
Обыкновенно связующими точками дѣлаютъ пикеты, и общепринятое разстояніе между двумя сосѣдними пикетами 50 саженъ.

На мѣстности ровной связующія точки берутся на разстояніи отъ 50 до 100 саженъ, если труба имѣетъ увеличеніе въ 30 разъ и цѣна одного дѣленія уровня, т. е. угловая ея величина, не превышаетъ 10″.

На мѣстности крутой разстояніе отъ рейки до инструмента доходитъ до 5 саженъ, при нивеллированіи впередъ, и до 10 саженъ при нивеллированіи изъ средины.

§ 182. Разбивка прямыхъ линій, длиною отъ 50 до 350 саж., дѣлается по трубѣ теодолита; вѣшеніе линіи начинается съ дальней вѣхи, постепенно приближаясь къ теодолиту, при этомъ *предварительно* всегда слѣдуетъ *хорошо выверить* перпендикулярность коллимаціонной плоскости трубы къ плоскости лимба. Провѣшиваніе же болѣе длинныхъ прямыхъ [1]), которыя тянутся на одну или нѣсколько верстъ, требуетъ приборовъ съ *сильными зрительными трубами*, (увеличеніе въ 30—40 разъ), переводящимися черезъ зенитъ или перекладывающимися въ лагерахъ, имѣющихъ обязательно уровень на горизонтальной оси вращенія зрительной трубы, и такъ какъ такіе приборы приспособлены спеціально для разбивки угла въ 180^0, или 200 *gr.*, то у нихъ совсѣмъ не имѣется лимба съ дѣленіями. Эти приборы называются *алиніометрами*.

§ 183. Разбивка закругленій въ главныхъ ихъ точкахъ. Надобность въ разбивкѣ закругленій встрѣчается вслѣдствіе того, что движущійся экипажъ (или судно) не можетъ *сразу* подъ любымъ угломъ *свернуть* съ одного прямолинейнаго направленія на другое. Въ подобныхъ случаяхъ переходъ совершается *постепенно по кривой, касающейся къ двумъ даннымъ прямымъ*. Кривая, сопрягающая двѣ прямыя, большею частію бываетъ *дугою окружности заданнаго радіуса*. Величина радіуса мѣняется въ зависимости отъ назначенія (отъ техническихъ условій) сооружаемаго пути сообщенія. На желѣзныхъ дорогахъ онъ достигаетъ своего наибольшаго значенія, въ водяныхъ и шоссейныхъ путяхъ можно встрѣтить его минимумъ.



Черт. 284.

Точки прикосновенія кривой къ даннымъ прямымъ, т. е. *начало* A (черт. 284) и *конецъ* E кривой, а также ея *середину* S принято называть *главными* точками.

Радіусомъ, началомъ и концомъ — кривая вполнѣ задана и ими же опредѣляется ея положеніе. Здѣсь разъ навсегда замѣтимъ себѣ, *что центра кривой не дается и онъ не отыскивается.*

Обыкновенно на мѣстности измѣряется уголъ α между начальнымъ направленіемъ AT и конечнымъ — TE и тотчасъ высчитывается центральный уголъ $\beta = 180^0 - \alpha$, по которому вычисляется длина b дуги AE при данномъ радіусѣ r по формулѣ

(1) . . . . $b = \frac{\beta}{180} . r\pi$ или $b = \frac{\beta}{\rho} \times r$, гдѣ $\rho = \frac{180}{\pi}$, а также вычисляются длины касательныхъ

[1]) Направленіе такихъ линій задается азимутомъ.

(2) . . . . $TA = TE = r \cdot tg \frac{1}{2}\beta$ и биссектрисы

(3) . . . . $TS = r \ Sec \frac{1}{2}\beta - r.$

Если въ серединѣ S провести касательную MN, то положеніе ея будетъ опредѣляться отрѣзками

(4) . . . . $AM = NE = MS = NS = r \cdot tg \frac{1}{4}\beta$

для $ST = MS \cdot tg \frac{1}{2}\beta$ получится контрольная формула.

(5) . . . . $TS = r \cdot tg \frac{1}{2}\beta \cdot tg \frac{1}{4}\beta.$

Длина части касательной MT опредѣляется такъ:

(6) . . . . $MT = MS \cdot Sec \frac{1}{2}\beta = r \cdot Sec \frac{1}{2}\beta \cdot tg \frac{1}{4}\beta$

и наконецъ

(7) . . . . $MB = r tg \frac{1}{4}\beta \ tg \frac{1}{8}\beta$ или

(8) . . . . $MB = r \ Sec \frac{1}{4}\beta - r.$

Если точка T недоступна, то въ произвольныхъ точкахъ P и Q, лежащихъ на данныхъ направленіяхъ, измѣряютъ углы γ и δ, и по нимъ находятъ $\alpha = 180 - (\delta + \gamma)$.

Въ полѣ при разбивкѣ кривой отмѣряютъ длины TA и TE цѣпью (или лентой), въ точкѣ T по инструменту отмѣряютъ отъ направленія AT половину угла α и откладываютъ длину TS. Иногда по мѣстнымъ условіямъ приходится за исходныя точки брать P и Q или (M и N). Во избѣжаніе вычисленій можно пользоваться спеціально для этого составленными таблицами Кренке, Стримбана, Моржова, Яцыны и т. п.

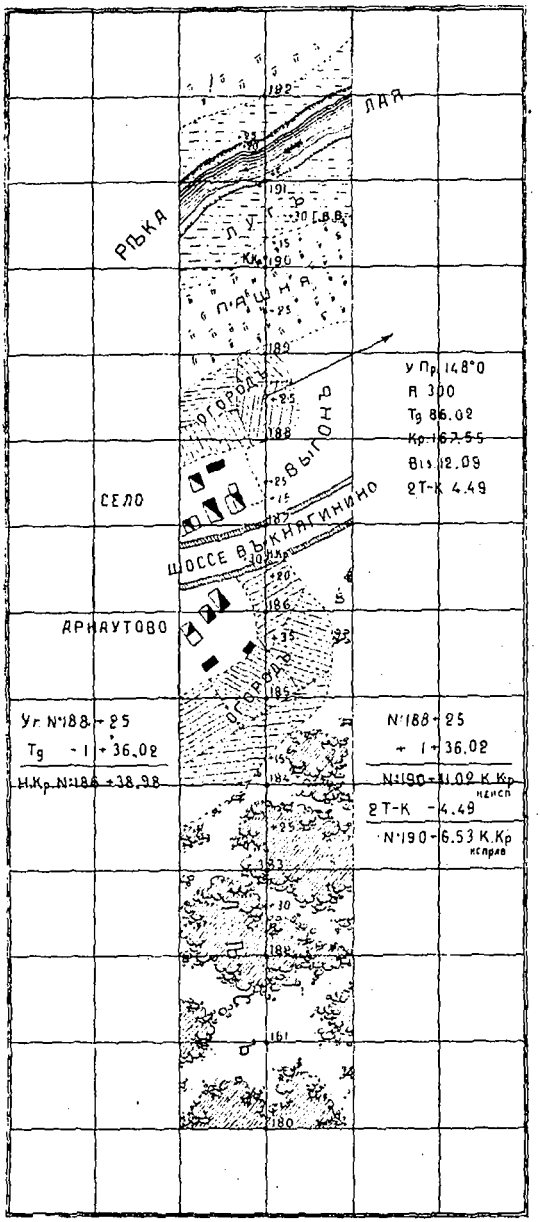
§ 184. Нумерація кольевъ пикетажа. Въ начальной точкѣ оси нивеллировки забивается колъ вровень съ землею, а рядомъ съ нимъ другой, верхушка котораго выше и на которомъ пишется цифра нуль. Вдоль по оси отъ нулевого пикета отмѣриваются 50, 100, 150 и т. д. саженъ съ постановкою на концахъ этихъ разстояній по два кола, одного вровень съ землею, представляющаго собственно пикетъ, а другого (сторожокъ) съ номеромъ 1, или 2, или 3 и т. д. Этотъ способъ нумераціи пикетовъ удобенъ въ томъ отношеніи, что число десятковъ номера есть вмѣстѣ съ тѣмъ число верстъ отъ нулевого пикета. Дѣйствительно, 10-й пикетъ отстоитъ отъ начальнаго на разстояніе одной версты, ибо 10×50 саж.$= 500$ саж., 20-й—на разстояніе двухъ верстъ, ибо $20 \times 50 = 1000$ саж., и вообще пикетъ съ номеромъ 723 отстоитъ отъ начальнаго на разстояніи 72,3 версты $= 72$ вер. 150 саж.

Употребляется иногда также и другой способъ обозначенія пикетовъ, а именно, они переномеровываются такъ: $^0/_0$, $^0/_1$, $^0/_2$ . . . . . $^0/_9$, $^1/_0$, $^1/_1$, ... $^1/_9$, $^2/_0$, $^2/_1$ . . . . . Здѣсь верхнія цифры означаютъ число верстъ отъ нулевого пикета, а нижнія—номеръ пикета.

Въ виду того, что разность уровней отдѣльныхъ пикетовъ при сложномъ нивеллированіи будетъ опредѣляться почти всегда по способу нивеллированія изъ середины, ре-

комендуется при промѣриваніи оси забивать колъ между пикетами на разстояніи 25 саж. отъ предыдущаго пикета. На этомъ колѣ номеръ ставится римской цифрой. Онъ можетъ служить мѣстомъ постановки инструмента при нивеллированіи. Если этотъ колъ придется на такомъ мѣстѣ, на которомъ нельзя поставить инструментъ, напр., вслѣдствіе зыбкости почвы или другихъ причинъ, то инструментъ ставятъ или *въ сторонѣ отъ оси на равныхъ разстояніяхъ отъ пикетовъ*, или нѣсколько ближе къ одному изъ пикетовъ.

Пикетажная книжка.



Черт. 285.

Если, идя по оси, дойдутъ до поворота ея, то въ точкѣ поворота измѣряютъ уголъ и, промѣривъ разстояніе отъ предыдущаго пикета до вершины угла, откладываютъ отъ нея далѣе по оси дополненіе сдѣланнаго промѣра до 50 саж. Такъ можно поступить, однако, только на ровной мѣстности и въ томъ только случаѣ, когда уголъ поворота близокъ къ 180°, потому что тогда длины обѣихъ касательныхъ почти не отличаются отъ длины кривой; въ противномъ случаѣ дѣ-

лается поправка, заключающаяся въ томъ, что пикетъ, непосредственно слѣдующій за угломъ поворота, ставится не въ 50 саж. отъ предыдущаго пикета, а въ $[50 + (2T - K)]$ саж.; здѣсь T есть длина касательной, а K — длина кривой, причемъ обѣ эти величины берутся изъ таблицъ для разбивки кривыхъ, напр., Кренке. Когда между пикетами встрѣтятся замѣтные для глаза перегибы мѣстности, то на нихъ забиваются колья и замѣчаются разстоянія ихъ отъ предыдущаго пикета. При переномеровываніи пикетовъ дробями промежуточная точка обозначается, напр., черезъ $^2/_8 + 45$, это значитъ, что перегибъ мѣстности находится въ 45 саженяхъ отъ 8-го пикета послѣ второй, т. е. третьей, версты.

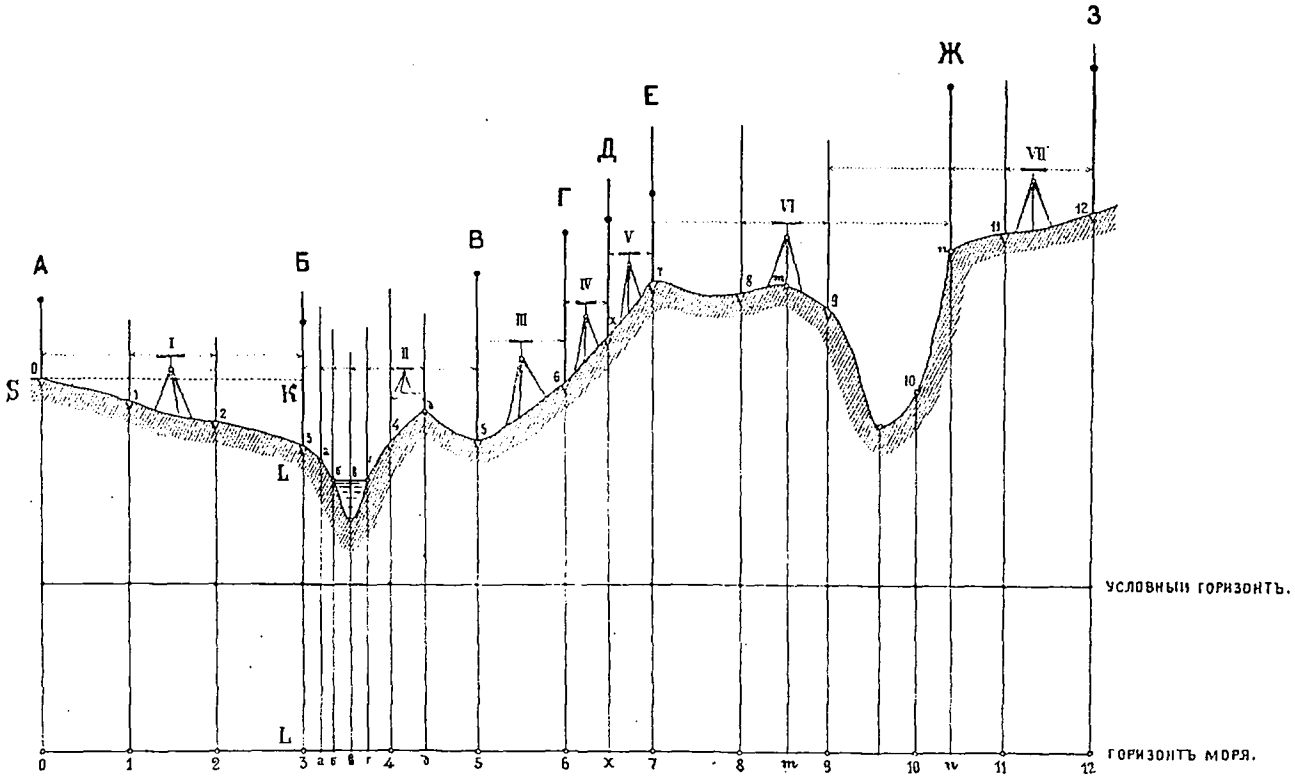
Относительно закругленій нужно сказать, что, при предварительныхъ изысканіяхъ направленіи линіи дорогъ, они для быстроты дѣйствій не разбиваются. А такъ какъ, съ другой стороны, нивеллировка по касательнымъ можетъ ввести иногда значительныя ошибки при разсчетѣ въ земляныхъ работахъ, то вмѣсто кривой назначаются только тѣ точки ея, въ которыхъ придутся пикеты и въ которыхъ она имѣетъ перегибы мѣстности.

§ 185. **Веденіе пикетажной книжки.** Все сдѣланное при разбивкѣ оси нивеллированія на мѣстности изображается на абрисѣ, который отъ времени до времени пересылается другому съемщику, идущему съ нивеллиромъ позади.

На немъ помѣчаются всѣ пикеты, промежуточныя точки, начало и конецъ закругленій, контуры, пересѣкаемые осью, углы ея поворота, разстоянія отъ пикета до вершины и мѣста постановки реперовъ. Для веденія такого абриса очень удобны особыя пикетажныя *книжки* съ разграфленными на квадратики листочками, при чемъ продольная средняя линія на нихъ принимается за ось линіи дороги, пикеты подписываются ихъ номерами и назначаются черезъ одно и то же число дѣленій (клѣтокъ) листочка, а разстояніе промежуточной точки отъ предыдущаго пикета подписывается съ боку. Черт. 285 представляетъ часть пикетажной книжки; на ней показанъ ходъ отъ 180 до 192 пикета по пронивеллированной оси узкой полосы земли, предназначаемой для желѣзной дороги (черт. см. дальше). Въ началѣ линія идетъ по лѣсу, затѣмъ по огородамъ села Арнаутова. Село остается влѣво отъ оси. По серединѣ села проходитъ шоссе, пересѣкаемое осью. Ось поворачиваетъ вправо въ точкѣ, отстоящей отъ 188-го пикета на 25 саж. впередъ по ходу (№ 188 + 25) подъ угломъ въ $148^0 0'$. Сопрягающая кривая разбивается радіусомъ въ 300 саж. Длины тангенсовъ и кривой высчитаны по таблицамъ кривыхъ. Здѣсь же на поляхъ показано какъ находятся начало и конецъ кривой. (№ 186 + 38,98) и (№ 190 + 6,53), величина продвига пикета № 191 за концомъ кривой ($2Tg - K$). По оси дороги замѣченъ переходъ рѣчки *Лаи* съ указаніемъ горизонта ея высокихъ водъ (*Г. В. В.*).

§ 186. Порядокъ работы при сложномъ продольномъ нивеллированіи. При описаніи порядка работъ мы сдѣлаемъ предположеніе, что въ началѣ работа идетъ на мѣстности ровной, затѣмъ мѣстность становится болѣе крутой, но еще доступной для топографическаго нивеллированія и, наконецъ, допустимъ, что на пути встрѣтился глубокій оврагъ, шириною болѣе 50 саженъ, т. е. пусть профиль нивеллируемой мѣстности имѣетъ видъ, указанный на чертежѣ 28б. Работа начинается съ того, что одного рабочаго ставятъ съ рейкой на колъ *А* нулевого пикета, а другого рабочаго посылаютъ на пикетъ, напр., № 3, съ инструментомъ же становятся на серединѣ линіи *АБ*. Мѣсто для *I* станціи выбирается на глазъ такъ, чтобы оба разстоянія *IA* и *IБ* оказались одинаковыми. Избравъ мѣсто для станціи, приводятъ вертикальную ось вращенія нивеллира въ отвѣсное положеніе, для чего сперва ставятъ ось уровня по направленію двухъ подъемныхъ винтовъ и приводятъ пузырекъ уровня на середину трубки, а затѣмъ — по направленію третьяго винта, и, дѣйствуя имъ, приводятъ пузырекъ уровня на середину трубки. Приведя инструментъ въ горизонтальное положеніе, дѣлаютъ бѣглые взгляды— „*прикидываются*“ на *заднюю* рейку пикета № 0, и на *переднюю* — № 3-го, чтобы убѣдиться, что станція выбрана удачно, т. е. что *взглядъ назадъ* не бьетъ въ землю, а *взглядъ впередъ* не проходитъ *надъ рейкою*. При неудачномъ выборѣ мѣста, стремятся встать *въ сторонѣ отъ линіи* (въ ложбинкѣ, или на пригоркѣ), предъявляя къ новой стоянкѣ прежнія требованія, т. е. чтобы $AI = IБ$ и чтобы взгляды *назадъ* и *впередъ* легко можно было сдѣлать на выставленныхъ рейкахъ. Иногда бываетъ достаточнымъ, не мѣняя мѣста инструмента, только приподнять или опустить (раздвинуть) ножки штатива. Если новая попытка окажется неудачной, то уменьшаютъ разстояніе *АБ*. Пусть труба нивеллира имѣетъ достаточную силу зрѣнія, напр. увеличиваетъ въ 30 разъ и между точками *А* и *Б* — наклонъ мѣстности (къ горизонту) слабый, станція *I* удачно пришлась на самой линіи, инструментъ приведенъ въ горизонтальное положеніе, тогда нивеллировщикъ, *слѣдя за уровнемъ, чтобы его пузырекъ во время отсчета по рейкѣ строго оставался на серединѣ трубки*, прочитываетъ показаніе горизонтальнаго волоска сѣтки на задней рейкѣ, оцѣнивая тысячныя доли сажени на глазъ, и заноситъ отсчетъ въ журналъ нивеллированія, въ графу (на лѣвой сторонѣ книжки), озаглавленную „*читанные взгляды назадъ*“. Послѣ этого вращаетъ нивеллиръ около вертикальной оси на 180^0 и читаетъ по передней рейкѣ *Б*, слѣдя за уровнемъ. Прочитанный отсчетъ заноситъ въ графу—„*читанные взгляды впередъ*“.

Затѣмъ или измѣняется высота инструмента (простымъ надавливаніемъ на концы ножекъ штатива--подошвою сапога),


А
Б
В
Г
Д
Е
Ж
З
I
II
III
IV
V
VI
VII
S
K
L
L
0
1
2
3
а
б
в
г
4
э
5
6
х
7
8
т
9
10
ч
11
12
УСЛОВНЫЙ ГОРИЗОНТЪ.
ГОРИЗОНТЪ МОРЯ.

или труба перекладывается въ лагерахъ и (у нивеллировъ Эго и Керна) поворачивается около геометрической оси на 180°, инструментъ вновь приводится въ горизонтальное положеніе и отсчеты повторяются, т. е. дѣлаются вторые (*контрольные*) отсчеты по задней и передней рейкамъ; контрольные отсчеты записываются въ тѣхъ же двухъ графахъ, подъ первыми отсчетами. Теперь сличаютъ записи и убѣждаются, что разность заднихъ отсчетовъ равняется разности переднихъ, т. е. эти разности отличаются между собою не болѣе какъ на 2 или 3 тысячныхъ доли сажени. Иначе контрольные отсчеты повторяются. Заднему рабочему командуется—„*Задняя рейка впередъ*!“ Рабочій, дойдя до пикета № 1, останавливается, прочитываетъ вслухъ надпись на колѣ, ставитъ пятку рейки на колъ, вбитый вровень съ землею у кола съ номеромъ, и нивеллировщикъ читаетъ показаніе рейки на пикетѣ № 1. Отсчетъ заносится въ графу „*читанные промежуточные взгляды*“. Нивеллиръ повертывается на 180°, задній рабочій переходитъ на пикетъ № 2, обертывается лицомъ къ нивеллировщику, наблюдатель прочитываетъ показаніе на рейкѣ пикета № 2 и заноситъ отсчетъ въ графу читанныхъ промежуточныхъ взглядовъ. Задній рабочій идетъ впередъ и *проходитъ мимо передняго рабочаго*. Нивеллировщикъ же съ инструментомъ слѣдуетъ за нимъ и приказываетъ ему встать, напр., на пикетъ № 5. Передній рабочій, стоявшій на пикетѣ № 3, *остается на мѣстѣ* и вращаетъ свою рейку на пяткѣ около вертикальной линіи на 180°. Такъ какъ теперь рейка *Б* на пикетѣ № 3 будетъ задней рейкою для слѣдующей *II* станціи, и взглядъ на нее свяжетъ точку *Б* съ слѣдующею точкою *В* мѣстности, т. е. точка *Б* будетъ связывать показанія нивеллира на *I* станціи съ показаніями его на второй станціи, то точка *Б* именуется *связующею* точкою. *Въ журналъ всѣ записи, сдѣланныя на I станціи отчеркиваются* (отдѣляются отъ слѣдующихъ горизонтальной чертой) и *запись начинается вновь* со связующей точки пикета № 3. Такимъ образомъ въ журналѣ противъ пикета № 3 со второй станціи записи уже должны придтись въ графѣ „*взгляды назадъ*“, поэтому и точка № 3 записывается два раза въ журналѣ: одинъ разъ съ первой станціи, а во второй разъ, подъ чертою, со второй станціи [1]).

Установивъ рейки въ точкахъ *Б* (пик. № 3) и *В* (пик. № 5), нивеллировщикъ, перейдя рѣчку, останавливается на пригоркѣ, пройдя 4-й пикетъ, въ сторонѣ отъ нивеллируемой линіи *БВ* и, убѣдившись, что разстоянія *IIБ* и *IIВ* на глазъ равны, повторяетъ тѣ же дѣйствія, что и на *I* стан-

---

[1]) Запись съ одной станціи всегда размѣщается на одной и той же страницѣ. Не допускается дѣлать запись такъ, чтобы напр., взглядъ „назадъ“ былъ на 1-й страницѣ, а взглядъ „впередъ“ на 2-й страницѣ.

ціи, т. е., приведя инструментъ въ горизонтальное положеніе, дѣлаетъ взгляды сперва на связующія точки, а именно: на *Б*—взглядъ назадъ и на *В*—взглядъ впередъ. Убѣдившись контрольными отсчетами, что грубыхъ просчетовъ не сдѣлано, подвигаетъ задняго рабочаго послѣдовательно въ точки *а*, *б*, *в*, *г*, № 4 и *д*, занося каждый разъ послѣдовательно прочтенные по задней рейкѣ взгляды въ графу „читанныхъ промежуточныхъ взгляловъ".

Между 5 и 6 пикетами—мѣстность становится круче, станція III взята на разстояніи 25 саж. отъ этихъ пикетовъ, промежуточныхъ точекъ также нѣтъ.

Между 6 и 7 пикетами скатъ на столько крутъ, что промежутокъ между этими пикетами приходится разбить вспомогательной, такъ называемой X—точкой на двѣ станціи IV и V, сдѣлавъ X—точку связующей между ними, а потому забить въ ней колъ съ надписью $\frac{\text{X}}{\text{№ } 6+30}$

Между 7, 8 и 9 пикетами мѣстность въ общемъ образуетъ почти горизонтальную площадку и, не доходя 9 пикета начинается широкій оврагъ; причемъ пикетъ № 10 приходится на глубокомъ днѣ оврага, а пикетъ № 11 по другую сторону оврага на ровной небольшой покатости, гдѣ находится и пикетъ № 12. Вслѣдствіи этого станція VI взята въ точкѣ *т* между 8 и 9 пикетами, связующими точками избраны *Е* (№ 7) и *Ж* (*п*), пикетъ № 8 вошелъ какъ промежуточный для VI станціи. Точка *п* взята по другую сторону оврага, такъ что *„взглядомъ впередъ"* на рейку *Ж*, стоящую въ точкѣ *п*—*„перекидываются"* черезъ оврагъ.

Седьмая станція взята между 11 и 12 пикетами, ближе къ 11; причемъ связующими точками здѣсь служатъ *Ж* (*п*) и *З* (№ 12), а промежуточными—пикеты № 9 и № 11; здѣсь также взглядомъ на 9 пикетъ „перекидываются" на начало оврага.

Еслибы на промежуточную точку 9 пикета были сдѣланы самостоятельные взгляды съ VI и VII станціи, то для ея отмѣтки получилось бы два результата: одинъ изъ наблюденій съ VI, а другой изъ наблюденій съ VII станціи.

Наконецъ если бы, стоя въ точкѣ *т*, измѣрили высоту инструмента отъ земли до центра объектива и сдѣлали бы запись въ журналѣ на станціи VI, то точка *т* получилась бы какъ промежуточная, ибо высота инструмента замѣнила бы взглядъ на рейку, которая могла стоять въ *т*, если бы станція VI была взята въ сторонѣ линіи *ЕЖ*.

Когда за первымъ нивеллиромъ слѣдомъ идетъ контролемъ второй нивеллиръ, то контролирующій ставитъ рейки только на связующія точки, а потому первый нивеллировщикъ, дѣлая контрольные отсчеты, не мѣняетъ высо-

ту своего нивеллира и не теряетъ времени на вторичное приведеніе нивеллира въ горизонтальное положеніе.

Успѣхъ работы зависитъ отъ навыка нивеллировщика и реечниковъ. Въ среднемъ, если день прохладный, *при небольшихъ уклонахъ*, въ открытой мѣстности, за день въ 10 рабочихъ часовъ успѣваютъ опытные работники проходить до 15 верстъ. Въ лѣсу, гористой или болотистой мѣстности успѣхъ значительно понижается и доходитъ до $1^1/_2$—2 верстъ въ день, особенно въ жаркіе дни, когда въ трубѣ воздухъ кажется отъ нагрѣванія дрожащимъ и изображенія реекъ неспокойными, отчего разстояніе между связующими точками приходится сокращать почти вдвое.

§ 187. Превышеніе конечной точки надъ начальной при сложномъ нивеллированіи. Превышеніе одной точки надъ другою, при простомъ нивеллированіи изъ средины, какъ мы видѣли въ началѣ статьи о нивеллированіи, равняется разности между взглядомъ назадъ и взглядомъ впередъ (см. § 171).

Разность эта считается положительной для повышающейся мѣстности и отрицательной для понижающейся мѣстности, — такъ KL (черт. 286) считается отрицательнымъ. Изъ чертежа 286 легко видѣть, что KL есть проекція на вертикальную линію LK прямой SL, соединяющей точки S и L (въ вертикальной плоскости).

На основаніи этого замѣчанія можно сказать, что если бы мы соединили послѣдовательно всѣ связующія точки прямыми линіями, то *превышеніе послѣдующей точки надъ предшествующей всегда представитъ проекцію на вертикальную ось прямолинейнаго между ними разстоянія*. А потому, если бы мы мысленно соединили прямою конечную точку нивеллирнаго хода съ начальною точкою, то тѣмъ самымъ замкнули бы многоугольникъ, лежащій въ вертикальной плоскости, вершинами котораго служатъ связующія точки.

Проекціею этой замыкающей стороны служило бы превышеніе конечной точки надъ начальной. Но такъ какъ съ другой стороны извѣстно, что проекція замыкающей стороны многоугольника равна суммѣ проекцій остальныхъ сторонъ, то можно сказать, что *превышеніе H конечной точки надъ начальною въ нивеллирномъ ходѣ равно алгебраической суммѣ отдѣльныхъ превышеній h между сосѣдними, взятыми попарно, связующими точками полигона*, т. е.

$$H = \Sigma h.$$

Но такъ какъ каждое отдѣльное превышеніе h равняется разности взглядовъ назадъ и впередъ, т. е.

$$h = н - в,$$

то можно написать, что

$$H = \Sigma (н - в) = \Sigma н - \Sigma в,$$

т. е. *превышеніе (или разность уровней) въ несомкнутомъ* [1]) *по-*

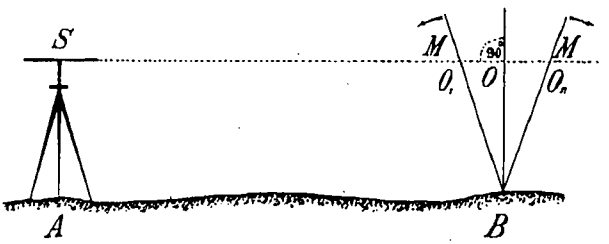
[1]) (въ горизонтальной плоскости, т. е. на земной поверхности).

лигонъ конечной точки надъ начальной равно суммѣ взглядовъ назадъ безъ суммы взглядовъ впередъ. Положеніе это будетъ справедливо для любого числа точекъ несомкнутаго полигона.

Если бы пронивеллировали сомкнутый полигонъ, т. е. конечная точка полигона совпала съ начальной, то $H = 0$, слѣдов. *сумма взглядовъ назадъ безъ суммы взглядовъ впередъ въ сомкнутомъ полигонѣ равна нулю.*

На основаніи этого, если условимся на каждой страницѣ [1]) журнала подсчитывать сумму взглядовъ впередъ и сумму взглядовъ назадъ, то разность этихъ суммъ въ то же время будетъ равняться разности отмѣтокъ (альтитудъ) точекъ, отъ которой начали и при которой закончили суммированіе. Разность этихъ отмѣтокъ равна также алгебраической суммѣ отдѣльныхъ превышеній. Въ этомъ мы еще разъ наглядно, на цифрахъ, убѣдимся въ статьѣ о *вычисленіи отмѣтокъ* нивеллирнаго хода.

§ **188. Уклоненіе рейки отъ отвѣснаго направленія.** Геометрическое нивеллированіе или *гипсометрія*, какъ мы видѣли



Черт. 287.

въ вступленіи, основано на полученіи на каждой станціи *точно горизонтальнаго луча зрѣнія* и на умѣньи правильно читать по рейкѣ. Обыкновенно въ трубу прочитываютъ на рейкѣ цѣлыя сажени, десятыя ихъ доли и сотыя, а тысячныя доли сажени цѣнятъ на глазъ. Встрѣчаются рейки, подраздѣленныя на двухтысячныя доли сажени, т. е. каждая сотка подраздѣлена еще на пять частей, но онѣ рябятъ въ глазахъ и мало употребительны. Точно держать рейку *по отвѣсу* болѣе, чѣмъ одну, двѣ минуты, бываетъ затруднительно,—неопытный рабочій (реечникъ) будетъ ее качать. Во избѣжаніе ошибки въ отсчетѣ по рейкѣ отъ ея дрожанія или колебанія слѣдуетъ себѣ замѣтить, что истинный отсчетъ BO по рейкѣ (черт. 287) горизонтальнымъ лучемъ SO всегда будетъ *наименьшій* изъ всѣхъ возможныхъ въ трубу отсчетовъ при нахожденіи пузырька уровня на серединѣ трубки; дѣйствительно, такъ какъ BO опишетъ окружность O_1O_{11} касательную въ точкѣ O къ горизонтальному лучу зрѣнія SO, то BO будетъ перпендикулярно къ SO, а направленія BO_1 и BO_{11}—наклонны къ SO,

[1]) (дѣлая запись указаннымъ въ предыдущемъ § порядкомъ, т. е. размѣщая ее съ одной и той же станціи на одной страницѣ и слѣдовательно заключая страницу всегда взглядомъ впередъ).

какъ въ плоскости чертежа, такъ и въ плоскости поперечныхъ колебаній рейки. И такъ какъ перпендикуляръ короче наклонныхъ, то и отсчетъ BO будетъ наименьшимъ. Для удобства рекомендуется не допускать поперечныхъ колебаній и поправлять рейку, уклонившуюся въ бокъ отъ вертикальнаго волоска, допуская лишь продольное колебаніе.

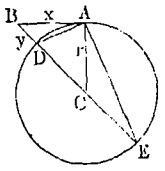
Несмотря на эти замѣчанія, отсчитыванія по рейкѣ будутъ всегда болѣе или менѣе отличаться отъ истинныхъ отсчетовъ и не только отъ наклона реекъ, но и отъ *неточнаго нахожденія пузырька уровня на серединѣ трубки*.

Вслѣдствіе этого при нивеллированіи рѣдко берутся разстоянія болѣе 50 саж. отъ инструмента до рейки. Обыкновенно разстояніе это берется въ 25 саженъ (при увеличеніи трубы $v = 20 — 25$ и цѣнѣ (угловой величинѣ) одного дѣленія уровня $s'' = 20'' — 30''$ [1]).

§ 189. Поправка отъ кривизны земли и рефракціи. Если пренебречь высотою инструмента (0,6 — 0,7 сажени) въ сравненіи съ радіусомъ земли (около 6000 верстъ), то можно считать, что горизонтальный лучъ зрѣнія AB (черт. 288) касается въ точкѣ A земной сферы радіуса $r = AC$. Пусть горизонтальная поверхность моря въ точкѣ A въ сѣченіи ея вертикальною плоскостію даетъ дугу круга AD.

Считая по отвѣсно стоящей рейкѣ DB показанія b отъ земли до горизонтальнаго луча зрѣнія вмѣсто того, чтобы дѣлать этотъ отсчетъ по направленію уровенной поверхности AD, мы тѣмъ самымъ дѣлаемъ постоянно неизбѣжную ошибку въ отсчетѣ: для разстоянія AD она будетъ $BD = y$ (самый отсчетъ по рейкѣ, какъ и высоту инструмента не принимаемъ во вниманіе). Примемъ (согласно § 5) $AD = AB = x$, тогда на основаніи того, что касательная линія есть средняя пропорціональная между всею сѣкущею и ея внѣшнимъ отрѣзомъ, имѣемъ пропорцію

$$BE : AB = AB : BD$$



Черт. 288.

или

$$(2r + y) : x = x : y$$

откуда находимъ

$$y = x^2 : (2r + y) = \frac{x^2}{2r\left(1 + \frac{y}{2r}\right)}.$$

Отбросимъ въ скобкахъ малый членъ $\frac{y}{2r}$ ибо $2r = 12000$ верстъ, тогда получимъ для y выраженіе:

$$y = \frac{x^2}{2r} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

[1]) Угловая величина одного дѣленія уровня опредѣлится, если разность отсчетовъ по рейкѣ, взятыхъ *при двухъ положеніяхъ пузырька*, раздѣлимъ на разстояніе отъ инструмента до рейки (см. черт. 291), такъ какъ $tg\Theta = MH : HO$, а Θ выражается числомъ дѣленій на уровнѣ, напр. отъ середины трубки до середины пузырька, во 2-мъ его положеніи.

Изъ чертежа 288 видно, что поправку за кривизну земли слѣдуетъ *вычитать* изъ сдѣланнаго отсчета по рейкѣ, вычисляя ее по данному разстоянію x отъ инструмента до рейки, при чемъ поправка дѣйствуетъ *прямо пропорціонально квадрату разстоянія*, — такъ что, увеличивая разстояніе до рейки вдвое, тѣмъ самымъ увеличиваемъ вліяніе ошибки *вчетверо* и т. д. При $x = 50$ саж. и $r = 6000$ вер. найдемъ:

$$y = \frac{50 \times 50}{2 \times 6000 \times 500} = \frac{1}{2400} = 0{,}0004,$$

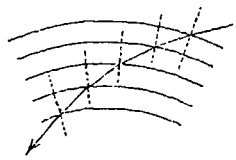
для $x = 100$ саж. поправка $y = 0{,}0016$,

а для $x = 500$ саж. $= 1$ верстѣ . . . . . $y = 0{,}04$ саж.

Обратно, при $y = 0{,}001$ саж., разстояніе $x = 77$ саж.

Такимъ образомъ, при оцѣнкѣ на глазъ тысячныхъ долей сажени величина y сказывается, начиная съ 80 саж. разстоянія отъ инструмента до рейки.

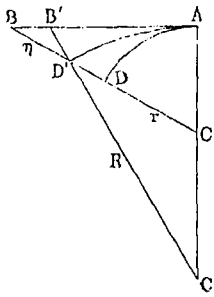
Поправка отъ рефракціи. Покажемъ, что при отсчитываніи по рейкѣ мы получаемъ не ошибку DB, а величину DD' (черт. 290) равную $DB - BD'$. Уменьшеніе на величину BD' разстоянія DB (горизонтальнаго луча зрѣнія AB до горизонтальной уровенной поверхности AD (черт. 290) зависитъ отъ вліянія *рефракціи*, т. е. отъ того явленія, что свѣтовой лучъ не распространяется въ воздухѣ прямолинейно, а направляется по слабо изогнутой кривой (черт. 289). Эта кривая повернута своей вогнутостью къ поверхности земли. Явленіе рефракціи объясняется неравномѣрной плотностью слоевъ атмосферы, окружающей землю. Слои, концентрически располагаясь вокругъ земной поверхности, имѣютъ наименьшую плотность вверху и наибольшую внизу, въ слоѣ, непосредственно прилегающемъ къ землѣ (черт. 289). Лучъ свѣта, направляясь сверху внизъ, изъ среды менѣе плотной въ среду болѣе плотную, будетъ преломляться; при переходѣ изъ слоя въ слой, онъ станетъ приближаться къ отвѣсной линіи и дастъ ломанную линію. Но такъ какъ толщину каждаго слоя можно считать безконечно малой, то ломанный путь свѣтового луча и будетъ—вышеупомянутая кривая чертежа 289.



Черт. 289.

Пусть $D'A$ (черт. 289) изображаетъ рефракціонную кривую луча свѣта, которая, идя отъ точки D' рейки, послѣднимъ своимъ элементомъ сливается съ касательной AB въ точкѣ A этой кривой, тогда глазъ черезъ трубу по направленію луча AB увидитъ отсчетъ, соотвѣтствующій въ дѣйствительности точкѣ D' рейки. Вслѣдствіе чего поправка BD, выведенная въ предположеніи, что отсчетъ по рейкѣ соотвѣтствуетъ ея дѣленію въ точкѣ B, подлежитъ исправленію на BD' за уклоненіе луча изъ точки B въ точку D'.

По изслѣдованію Деламбра, для короткихъ разстояній, какъ разстоянія отъ рейки до инструмента, вполнѣ возможно считать среднюю рефракціонную кривую AD' (черт. 290) за дугу окружности круга радіуса R, величина котораго въ *шесть—семь* разъ превышаетъ среднюю величину r земного радіуса. Согласно чертежа 290, примѣняя къ рефракціонной кривой AD' формулу (1) этого §, можно написать



Черт. 290.

$$D'B' = \frac{\xi^2}{2R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2),$$

гдѣ $\xi = AB'$ весьма мало отличается отъ $x = AB$, точно такъ же, какъ $D'B'$—отъ отрѣзка $D'B = \eta$ отвѣсной линіи BC, а потому съ достаточнымъ приближеніемъ можно принять взамѣнъ (2), послѣ подстановки x вмѣсто ξ, η вмѣсто $D'B'$ и $7r$ или $6r$ вмѣсто R, слѣдующее выраженіе:

$$\eta = \frac{x^2}{2R} = \frac{1}{7} \cdot \frac{x^2}{2r} = \frac{1}{7} y \text{ или } \eta = \frac{1}{6} y \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Величина DD' дастъ совмѣстную *поправку отъ кривизны* (сферичности) *земли* и *отъ рефракціи*; она (см. черт. 290) будетъ $DD' = BD - D'B = y - \eta$ или по формуламъ (1) и (3)

$$y - \eta = \frac{6}{7} y \left(\text{ или } \frac{5}{6} y \right) = 0{,}84\ y.$$

$$f = y - \eta = 0{,}84\ \frac{x^2}{2r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4).$$

При $x = 1$ верстѣ и $\frac{x^2}{2r} = y = 0{,}04$ саж. будемъ имѣть:

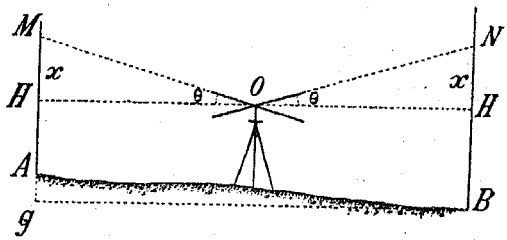
$$f = y - \eta = 0{,}0336 \text{ саж.},$$

а при $x = 100$ саж., $f = y - \eta = 0{,}0014$.

Вотъ почему, желая достигнуть въ отсчетахъ по рейкѣ точности до тысячныхъ долей сажени, не рекомендуется увеличивать это разстояніе свыше 75 саженей.

§ 190. Сравненіе нивеллированія „впередъ“ съ нивеллированіемъ „изъ средины“. Если сличать оба пріема геометрической нивеллировки,—„впередъ“ и „изъ средины“, то сравненіе приводитъ къ заключенію, что *при равенствѣ разстояній отъ станціи до пикетовъ, нивеллированіе изъ средины слѣдуетъ предпочитать нивеллированію впередъ*. Это заключеніе основано, *во-первыхъ*, на томъ, что при нивеллированіи изъ средины уничтожается вліяніе неточнаго выполненія въ инструментѣ главнаго условія — параллельности оптической оси трубы съ осью уровня; однако совершенное уничтоженіе вліянія этой погрѣшности достигнется только при помѣщеніи инструмента *точно въ равныхъ разстояніяхъ* между ни-

веллируемыми пунктами. Дѣйствительно, если оптическая ось не параллельна оси уровня, а составляетъ съ нею нѣкоторый уголъ (черт. 291), вслѣдствіе неравенства подставокъ у трубы, то при визированіи на заднюю рейку отсчетъ на ней будетъ не $AH = a$, а $AM = a' = a + x$, гдѣ $x = HM$ — ошибка въ отсчетѣ по задней рейкѣ; точно такъ же отсчетъ на переднюю рейку будетъ $BN = b' = b + x'$. Но для полученія разности уровней $Ag = u$ точекъ A и B слѣдуетъ образовать разность отсчетовъ a и b, поэтому



Черт. 291.

$$a - b = (a' - x) - (b' - x'),$$

откуда

$$a' - b' = (a - b) + (x - x').$$

Такъ какъ при равенствѣ разстояній реекъ отъ инструмента прямоугольные треугольники MOH и HON равны между собою, то $x = x'$, а потому и

$$a' - a' = b - b,$$

т. е., не смотря на непараллельность осей уровня и трубы, разность отсчетовъ на рейкахъ даетъ вѣрную разность уровней, если только разстоянія отъ инструмента до реекъ одинаковы.

Во-вторыхъ, если разстоянія до передней и задней рейки одинаковы, то при нивеллированіи изъ средины уничтожается вліяніе неравенства цапфъ, влекущее за собою непараллельность осей трубы и уровня.

Въ третьихъ, при нивеллированіи изъ средины, въ результатахъ не входитъ поправка $f = y - \eta$ отъ кривизны земли и рефракціи. Это важно въ особенности потому, что свойство и степень кривизны луча свѣта различны въ разное время года и въ разные часы дня.

Впрочемъ и при нивеллированіи впередъ можно избѣгнуть введенія въ отсчеты этой поправки f. Въ самомъ дѣлѣ, если поставимъ инструментъ сначала въ A, сдѣлаемъ отсчетъ на рейкѣ въ B и измѣримъ высоту $AM = i$ инструмента, то разность уровней $Ag = u$ будетъ

$$u = +(i - b + f), \text{ гдѣ } f = y - \eta.$$

Затѣмъ, если перенесемъ инструментъ въ B, а рейку въ A, то подобнымъ же образомъ будемъ имѣть:

$$u = -(i' - a + f),$$

слѣдовательно

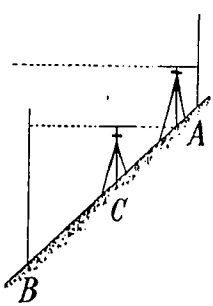
$$2u = (a - b) + (i - i') \text{ или:}$$
$$u = {}^1/_2 [(a - b) + (i - i')].$$

Итакъ для избѣжанія введенія поправки f при нивеллированіи впередъ нужно становиться съ инструментомъ поочередно въ обѣ нивеллируемыя точки, сдѣлать отсчеты на рейкахъ и измѣрить высоты инструмента, но это невозможно иногда сдѣлать на мѣстности крутой, а потому пріемъ нивеллированія впередъ и не имѣетъ тѣхъ преимуществъ, какія имѣетъ нивеллированіе изъ средины; онъ при ординарной постановкѣ инструмента не устраняетъ вліянія неизбѣжныхъ погрѣшностей инструмента.

Въ-четвертыхъ, нивеллированіе изъ средины выгоднѣе тѣмъ, что разстояніе между нивеллируемыми точками можетъ быть вдвое болѣе, чѣмъ при нивеллированіи впередъ, а потому и работа должна идти вдвое быстрѣе. Если, наконецъ, замѣтимъ, что разстояніе отъ инструмента до рейки не мѣняется, то установивъ одинъ разъ трубу для наблюденій, не требуется кремальеркой мѣнять разстоянія отъ сѣтки до объектива, т. е. сомнѣваться въ неизмѣнности положенія визирной оси.

Эти причины, показывающія, что нивеллированіе изъ средины точнѣе и быстрѣе нивеллированія впередъ, совсѣмъ вытѣснили изъ употребленія способъ нивеллированія впередъ, который примѣняется только въ исключительныхъ случаяхъ, напр., при нивеллированіи чрезъ рѣчку, болото, оврагъ и т. п. мѣстныя препятствія.

§ 191. Нивеллированіе крутыхъ скатовъ. Крутые скаты не могутъ быть пронивеллированы ни изъ средины, ни впередъ, потому что даже при тѣхъ наименьшихъ разстояніяхъ, при которыхъ ясно можно видѣть въ трубу дѣленія рейки, горизонтальный лучъ зрѣнія съ одной стороны упирается въ землю, ниже основанія рейки, какъ, напр., на черт. 292 при постановкѣ инструмента въ C, а съ другой, если даже нивеллиръ поставить въ A (съ цѣлью произвести нивеллированіе хотя бы по способу впередъ), то горизонтальный лучъ проходитъ выше рейки, находящейся на слѣдующей связующей точкѣ B, а потому въ этихъ случаяхъ употребляются другіе пріемы, а именно: *посредствомъ ватерпаса, посредствомъ вертикальнаго круга угломѣрнаго инструмента и посредствомъ обыкновеннаго нивеллира, примѣняя его нѣсколько иначе.*



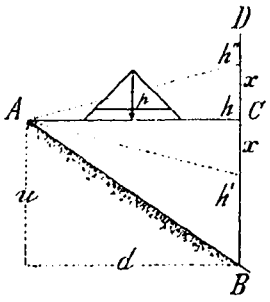
Черт. 292.

1-й способъ опредѣленія разности уровней посредствомъ ватерпаса былъ уже нами разсмотрѣнъ на чертежахъ 259 и 260. Но указанный тамъ пріемъ справедливъ однако въ томъ лишь случаѣ, когда ватерпасъ вѣренъ, т. е. когда выполняется условіе, что при совпаденіи нити отвѣса со штрихомъ распорки нижній край бруса горизонталенъ. При неточномъ его выполненіи нижній край

бруса приметъ положеніе Ah' (черт. 293), отсчетъ на рейкѣ будетъ ошибоченъ на $hh' = x$, такъ что вѣрный отсчетъ $h = h' + x$. Если послѣ этого переложить брусъ обратными концами, то въ отсчетѣ h'' по краю бруса войдетъ та же ошибка x, но съ обратнымъ знакомъ; причемъ $h = h'' - x$. Слѣдовательно

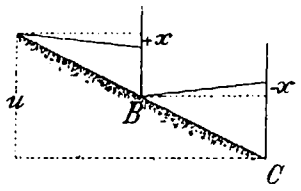
$$h = \frac{h' + h''}{2},$$

т. е. *вѣрный отсчетъ на рейкѣ равенъ полусуммѣ отсчетовъ, сдѣланныхъ при двухъ положеніяхъ ватерпаса.*



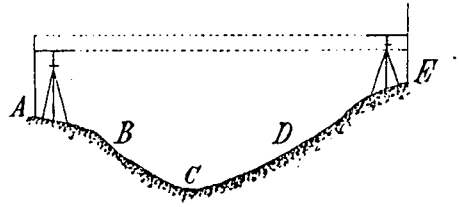
Черт. 293.

Ошибка не окажетъ также *вліянія на разность уровней конечныхъ точекъ при наложеніи ватерпаса на покатость два, четыре и вообще четное число разъ*, если только перекладывать его при этомъ послѣдовательно разъ за разомъ противоположными концами. Такъ, если для опредѣленія разности уровней точекъ A и C (черт. 294) ватерпасъ укладывался ровно два раза, то при первомъ положеніи его войдетъ въ отсчетъ ошибка $+x$, а при второмъ, послѣ переложенія, ошибка $-x$; такъ что разность уровней u, равная суммѣ отдѣльныхъ разностей уровней точекъ A и B, B и C, будетъ свободна отъ ошибки.

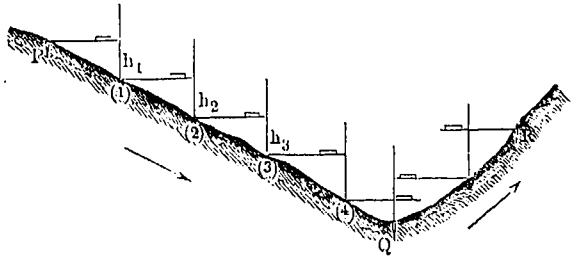


Черт. 294.

Вслѣдствіе этого, если для опредѣленія разности уровней u пикетовъ P и Q (черт. 260) надо положить ватерпасъ нечетное число разъ, то, помимо послѣдовательнаго перекладыванія, надо при послѣднемъ пятомъ брусѣ переложить ватерпасъ дважды между тѣми же точками, какъ это показано на чертежѣ 293.



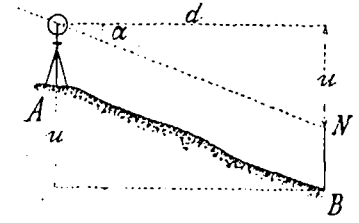
Черт. 295.



Черт. 260.

При нивеллированіи оврага AB.... DE (черт. 295) разность уровней конечныхъ точекъ A и E опредѣляютъ по способу нивеллированія впередъ, ставя инструментъ какъ въ A, такъ и въ E, а скаты и дно оврага нивеллируютъ ватерпасомъ.

2-й способъ состоитъ въ опредѣленіи разности уровней двухъ точекъ посредствомъ угла наклоненія, измѣряемаго по вертикальному кругу угломѣрнаго инструмента, и горизонтальнаго между ними разстоянія. Если A и B (черт. 296) суть конечныя точки покатости, то, поставя угломѣрный инструментъ въ A, а въ B вѣху съ мѣткою N, высота которой равна высотѣ инструмента и измѣривъ α и d, разность уровней u опредѣляютъ по формулѣ

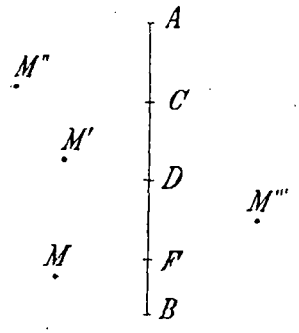


Черт. 296.

$$u = d \cdot tg\alpha.$$

3-й способъ. Оба предыдущіе способа, требуя употребленія инструмента, отличнаго отъ того, которымъ производится большая часть нивеллировки, уступаютъ въ точности третьему способу посредствомъ обыкновеннаго нивеллира съ трубою.

Пусть AB (черт. 297) представляетъ въ планѣ ось нивеллированія крутой покатости. *Въ сторонѣ отъ нея* выбираютъ такія точки M'', M', M''', M, располагая линію $M'\ M''\ M$..... *зигзагой* относительно AB, чтобы части MM''', $M'''M$,.... были приблизительно горизонтальны и чтобы изъ нихъ дѣленія реекъ, ставимыхъ послѣдовательно въ A и C, C и D, D и F, и наконецъ F и B, были видны съ отчетливостью и рейки находились бы приблизительно на равныхъ разстояніяхъ отъ избранныхъ станцій. Понятно, что такимъ образомъ опредѣлятся разности уровней точекъ A и C, C и D, D и F, F и B; сумма же ихъ дастъ разность уровней точекъ A и B. Если мѣсто постановки инструмента придется также на покатости, то для него или употребляютъ штативъ съ произвольно укорачивающимися ножками, или вырубаютъ на косогорѣ площадки такой величины, чтобы на нихъ могъ помѣститься инструментъ и самъ съемщикъ.

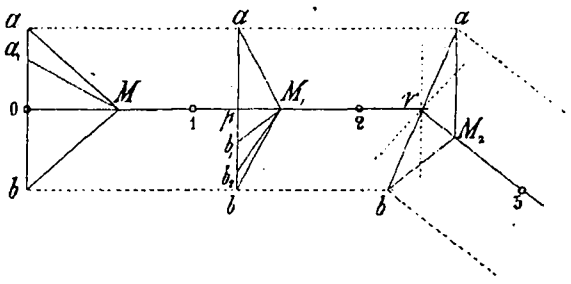


Черт. 297.

§ **192. Поперечное нивеллированіе.** При нивеллированіи мѣстности подъ дорогу или каналъ помимо продольной нивеллировки дѣлается также и нивеллировка *поперечная*,

которою охватывается болѣе или менѣе широкая полоса земли; она производится по линіямъ перпендикулярнымъ къ продольной оси. Разстояніе между поперечными нивеллировками зависитъ отъ характера мѣстности и отъ степени точности, съ которою долженъ быть составленъ проектъ сооруженія: чѣмъ мѣстность пересѣченнѣе и чѣмъ большая нужна точность, тѣмъ чаще берутся поперечныя нивеллировки. Вообще же поперечныя сѣченія дѣлаются въ начальной и конечной точкахъ продольной оси, въ перегибахъ мѣстности и на всѣхъ поворотахъ оси. Длины поперечныхъ нивеллировокъ зависятъ отъ ширины предполагаемаго сооруженія. Поперечная нивеллировка дѣлается иногда менѣе точнымъ инструментомъ, чѣмъ продольная, и при томъ отдѣльнымъ съемщикомъ.

Въ случаѣ неширокой полосы поперечное нивеллированіе можетъ производиться и въ связи съ продольнымъ однимъ и тѣмъ же нивеллировщикомъ. Разсмотримъ этотъ случай. Пусть линіи ab (черт. 298), суть оси поперечныхъ нивеллировокъ; изъ нихъ первая, перпендикулярная къ продольной оси, проходитъ черезъ нулевой пикетъ, вторая, также перпендикулярная къ оси, проходитъ чрезъ перегибъ p и третья проведена чрезъ вершину r, приблизительно по направленію равнодѣлящей уголъ поворота. Поставивъ инструментъ на первой станціи M, дѣлаютъ взгляды: 1) на пикеты 0 и 1 продольной оси, 2) влѣво (по ходу продольной нивеллировки) по поперечной оси на перегибъ a_1, 3) точку a, и 4) вправо на точку b. Затѣмъ переносятъ инструментъ на вторую станцію M_1 и дѣлаютъ взгляды: I) на пикеты 1 и 2, II) влѣво на a, III) на перегибъ p и вправо, IV) на b_1, V) b_2, VI) на b. Далѣе, при стояніи инструмента въ M_2, послѣ взглядовъ на пикеты 2 и 3, дѣлаютъ взгляды на a, r и b. И такимъ же образомъ продолжаютъ далѣе.



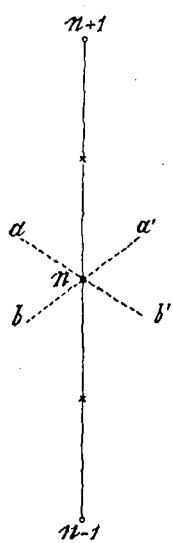
Черт. 298.

Разность уровней между точками поперечнаго и тѣми точками продольнаго нивеллированія, при которыхъ оно взято, можетъ быть вычислена по формулѣ, выведенной для вычисленія разности уровней между связующими точками, т. е. $h = n - b$, ибо *взглядъ на поперечную точку можно разсматривать какъ взглядъ впередъ* по отношенію къ точкѣ продольнаго нивеллированія, на которую сдѣланъ взглядъ при одной и той же высотѣ инструмента и съ той же стан-

ціи. Такъ, напримѣръ, разности уровней точекъ связующей № 2 и точекъ третьяго сѣченія a, r, b найдутся, если взглядъ на № 2 обозначимъ черезъ H_2, а взгляды впередъ на a, r и b — чрезъ b_a, b_r, b_b, въ видѣ $h' = H_2 - b_a$; $h'' = H_2 - b_r$; $h''' = H_2 - b_b$.

§ 193. Контроль отсчетовъ по рейкамъ. Чтобы удостовѣриться въ безошибочности сдѣланныхъ отсчетовъ на рейкахъ при сложномъ нивеллированіи, дѣлаютъ ихъ повѣрку для тѣхъ реекъ, которыя ставились на связующихъ точкахъ. Это необходимо потому, *что ошибка въ отсчетѣ на рейкѣ какой-либо связующей точки передается цѣликомъ на слѣдующія.* Повѣрка отсчетовъ можетъ быть достигнута различными путями.

Одинъ изъ нихъ состоитъ въ томъ, что *на каждой станціи,* сдѣлавъ взгляды назадъ и впередъ, *измѣняютъ высоту инструмента* и вновь дѣлаютъ отсчеты на рейкахъ тѣхъ же пикетовъ. При вѣрности отсчетовъ разность двухъ взглядовъ впередъ должна быть равна разности двухъ взглядовъ назадъ потому что онѣ выражаютъ разность двухъ горизонтовъ инструментовъ. Полагая, что отсчеты дѣлаются съ точностью до 0,001 саж., вторая разность взглядовъ не должна отличаться отъ первой болѣе чѣмъ на 0,002 саж. За окончательный результатъ принимаютъ среднее ариѳметическое изъ обѣихъ разностей.



Черт. 299.

При другомъ пріемѣ повѣрки не мѣняютъ высоты инструмента, но *пользуются обоими колышками каждой связующей точки* и поступаютъ такъ: при нахожденіи инструмента между пикетами n—1 и n (черт. 299) ставятъ рейку въ точкѣ n сначала на колъ вбитый вровень съ землею, затѣмъ на колъ съ номеромъ n и дѣлаютъ отсчеты, которые обозначимъ соотвѣтственно чрезъ b и b'. Послѣ этого инструментъ переносятъ на средину между пикетами n и $n+1$, поворачиваютъ рейку на колѣ пикета (забитомъ вровень съ землею) лицомъ къ инструменту, дѣлаютъ на ней отсчетъ, переставляютъ ее на колъ съ номеромъ n и опять дѣлаютъ отсчетъ. Если эти послѣдніе отсчеты обозначимъ соотвѣтственно чрезъ a и a', то $b - b'$ должно быть равно $a - a'$, т. е.

$$b - b' = a - a' \quad ^1)$$

или:

$$b + a' = a + b',$$

т. е. *суммы накрестъ лежащихъ взглядовъ на каждой связу-*

[1]) Эти разности даютъ высоту надъ землею кола съ номеромъ.

ющей точкѣ должны быть одинаковы. Разница не должна превышать 0,002 саж.

Если при работѣ употребляется нивеллиръ или съ перекладною трубою и уровнемъ, прикрѣпленнымъ къ ея подставкамъ (напр. нивеллиръ Эго), или съ перекладнымъ на трубѣ уровнемъ (напр. нивеллиры Керна), то особенно выгоденъ пріемъ повѣрки посредствомъ переложенія этихъ частей, потому что при этомъ уничтожается вмѣстѣ съ тѣмъ вліяніе неравенства подставокъ трубы у нивеллира Эго и неравенство подставокъ уровня у нивеллира Керна. Порядокъ дѣйствій при этой повѣркѣ таковъ: дѣлаютъ взгляды назадъ и впередъ, перекладываютъ осторожно или трубу въ лагерахъ, или уровень на трубѣ и вновь дѣлаютъ отсчеты на тѣхъ же рейкахъ. Если инструментъ вѣренъ, то разность обѣихъ паръ этихъ отсчетовъ должна быть совершенно одинакова. Въ случаѣ же небольшой между ними разницы среднее ариѳметическое изъ нихъ дастъ вѣрный результатъ даже и тогда, когда инструментъ стоитъ не точно посрединѣ между пикетами.

Съ цѣлію контроля отсчетовъ по рейкамъ выгодно употреблять *двустороннія* рейки, т. е. такія, у которыхъ дѣленія нанесены съ обѣихъ сторонъ: съ одной стороны нанесены дѣленія, напр., въ двухтысячныхъ доляхъ сажени, а съ другой—въ сантиметрахъ.

Если повѣрка дѣлается измѣненіемъ высоты инструмента или переложеніемъ трубы въ лагерахъ, то взгляды на промежуточныя и поперечныя точки дѣлаются *при второмъ положеніи*, такъ какъ въ случаѣ неудовлетворительности работы взгляды, которые сдѣлали бы при первомъ положеніи на поперечныя и промежуточныя точки, пришлось бы отбросить и сдѣлать ихъ вновь.

§ 194. **Журналъ нивеллированія.** Всѣ отсчеты, сдѣланные при сложномъ нивеллированіи, записываются въ особый журналъ. Наиболѣе удобную его форму для нивеллированія продольнаго и произведеннаго въ связи съ нимъ нивеллированія поперечнаго приводимъ ниже сего, на слѣдующихъ страницахъ. (См. образецъ журнала). Въ первую лѣвую графу вписываются номера нивеллируемыхъ пикетовъ (заключены въ скобки) и промежуточныя точки, обозначенныя номеромъ предыдущаго пикета + разстояніе точки отъ этого пикета, такъ напр. (0) + 50 показываетъ, что промежуточная точка лежитъ отъ нулевого пикета впередъ по оси въ разстояніи 50 саж., т. е. это первый пикетъ.

Во вторую графу противъ связующихъ точекъ заносятся отсчеты, сдѣланные на заднія рейки, а въ третью—на переднія [1]). Тутъ же вписываются и повѣрочные взгляды, дѣлаемые, какъ сказано, только на связующія точки. До-

[1]) Записи сдѣланы примѣнительно къ чертежу 286.

пустимъ сначала, что повѣрка дѣлалась измѣненіемъ высоты инструмента или переложеніемъ трубы. Такъ какъ по записямъ журнала контрольный взглядъ на нулевой пикетъ менѣе прежняго взгляда на 0,012, а вторичный взглядъ на третій пикетъ менѣе прежняго на 0,010, то разность уровней между (0) и (3) пикетами по прежнимъ взглядамъ 0,886 выйдетъ менѣе той же разности уровней по вторичнымъ взглядамъ—0,888 на 0,002. Такая разница допустима, такъ какъ не выходитъ за предѣлы точности отсчитыванія по рейкамъ, а потому нивеллированіе между пикетами (0) и (3) считается вѣрно произведеннымъ.

Въ четвертой графѣ записываются взгляды, взятые на промежуточныя точки, каковыми для I станціи (см. запись въ журналѣ) являются (1) и (2) пикеты.

Въ пятой графѣ записывается среднее изъ двухъ взглядовъ на заднія рейки: $318 = \frac{1}{2}(324 + 312)$, а въ шестой—среднее изъ взглядовъ на переднія рейки $1.205 = \frac{1}{2}(1.210 + 1.200)$. Далѣе идетъ вычисленіе отмѣтокъ пронивеллированныхъ точекъ (см. § 195).

Въ седьмой графѣ записываются превышенія съ ихъ знаками: $318 - 1.205 = -887$; $1119 - 945{,}5 = +173{,}5$ и т. д.

Восьмая графа заполняется послѣ того, какъ дана въ IX-й условная отмѣтка пикета (0), равная 20,000. Къ условной отмѣткѣ начальной (задней) точки придается средній взглядъ назадъ 0.318 и получается средній горизонтъ инструмента для 1 станціи, равный 20,318; онъ заносится въ VIII графу.

Изъ 20,318 вычитается взглядъ (средній) впередъ на (3) пикетъ, равный 1.205 и получается $20{,}318 - 1{,}205 = 19{,}113$, отмѣтка (условная) для (3) пикета. Число 19,113 заносится въ XI-ю графу. Для полученія условныхъ отмѣтокъ для промежуточныхъ точекъ (1) и (2), на которыя взяты взгляды при второмъ (контрольномъ) положеніи инструмента, необходимо прежде всего получить горизонтъ этого второго положенія; онъ будетъ $20{,}000 + 0{,}312 = 20{,}312$ (что и занесено въ графу примѣчаній). Изъ него вычтено послѣдовательно 0,637 и 0,909 и получены отмѣтки 19,675 и 19,403 для (1) и (2). (См. графу примѣчаній и графу условныхъ отмѣтокъ).

Взгляды на точки поперечнаго нивеллированія также заносятся въ четвертую графу—промежуточныхъ точекъ. Такъ для станціи III въ первой графѣ послѣ записи связующей точки *Г* [пикетъ (6)] занесено: $л - (5) + 10$ и $п - (5) = 12$. Это слѣдуетъ понимать такъ: на пятомъ пикетѣ, влѣво отъ него въ 10 саженяхъ и вправо—въ 12 саженяхъ, взяты были точки въ поперечномъ профилѣ, при чемъ взгляды эти сдѣланы при второмъ горизонтѣ инструмента

1 іюня 1900 г.
Число, мѣсяцъ и годъ.

Журналъ нивеллированія.

Фамилія производившаго работу.
Страница I-я.

Станціи.	Номера кольевъ.	ОТСЧЕТЫ НА РЕЙКѢ. Читанные. задній.	передній	промеж.	Средніе. задній.	передній	Превышенія. +	−	Горизонтъ инструмента.	Условныя отмѣтки.	Отмѣтка относительно горизонта моря	Примѣчаніе.
I	(0)А	324[1] 312[3]	—	—	318[7]	—			20.318[10]	20.00 [9]		$\frac{20.000+0.312}{20.312[12]}$
	(0)+50=(1)	—	—	637[5]	—	—			—	19·675[13]		20.312 − 637 = 19.675
	(2)	—	—	909[6]	—	—			—	19.403[14]		909 = 19.403
	(3)Б	—	1.210[2] 1.200[4]	—	—	1.205[8]		887 [15]	—	19.113[11]		
II	(3)Б	1.130[1] 1.108[3]	—	—	1.119[11]	—			20.232[13]	—		
	(3)+10(а)	—	—	1.273[5]	—	—			—	18.948[15]		
	(3)+17(б)	—	—	1.511[6]	—	—			—	18.710[16]	—	У воды.
	(3)+26(в)	—	—	2.036[7]	—	—			—	18.185[17]	—	Ручей (дно).
	(3)+35(г)	—	—	1.508[8]	—	—			—	18.713[18]		У воды.
	(4)	—	956[2]	957[9]	—	—			—	19.264[19]		
	(4)+21(д)	—	935[4]	569[10]	—	—	[21]		—	19.652[20]		
	(5)В	—	—	—	—	945_5[12]	173_5		—	19.286_5[14]		Повѣрка
III	(5)В	1.349[1] 1.311[3]	—	—	1.330[7]	—			20.616_5[9]	—		$-\frac{20.088_5}{20.000}$ $-\frac{2.767}{2.678_5}$ $+\frac{0.088_5[15]}{0.088_5[16]}$
	(6)Г	—	546[2] 510[4]	—	—	528[8]	802		—	20.088_5[10]		$-\frac{0.975_5}{0.887}$ $+\frac{0.088_5[17]}{}$
	г — (5) + 10	—	—	1.518[5]	—	—	[13]	—	—	19.079[11]		
	п — (5) + 12	—	—	1.106[6]	—	—	—	—	—	19.491[12]		
№№ граф.		(I)	(II)	(III)	(IV)	2.767[13] (V)	2.678$_5$[14] (VI)	975$_5$ (VII)	887	(VIII)	(IX)	(X)	(XI)

и внесены въ графу читанныхъ промежуточныхъ точекъ: 1,518 и 1,106.

На первой страницѣ журнала на лѣвой сторонѣ подсчитаны (внизу) сумма среднихъ заднихъ взглядовъ 2,767 (въ пятой графѣ) и сумма среднихъ переднихъ взглядовъ $2{,}678_5$ (въ шестой графѣ) и сумма превышеній $+975_5 - 887 = +0{,}088_5$ (въ седьмой графѣ).

Въ графахъ примѣчаній указана повѣрка сдѣланныхъ вычисленій: налѣво взята разность отмѣтокъ,—послѣдней на страницѣ связующей точки (6) *Г* и первой начальной точки (0) $A - 20.088_5 - 20.000 = +0.088_5$, а направо разность суммъ 2,767 (взглядовъ назадъ) и 2.678_5 (взглядовъ впередъ) $2.767 - 2.678_5 = +0{,}088_5$. Подъ ними взята сумма положительныхъ 975_5 и отрицательныхъ превышеній 887, т. е. $975_5 - 887 = 0.088_5$. Эти разности подтверждаютъ правильность сдѣланныхъ вычисленій

Такой подсчетъ дѣлается на каждой страницѣ *ежедневно вечеромъ*, по возвращеніи изъ поля, обоими нивеллировщиками, идущими по оси нивеллированія одинъ за другимъ.

Для того, чтобы удобнѣе прослѣдить запись, въ журналѣ поставлены тѣ же буквы, что и на чертежѣ 286, для обозначенія связующихъ и промежуточныхъ точекъ, а также на поляхъ журнала помѣчены номера станцій. Въ полѣ буквы эти *А*, *Б*, *В* . . . . . *З*, *а*, *б* . . . . . *д* не пишутъ въ журналѣ, а довольствуются условными ихъ обозначеніями, напр., для точки *б* ограничиваются записью (3) +17.

Порядокъ занесенія записей въ графы журнала на каждой станціи обозначенъ цифрами, стоящими справа, въ четыреугольныхъ скобкахъ.

Закладныя марки. На основныхъ пунктахъ, между которыми производится нивеллированіе перваго разряда, *укрѣпляются по большей части* особыя *закладныя марки*, иначе называемыя *реперами* [1]). Онѣ имѣютъ весьма разнообразную форму. Приведемъ нѣкоторыя изъ нихъ.

Закладная марка нашего главнаго штаба, изображенная на черт. 300, вылита изъ чугуна; на лицевой сторонѣ круглой ея доски (діаметромъ около 13,5 сантм.) выпуклыми буквами сокращенно написано кругомъ „*Нивеллировка Главнаго Штаба*“; наверху помѣщенъ годъ постановки, а внизу номеръ марки; затѣмъ въ серединѣ доски имѣется точка, изображающая *центръ марки*, высота котораго опредѣлена нивеллированіемъ надъ принятымъ уровнемъ воды (въ большинствѣ случаевъ надъ уровнемъ Балтійскаго моря). На обратной сторонѣ марки имѣется стержень съ зазубринами или уступами, постепенно

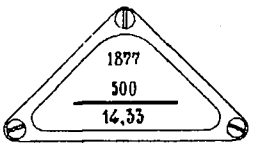


Черт. 300.

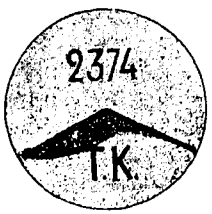
[1]) Французское слово repère значитъ—замѣтка.

расширяющимися къ концу (длина стержня = приблизительно 8,5 сантим. (3,5″), а вѣсъ всей марки около 2 фунтовъ). Для укрѣпленія такой марки на данномъ сооруженіи пробивается въ каменной кладкѣ глубокое квадратное углубленіе, въ которое дня за два до производства нивеллированія вставляется стержень и заливается жидкимъ цементомъ, дабы цементъ могъ затвердѣть и дать маркѣ неизмѣнное положеніе. Нивеллировки Гл. Шт. располагаются по преимуществу по *линіямъ желѣзныхъ дорогъ, и марки* закладываются на разст. 20—30 верстъ. (Преимущественно на стѣнахъ паровозныхъ зданій).

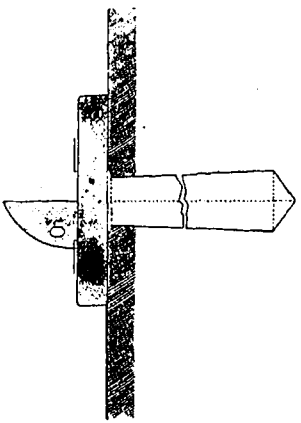
Если нивеллированіе ведется хотя и обыкновеннымъ нивеллиромъ, но по нѣсколькимъ направленіямъ, напр. по



Черт. 301.



Черт. 301a.

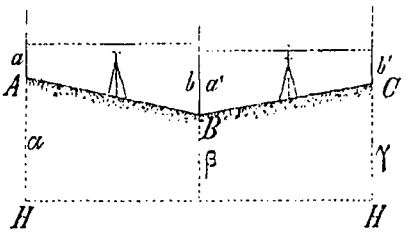


Черт. 301b.

улицамъ города, то нѣкоторые хода (напр. сомкнутое кольцо вокругъ города и два приблизительно перпендикулярные хода по діаметрамъ этого кольца) считаются за основные и отъ нихъ ведутся второстепенныя нивеллировки. Въ точкахъ основныхъ ходовъ ставятся также реперы. Такъ, при нивеллировкѣ г. Москвы въ 1876—1877 годахъ употреблялись репера, одинъ изъ которыхъ изображенъ на черт. 301. Онъ имѣетъ форму равнобедреннаго треугольника съ основаніемъ равнымъ 24,5 (9,5″) и высотою около 12,7 сантиметровъ (5″). На лицевой сторонѣ репера сдѣлады слѣдующія выпуклыя надписи: 1877 (годъ постановки репера), 500 (номеръ по порядку) и 14,33; это послѣднее число есть отмѣтка въ саженяхъ сквозной горизонтальной черты, сдѣланной надъ нимъ. Высоты взяты относительно уровня воды Москвы-рѣки подъ Даниловымъ монастыремъ, а чтобы получить высоту черты надъ уровнемъ Балтійскаго моря (у Кронштадтскаго футштока) надо придать 54,20 саж., что выра-

жаетъ высоту средняго уровня Москвы-рѣки подъ Даниловымъ монастыремъ надъ уровнемъ Балтійскаго моря. Прикрѣпленіе репера къ стѣнѣ производилось ершовыми гвоздями, которые, проходя чрезъ круглыя отверстія вблизи вершинъ треугольника репера, вбивались въ деревянныя пробки, загнанныя предварительно въ глубокія отверстія въ каменной кладкѣ. За послѣднее время при канализаціи Москвы употреблялись реперы, напоминающіе берлинскіе. Черт. 301a и 301b изображаютъ стѣнной чугунный реперъ Г. К. (Городск. Канализац.) за № 2374; стѣнные репера забивались черезъ 50 саж.; точкою нивеллировки у нихъ служитъ ребро двугранаго угла въ 120° въ центрѣ марки.

§ **195. Вычисленіе отмѣтокъ технической нивеллировки.** По окончаніи нивеллированія по журнальной записи (§ 194) сдѣланныхъ взглядовъ получаются данныя для составленія на бумагѣ вертикальнаго разрѣза, иначе профиля земной поверхности. Для этого связующія точки, пикеты и другія пронивеллированныя точки должны быть отнесены къ одной горизонтальной плоскости, представляющей или продолженный уровень какого-нибудь водохранилища, или *произвольно выбранную горизонтальную плоскость, лежащую ниже всѣхъ пронивеллированныхъ точекъ. Высоты точекъ земной поверхности надъ этою плоскостью называются ихъ отмѣтками.* Для опредѣленія положенія точекъ оси нивеллированія относительно принятой плоскости достаточно знать взаимныя горизонтальныя между ними разстоянія и ихъ отмѣтки. Первыя изъ этихъ величинъ, т. е. горизонтальныя разстоянія опредѣлены промѣрами лентой на мѣстности[1]), а вторыя—отмѣтки точекъ—могутъ быть вычислены по имѣющимся въ журналѣ взглядамъ и по данной высотѣ или отмѣткѣ начальной точки. Дѣйствительно, если a и b (черт. 302) суть взгляды на заднюю и переднюю рейку (или взгляды на точку продольнаго и поперечнаго нивеллированій), и если α есть извѣстная высота (отмѣтка) начальной точки A надъ принятою плоскостью HH', то *горизонтъ инструмента* будетъ $= \alpha + a = b + \beta$, откуда находимъ отмѣтку $\beta = \alpha + a - b$.



Черт. 302.

Подобнымъ же образомъ, если a' и b' суть взгляды назадъ и впередъ при стояніи инструмента между какими-либо двумя точками B и C, а γ — отмѣтка точки C, то: $\beta + a'$ будетъ опять горизонтъ инструмента, и отмѣтка $\gamma = \beta + a' - b'$.

---

[1]) Если промѣры велись по наклонной линіи, то можно ввести въ промѣры поправки за наклонъ.

Вообще можно сказать:

Отмѣтка послѣдующей точки нивеллированія равна отмѣткѣ предыдущей точки, плюсъ взглядъ назадъ (горизонту инструмента) и минусъ взглядъ впередъ.

А такъ какъ взглядъ назадъ безъ взгляда впередъ есть превышеніе или разность уровней, то предыдущая формула можетъ быть выговорена и слѣдующимъ образомъ:

Отмѣтка послѣдующей точки равна отмѣткѣ точки предыдущей + превышеніе, или + разность ихъ уровней.

Это послѣднее правило, выведенное для нивеллированія изъ середины, справедливо и для нивеллированія впередъ, но только здѣсь взглядъ назадъ замѣняется высотою i инструмента.

Формула для вычисленія отмѣтокъ точекъ продольнаго нивеллированія вполнѣ примѣнима и для вычисленія отмѣтокъ точекъ поперечнаго нивеллированія, нужно только за отмѣтку точки предыдущей брать въ этомъ случаѣ отмѣтку той точки продольнаго хода, на которую взятъ взглядъ одновременно (съ той же самой станціи) съ взглядомъ на поперечную точку, *а точку поперечной нивеллировки слѣдуетъ считать за послѣдующую точку.*

Вслѣдствіе этого *отмѣтка точки поперечнаго хода равна отмѣткѣ точки продольнаго нивеллированія плюсъ взглядъ на точку продольнаго нивеллированія (второму горизонту инструмента) и минусъ взглядъ на точку поперечной нивеллировки или + разность уровней точекъ продольнаго и поперечнаго нивеллированій.*

Основываясь на этихъ правилахъ и сдѣлано нами вычисленіе отмѣтокъ точекъ на числовомъ примѣрѣ, пользуясь взглядами, которые мы имѣли записанными въ приведенномъ выше нивеллировочномъ журналѣ § 194.

Послѣ того какъ заполнены V и VI графы журнала средними изъ взглядовъ на заднія и переднія рейки: станція I..... $318 = {}^1/_2\ (324 + 312)$ и $1.205 = {}^1/_2\ (1.210 + 1.200)$ составляемъ превышеніе $318 - 1.205 = -0.887$ точки b надъ A, и заносимъ въ VII графу.

По данной отмѣткѣ a точки A: 20.000 и среднему взгляду a назадъ на точку A: 318 по формулѣ $\alpha + a =$ (горизонтъ инструмента), изъ котораго [по формулѣ $\beta = \alpha + a - b$] вычитаемъ 1.205 (взглядъ впередъ b) и получаемъ отмѣтку β точки B (графа VIII). Подобнымъ же образомъ поступаемъ далѣе на II и III.... станціяхъ, пока не вычислимъ отмѣтки всѣхъ связующихъ точекъ (опуская пока *до увязки*, вычисленіе отмѣтокъ всѣхъ промежуточныхъ точекъ).

§ 196. Увязка сомкнутаго нивеллирнаго хода и хода, пройденнаго два раза (впередъ и назадъ) съ нивеллиромъ. Если нивеллировка кончается у той же точки, у которой она началась, и нивеллирный ходъ представляется замкнутымъ полиго-

номъ, то отмѣтка исходной точки не получится такой же какою она была до вычисленія хода. Если разность этихъ отмѣтокъ не превыситъ наивысшаго предѣла ошибки, вычисляемаго по формулѣ $0{,}003\sqrt{2n}$, гдѣ n число станціи, то ее уничтожаютъ пропорціонально длинѣ пройденнаго хода (или числу пройденныхъ станцій).

Ходъ, дважды пройденный, впередъ и назадъ, можно трактовать какъ два отдѣльныхъ хода (основной и контрольный). Проходя вторично по ходу—назадъ, слѣдуетъ разности уровней связующихъ точекъ, полученныя вторично нивеллировкою, *сличать* съ тѣми же разностями, полученными по первому ходу. Въ случаѣ расхожденія разностей болѣе чѣмъ на 0,003 саж. слѣдуетъ повторить такую станцію нивеллировкою въ третій разъ.

Потому, если отмѣтки вычислены, начиная съ начальной точки до конечной и съ конечной (по обратному ходу) до начальной точки, то полученную разность, если она допустима, дѣлятъ пополамъ и ею исправляютъ отмѣтку конечной точки, вычисленную по прямому ходу, всѣ же остальныя отмѣтки исправляютъ такъ же, какъ это мы дѣлали въ предшествующемъ случаѣ.

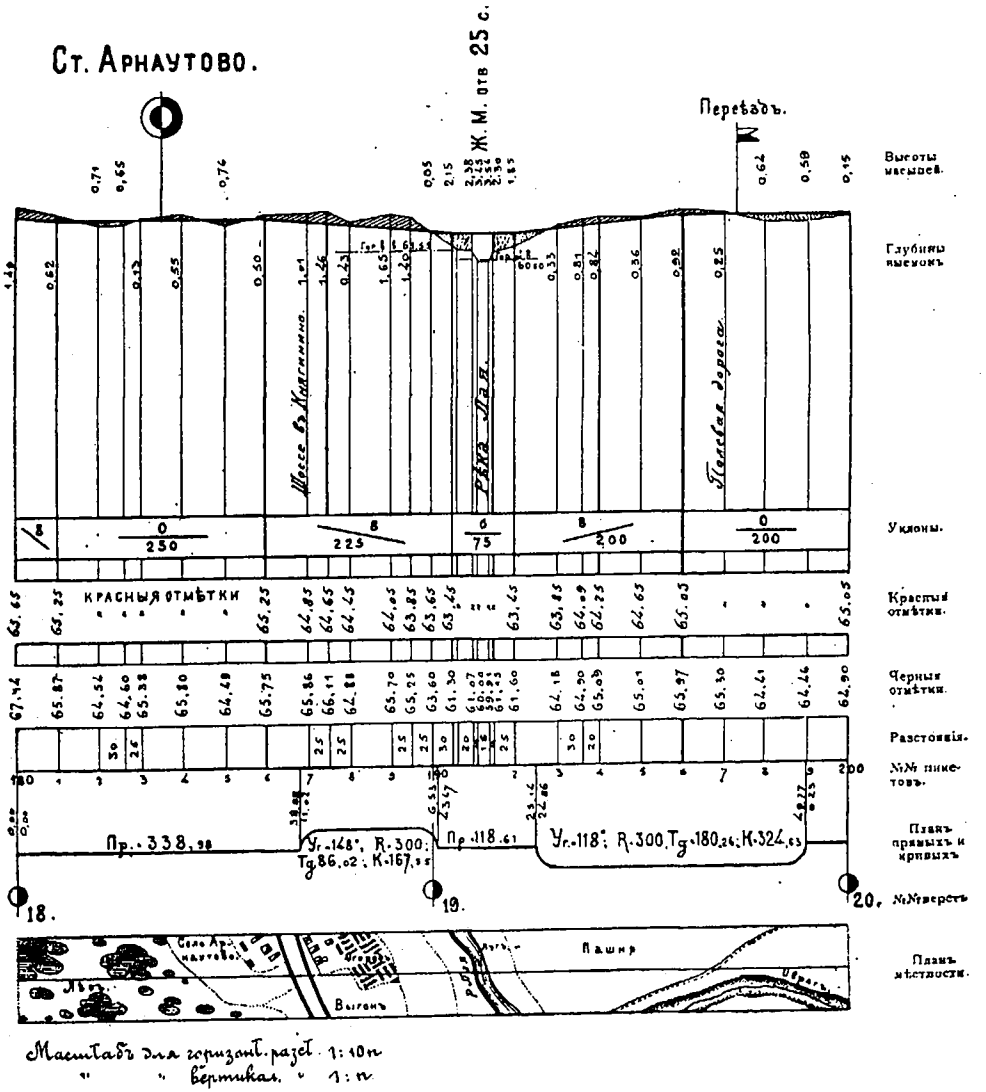
Примѣчаніе. Обратный ходъ отличается отъ прямого только тѣмъ, что въ немъ на каждой станціи „взглядъ впередъ" сдѣланъ на точку съ младшимъ номеромъ, а при прямомъ ходѣ на ту же точку дѣлался „взглядъ назадъ". Само собою разумѣется, что разность уровней двухъ связующихъ точекъ отъ порядка взглядовъ не измѣнится по абсолютной величинѣ, а потому вычисленіе обратнаго хода отъ конечной точки къ начальной можно было бы замѣнить вычисленіемъ хода съ отмѣтки начальной точки, и для того, чтобы вычислять, начиная съ послѣдней страницы *журнальной записи* и вернуться къ отмѣткѣ конечной точки, пришлось бы отмѣтки вычислять во второй записи по формулѣ: отмѣтка послѣдующей точки равна отмѣткѣ предыдущей + взглядъ впередъ и минусъ взглядъ назадъ.

Вычисленіе отмѣтокъ промежуточныхъ точекъ производится послѣ увязки отмѣтокъ связующихъ точекъ. Пусть, напр., хотимъ вычислить отмѣтки точекъ (*л*) и (*п*) на III станціи. Не будемъ забывать, что промежуточныя (между связующими лежащія) точки нивеллируются при второй постановкѣ (горизонтѣ) инструмента, т. е., когда на точкѣ B сдѣланъ взглядъ 1,311, а на (*л*)—1,518 и на (*п*) = 1,106. Поэтому сперва находимъ 2-й горизонтъ; онъ будетъ $19{,}286_5$ (отмѣтка точки B) + 1,311 = $20{,}597_5$; изъ него вычитаемъ 1,518, т. е. $20{,}597_5 - 1{,}518 = 19{,}079_5$ (получаемъ отмѣтку точки *л*); точно также 20,597 — 1,106 = 19,491 (отмѣтка точки *п*).

§ **197. Вычерчиваніе профиля.** Послѣ увязки нивеллирнаго хода, когда окончательно установлены отмѣтки всѣхъ точекъ, приступаютъ къ вычерчиванію профиля пронивелли-

Профиль

мѣстности, пронивеллированной между 180 и 200 пикетами, по продольной оси, близъ села Арнатурова.



Черт. 303.

рованной линіи. Съ этою цѣлью проводятъ внизу листа, отступя отъ края листа сотки 4—5, прямую и на ней въ

избранномъ масштабѣ откладываютъ сперва горизонтальныя разстоянія (*абсциссы*) между пикетами, и затѣмъ между связующими точками, а также и между промежуточными точками, взятыми для рельефа и для закругленій (начало, средина, конецъ кривой). Эта линія соотвѣтствуетъ прямой чертежа 286, подписанной „горизонтъ моря". Затѣмъ изъ всѣхъ точекъ отложенія возставляютъ къ прочерченной горизонтальной прямой перпендикуляры (*ординаты*) и на нихъ въ болѣе крупномъ масштабѣ, напр. *въ десять разъ большемъ* противъ масштаба, принятаго для горизонтальныхъ разстояній, откладываютъ вычисленныя отмѣтки. Соединяя послѣ того концы этихъ перпендикуляровъ (представляющіе точки мѣстности) прямыми линіями въ той же послѣдовательности, какъ они расположены въ натурѣ, получаютъ на бумагѣ изображеніе профиля. Увеличеніемъ масштаба для отмѣтокъ достигается большая наглядность рельефа мѣстности вдоль этого разрѣза. Въ точкахъ отложенія подъ горизонтальной прямой подписываются №№ пикетовъ.

Внизу профиля въ одной изъ оставленныхъ сотокъ чертится планъ развернутаго въ прямую линію нивеллирнаго хода въ видѣ прямыхъ, связанныхъ кривыми закругленій, разбитыхъ въ углахъ поворота хода (черт. 303), причемъ уголъ вправо по ходу обозначается дугою кверху, внизу которой подписываются: градусная величина угла, радіусъ закругленія длина касательныхъ и длина дуги кривой; лѣвый уголъ по ходу обозначается дугою книзу съ подписями наверху ея.

Для быстроты работы разрѣзъ земной поверхности чертится иногда на такъ называемой профильной бумагѣ. Это есть свертокъ, длиною въ 9 метровъ, а шириною 0,50 метр. По всему протяженію онъ разбитъ на квадраты со сторонами въ 0,01 долю сажени, вытянутыми или желтою, или синею краскою. Каждая сторона раздѣлена еще на 20 частей, такъ что получаются квадратики со сторонами въ 0,0005 долей сажени. Черченіе профиля на этой бумагѣ не требуетъ проведенія перпендикуляровъ и производится очень быстро при помощи острія тонко очиненнаго карандаша или одной только наколки, безъ посредства циркуля и масштаба. Эта бумага удобна вмѣстѣ съ тѣмъ и для надписыванія на профилѣ цыфръ.

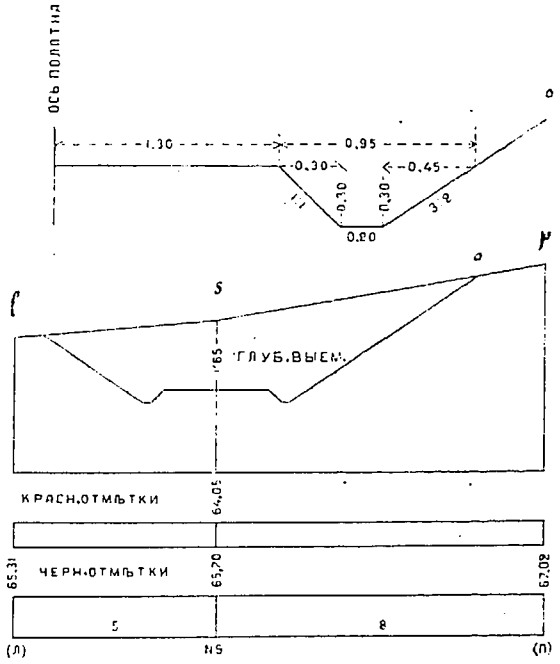
На чертежѣ 303 показано расположеніе надписей, дѣлаемыхъ на продольномъ профилѣ.

Внизу профиля оставляется мѣсто, шириною въ 1 сотку, для плана мѣстности узкой полосы земли, по которой идетъ пронивеллированная ось будущей дороги. Планъ наносится согласно записи, сдѣланной въ пикетажной книжкѣ (см. чертежъ пикетажной книжки), въ масштабѣ 100 саж. въ сотнѣ; тотъ же масштабъ удерживается и для горизонтальныхъ разстояній профиля (абсциссъ), планъ иллюминуется красками, согласно условныхъ знаковъ.

Масштабъ для вертикальныхъ разстояній принятъ въ 10 разъ больше, чѣмъ для горизонтальныхъ, т. е. 10 саж. въ сткѣ.

Отмѣтки черныя и красныя (проектной линіи), а также высоты насыпей и глубины выемокъ подписываются до *сотыхъ* долей сажени.

Для *построенія поперечныхъ профилей* на той же профильной бумагѣ, на которой нанесенъ разрѣзъ земной по-



Черт. 303 bis.

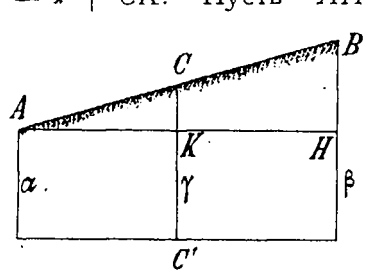
верхности по продольной оси, берутъ масштабъ 2 саж. въ сткѣ какъ для горизонтальныхъ, такъ и для вертикальныхъ разстояній (черт. 303 bis). На горизонтальной прямой намѣчаютъ точку № 9, *л* и *п* (лѣвую и правую) по разстояніямъ № 9—*л* = 5 саж.; № 9—*п* = 8 саж. Въ этихъ точкахъ строятъ кверху перпендикуляры, на которыхъ откладываютъ: на среднемъ — отмѣтку точки № 9 продольнаго нивеллированія=65.70 (*s*), на лѣвомъ—65.31 (*l*), на правомъ—67.02 (*p*) отмѣтки точекъ поперечнаго нивеллированія, укороченныя, какъ и отмѣтка точки № 9, на одно и то же число саженъ. Точки *l*, *s* и *p* соединяются прямыми. Если какой-либо поперечный профиль по близости со смежнымъ долженъ покрывать часть его, то такой профиль выносятъ или кверху, или книзу.

На поперечномъ профилѣ, соотвѣтственно продольному профилю, проектируется полотно дороги; напр., въ № 9 точки продольнаго профиля показана выемка, поэтому на поперечномъ профилѣ отъ точки s внизъ нанесена глубина выемки = 1.65 и на той же вертикали, изображающей ось полотна дороги подписана ниже красная отмѣтка = 64.05.

Выше надъ поперечнымъ профилемъ показаны размѣры полотна = 2.6 саж. (на чертежѣ показана правая половина выемки съ шириною полуполотна = 1,3 саж.) и водоотводной канавы (кювета): глубина = 0,3 саж., ширина ея дна = 0,2 саж., внутренній ординарный (1 : 1) откосъ и наружный полуторный откосъ (3 : 2).

§ 198. Паденіе и уклонъ линіи. Иногда требуется знать отмѣтки тѣхъ точекъ земной поверхности, на которыя рейка не ставилась. При этомъ данная точка можетъ лежать или на одной изъ осей нивеллировки, или между ними, но внутри полосы, заключающейся между осями.

Точка C (черт. 304) лежитъ на оси AB въ извѣстномъ разстояніи отъ конца A, для нея надо вычислить отмѣтку $C'C$; она будетъ равна отмѣткѣ точки A плюсъ превышеніе точки C надъ точкою A, т. е. $\gamma = \alpha + CK$. Пусть AH есть горизонтальная линія, тогда, обозначая разстояніе AH между A и B чрезъ D и полагая, что данное разстояніе AK между A и C равно d, составимъ пропорцію, — $BH : CK = AH : AK$. Здѣсь BH разность отмѣтокъ точекъ A и B. Обозначая ихъ соотвѣтственно чрезъ α и β, будемъ называть $(\beta - \alpha)$ *разностью отмѣтокъ конечныхъ точекъ B и A прямой AB паденіемъ линіи AB*, а дробь $p = \frac{\beta - \alpha}{D}$, представляющую *измѣненіе паденія на единицу разстоянія — уклономъ линіи AB*. Тогда превышеніе



Черт. 304.

$$CK = \frac{\beta - \alpha}{D} d,$$

а искомая отмѣтка

$$\gamma = \alpha + p.d.$$

Формула эта, выведенная для мѣстности повышающейся, обращается при мѣстности понижающейся, при тѣхъ же обозначеніяхъ, въ слѣдующую:

$$\gamma = \alpha - pd,$$

такъ какъ паденіе и уклонъ линіи будутъ противоположны

предыдущимъ. За общую изъ двухъ послѣднихъ формулъ принимаютъ первую

$$\gamma = \alpha + pd,$$

причемъ въ ней уклонъ принимается съ соотвѣтствующимъ знакомъ, т. е. положительнымъ для линіи повышающейся и отрицательнымъ для линіи понижающейся. Эта формула выговаривается такъ: *отмѣтка точки, лежащей на оси нивеллированія, равна отмѣткѣ данной точки, сложенной съ произведеніемъ уклона линіи на горизонтальное разстояніе между обѣими точками.*

Если, напр., $p = -0{,}008$ и $d = 225$, (см. черт. 303), то $pd = -1{,}80$ саж. и если $\alpha = 65.25$ (красн. отм. пик № 186), то $\gamma = 65{,}25 - 1.8 = 63{,}45$ (красн. отм. точки № 190+25).

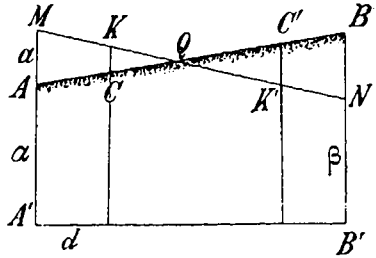
Уклонъ *линіи имѣетъ* и *геометрическое значеніе*, ибо представляетъ собою тангенсъ угла наклоненія линіи. Въ самомъ дѣлѣ, если уголъ наклоненія BAH (черт. 304) обозначимъ чрезъ x, то

$$BH = AH \cdot tgx;$$

отсюда

$$tgx = \frac{\beta - \alpha}{D} = p.$$

§ **199. Проведеніе проектной линіи.** При осуществленіи на земной поверхности искусственныхъ сооруженій, какъ напр., при проведеніи дороги, прорытіи канавы, разбивкѣ площадки для желѣзнодорожной станціи, требуется предварительно выровнить или, какъ говорятъ, *спланировать мѣстность*, т. е. представить ее въ такомъ видѣ, чтобы вся она или отдѣльныя ея части были или горизонтальными плоскостями, или плоскостями съ нѣкоторымъ заранѣе намѣченнымъ (избраннымъ) уклономъ. Такое превращеніе поверхности сопровождается назначеніемъ на мѣстности и на профилѣ такъ называемой *проектной линіи*. Пусть AB (черт. 305) есть линія земной поверхности съ извѣстною длиною ея горизонтальнаго проложенія $A'B'$ и съ данными отмѣтками α и β конечныхъ ея точекъ A и B, требуется выровнять мѣстность такъ, чтобы при сѣченіи ея вертикальною плоскостью вмѣсто прямой AB получилась бы прямая линія MN, называемая *проектною*. Чтобы назначить ее на мѣстности, необходимо вычислить, насколько въ нѣкоторыхъ точкахъ линіи AB надо или насыпать, или снять землю, т. е. другими словами, опредѣлить для точекъ земной поверхности *высоты насыпей* и *глубины выемокъ;* обозначивъ отмѣтку точки A земной поверхности



Черт. 305.

чрезъ α, уклонъ линіи AB чрезъ p, высоту точки M проектной линіи MN надъ A чрезъ a, заданный уклонъ проектной линіи MN чрезъ p' и горизонтальное разстояніе произвольной точки C отъ A чрезъ d, будемъ имѣть по § 198

отмѣтка точки C . . . . . $c = a + pd$

„ „ K . . . . . $k = a + a + p'd$.

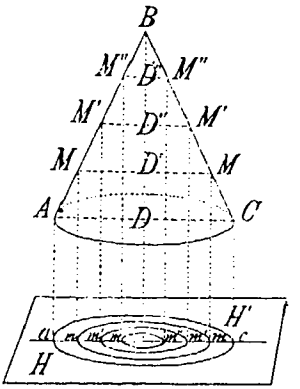
Слѣдовательно, *высота насыпи* $CK = y$ *представляетъ разность отмытокъ точекъ* K *и* C. Она получится непосредственно вычитаніемъ, если отмѣтка точки C дана на профилѣ, а отмѣтка точки K высчитана.

Отмытка точки проектной линіи называется красною отмыткою, потому что она подписывается на профилѣ всегда карминомъ. Отмѣтка точки профиля линіи, пронивеллированной на земной поверхности, называется черною отмѣткою. Вслѣдствіе этого можно сказать, что *высота насыпи или глубина выемки равна разности красной и черной отмытокъ точекъ, имѣющихъ общую проекцію* и на практикѣ всегда поступаютъ такъ, что высчитываютъ всѣ красныя отмѣтки, а затѣмъ простымъ вычитаніемъ находятъ высоты насыпей и глубины выемокъ.

§ **200. О горизонталяхъ.** Горизонтали являются однимъ изъ вспомогательныхъ средствъ для изображенія на планѣ неровностей мѣстности, такъ какъ изобразить на планѣ неровности мѣстности значитъ показать на немъ: 1) относительныя высоты однѣхъ точекъ надъ другими; 2) крутизны покатостей; 3) направленіе скатовъ и 4) выразить общій характеръ рельефа. Изображеніе неровностей мѣстности производится посредствомъ условныхъ знаковъ двумя способами: *способомъ горизонталей* и *способомъ штриховъ* (къ послѣднему способу относятъ и *отмывку*). Разсмотримъ сперва первый способъ. Пусть имѣемъ на мѣстности какую-нибудь возвышенность; мысленно *разсѣчемъ эту возвышенность равноотстоящими другъ отъ друга горизонтальными плоскостями*, параллельными уровню воды водохранилища. Кривыя линіи, полученныя при пересѣченіи боковой поверхности возвышенности съ горизонтальными плоскостями, спроектируемъ на горизонтальную поверхность водохранилища (плана) и будемъ называть эти проекціи полученныхъ кривыхъ *горизонталями* или *изогипсами*. Для того, чтобы показать, какъ при помощи горизонталей изображаются на планѣ неровности любой части даннаго участка мѣстности, разсмотримъ сперва изображеніе на планѣ посредствомъ горизонталей правильныхъ геометрическихъ тѣлъ, напр., прямого конуса съ круговымъ основаніемъ, наклоннаго конуса съ круговымъ основаніемъ, полушарія, наклонной плоскости, цилиндрической поверхности и т. п.

1. Если *прямой конусъ* ABC *съ круговымъ основаніемъ* (черт. 306) разсѣчь горизонтальными равноотстоящими плоскостями MM, $M'M'$, $M''M''$, то сѣченія этихъ плос-

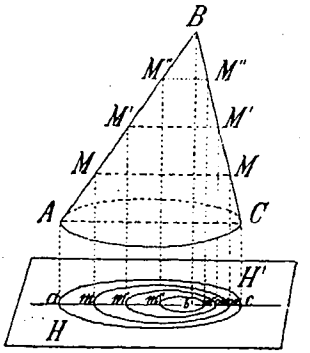
костей съ поверхностью конуса будутъ *окружности*. Если изобразимъ эти окружности въ проекціи на плоскости HH' параллельной основанію, то получимъ окружности ac, $mm'm'$, $m''m''$. Такъ какъ центры всѣхъ окружностей MM, $M'M'$, $M''M''$, и AC лежатъ на оси DB конуса, то на планѣ центры проекцій этихъ окружностей должны лежать въ одной точкѣ b; (проекціи точекъ B и D) при этомъ, такъ какъ $DD' = D'D'' = D''D''' = D'''B$ и углы при точкахъ A, M, M', M'' и C также равны между собою, то и $AM = MM' = M'M'' = M''B$, а слѣдовательно $M''D''' = bm'' = m'm'' = m'm = ma$.



Черт. 306.

Отсюда мы видимъ, что прямой конусъ съ круговымъ основаніемъ долженъ изобразиться на планѣ посредствомъ горизонталей въ видѣ концентрическихъ равноотстоящихъ окружностей.

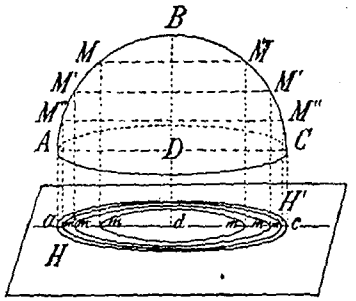
2. Если *наклонный конусъ съ круговымъ основаніемъ* (черт. 307) разсѣчь горизонтальными равноотстоящими плоскостями MM, $M'M'$, $M''M''$, то въ сѣченіи этихъ плоскостей съ поверхностью конуса получатся окружности, изображенія которыхъ на плоскости, параллельной основанію конуса, также будутъ окружности; но такъ какъ центры окружностей AC, MM, $M'M'$, $M''M''$ *не* лежатъ на оси конуса, то на планѣ окружности будутъ эксцентрическія, и разстоянія между ними будутъ различныя въ различныхъ мѣстахъ, при этомъ наименьшее разстояніе будетъ по направленію линіи bc, такъ какъ BC составляетъ съ горизонтомъ большій уголъ наклоненія, чѣмъ AB, и слѣдовательно, если уголъ $C >$ угла A, то и $AB > BC$, а $\cos C < \cos A$, вслѣдствіе чего $AB \cdot \cos A > BC \cdot \cos C$, но проекція $bc = BC \cdot \cos C$, а проекція $ab = AB \cdot \cos A$, слѣдовательно $ab > bc$.



Черт. 307.

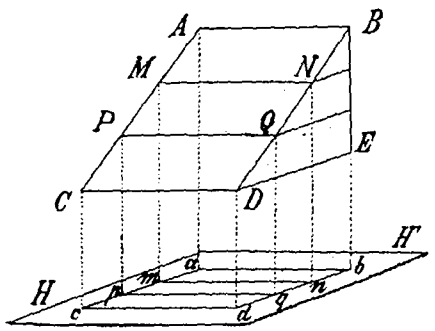
3. Если *полушаріе* ABC (черт. 308) разсѣчь горизонтальными равноотстоящими плоскостями MM, $M'M'$, $M''M''$, то въ сѣченіи съ поверхностію шара получатся окружности, и, такъ какъ центры всѣхъ окружностей лежатъ на радіусѣ BD, то *полушаріе изобразится на планѣ* также *въ видѣ окружностей концентрическихъ*, *но* только *неравноот-*

стоящихъ, а сходящихся къкраямъ плана, такъ какъ углы, образуемые равными элементами BM, MM', $M'M''$ и $M''C$ кривой въ точкахъ M, M', M'' и C съ горизонтомъ, постепенно возрастаютъ отъ 0^0 до 90^0, а слѣдовательно *cos*-ы ихъ постепенно убываютъ, а потому $m_i\, m_{i+1} = M_i\, M_{i+1} \cos M$ также постепенно убываютъ.

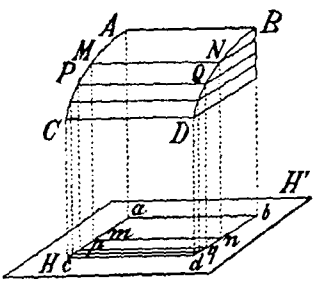


Черт. 308.

4. *Наклонная плоскость* и *цилиндрическая поверхность* изобразятся *первая—равноотстоящими параллельными прямыми*, а *вторая — постепенно сходящимися параллельными прямыми*, что ясно видно изъ разсмотрѣнія чертежей 309 310 и 311.

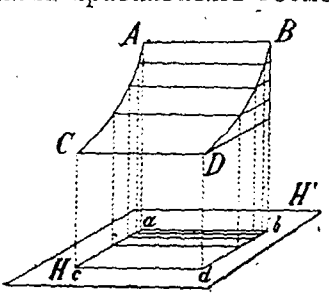


Черт. 309.



Черт. 310.

Неровности мѣстности не имѣютъ правильной формы, но объ отдѣльныхъ частяхъ возвышенностей и углубленій можно судить, сравнивая горизонтали ихъ съ горизонталями правильныхъ геометрическихъ тѣлъ.



Черт. 311.

§ 201. Свойство горизонталей. Изъ чертежей 306—311 видно, что съ измѣненіемъ угла наклона α линій мѣстности мѣняется и разстояніе d между горизонталями. Это же заключеніе нетрудно подтвердить и формулою, если разстояніе между сѣкущими горизонтальными плоскостями обозначимъ на одномъ изъ предыдущихъ чертежей черезъ h, разстояніе между горизонталями на планѣ черезъ d и, на-

конецъ, уголъ наклоненія черезъ α, то (см. черт. 306, 309, а также и 309 bis).

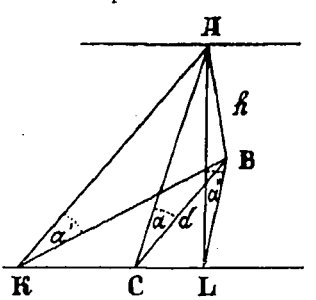
$$d = h.\ Cotg\ \alpha \qquad \text{или} \qquad d = \frac{h}{tg\alpha} \ldots\ldots (d)$$

отсюда видимъ: 1) если h и α постоянны, то и d постоянно, или другими словами, если уголъ наклоненія покатости одинъ и тотъ же, то разстоянія между горизонталями равны между собою (см. черт. 306 и 309), во 2) чѣмъ больше α, тѣмъ меньше d и наоборотъ (черт. 307 и 308) или иначе, съ *увеличеніемъ угла наклоненія покатости разстоянія между горизонталями* (или такъ называемыя *заложенія*) *уменьшаются* (сличи § 7, черт. 9, стр. 9). Но такъ какъ величиною α опредѣляется степень крутизны покатости, то о *крутизнѣ покатости судятъ по разстояніямъ между горизонталями* (*или по заложеніямъ*).

Нетрудно видѣть, что *по числу горизонталей между двумя точками на планѣ можно судить объ относительной высотѣ этихъ* двухъ *точекъ*.

Такъ если на предыдущемъ 306 чертежѣ разстоянія h между горизонтальными плоскостями равно $^1/_2$ саж., то точка m' лежитъ выше a на 1 саж., а точка m'' выше a на $1^1/_2$ саж. и т. д.

Горизонтали даютъ также *понятіе о направленіи скатовъ*. Направленіе ската есть линія наибольшаго уклона, по которой стекаетъ вода; но такъ какъ линія наибольшаго уклона есть кратчайшее разстояніе между горизонталями [см. формулу (d) и черт. 309 bis][1]), то направленіе ската есть линія, перпендикулярная къ горизонталямъ. Линія ската можетъ быть и прямою, и кривою, что зависитъ отъ формы горизонталей. Изъ всего сказаннаго видно, что *горизонтали* или иначе *изогипсы* даютъ понятіе о формѣ неровностей земной поверхности (по общему виду горизонталей), о крутизнѣ скатовъ[2]), объ ихъ направленіи[3]) и о превышеніи одной точки земной поверхности надъ другой[4]).



Черт. 309 bis

§ 202. Виды и названіе отдѣльныхъ частей неровностей мѣстности. Изученіе рельефа мѣстности состоитъ въ ближай-

---

[1]) $BC = d = \frac{h}{tg\alpha}$; $BK = \frac{h}{tg\alpha'}$ и $BL = \frac{h}{tg\alpha''}$; но $BK > BC$ и $BL > BC$, а потому $BC \perp KCL$, а слѣдовательно и $AC \perp KCL$.

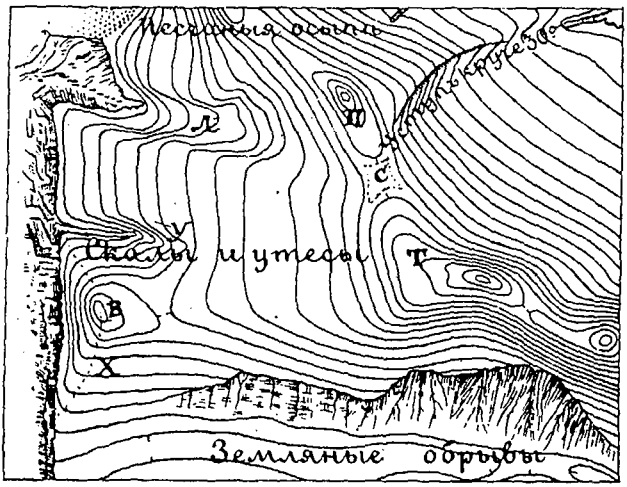
[2]) По разстояніямъ между горизонталями.

[3]) По направленію кривой или прямой, пересѣкающей горизонтали подъ прямыми углами.

[4]) По числу промежутковъ между горизонталями.

шемъ ознакомленіи съ ея орографическими [1]) видами. Главнѣйшіе изъ этихъ видовъ изображены горизонталями на черт. 312. Возвышенность, близко подходящая къ конической формѣ, представляющаяся на планѣ горизонталями, частью сомкнутыми на подобіе эллипсисовъ, называется *горою*. Гора небольшихъ размѣровъ называется *холмомъ*. Въ горѣ различаютъ ея части: *вершину*, *скаты* и *подошву*.

Вершина (*В*)—есть высшее мѣсто горы причемъ, если она имѣетъ видъ почти горизонтальной плоскости, то называется горной *площадкой* или *плато*; если же она остроконечна (*П*), то—*пикомъ*, *сопкою* или *пикомъ*.



В... вершина, Х... хребетъ, Л... лощина
П... пикъ, С... сѣдловина, У... ущелье,
Т... терасса.

Черт. 312.

Боковая поверхность горы образуетъ ея *скаты*. Скатомъ называется покатость, имѣющая одинъ и тотъ же уголъ наклона. Мѣсто пересѣченія скатовъ съ окружающею гору земною поверхностью называется *подошвою* горы или ея *подножіемъ*. Если на скатахъ встрѣчаются линіи, представляющія рѣзкій переходъ поверхности отъ одной крутизны къ другой, то онѣ называются *перегибомъ ската* или *уступомъ*. *Обрывъ* или *круча* образуются при переходѣ мѣстности изъ отлогой въ крутой скатъ; при этомъ, если обрывъ имѣетъ значительную высоту, то онъ называется *утесомъ* или *стѣною*; наоборотъ, если крутой скатъ въ какомъ-либо мѣстѣ прерывается площадкой, даже можетъ быть

[1]) „Орографія“ въ переводѣ съ греческаго значитъ „горописаніе“, т. е. изображеніе возвышенностей или общнѣе—неровностей.

незначительно наклоненною къ горизонту, то имѣемъ *террасу* (*T*) или *уступъ*.

Хребетъ (*X*) есть выпуклая поверхность, образуемая двумя противоположными скатами. Линія встрѣчи этихъ скатовъ наз. *осью хребта* или *водораздѣломъ*, такъ какъ текущая отъ нея вода направляется въ разныя стороны. Хребетъ представляется на планѣ всегда выпуклыми кривыми линіями, вогнутость которыхъ обращена къ вершинѣ горы. Эти кривыя расходятся сильнѣе по мѣрѣ своего приближенія къ водораздѣльной линіи, потому что она имѣетъ наименьшій изъ всѣхъ угловъ наклоненія скатовъ. Хребетъ, отдѣляющійся отъ общей массы, называется *отрогомъ* горы. Хребты, которыхъ скаты пересѣкаются подъ острыми углами, называются *гребнями* горъ.

Лощина (*Л*) также образуется двумя противоположными скатами, но она есть поверхность вогнутая, являясь углубленіемъ въ скатѣ горы. Линія встрѣчи скатовъ или *щекъ лощины* называется *осью лощины*, а также *тальвегомъ* [1]) или *водосливною линіею*, потому что по ней направляется вода, стекающая со скатовъ. Лощина представляется вогнутыми кривыми линіями. Въ лощинѣ надо различать вообще слѣдующія части: *дно*, правый и лѣвый бокъ (*щеки*), *начало* и *устье*. Если лощина довольно широка и съ отлогимъ дномъ, то она называется *долиною*. Узкая и длинная лощина съ крутыми боками въ плоской мѣстности называется *оврагомъ* или *балкою*, а въ горныхъ странахъ *тѣсниной* или *ущельемъ* (*У*). Къ лощинамъ должно отнести также неправильныя продолговатыя углубленія, въ видѣ широкихъ трещинъ, происходящія отъ размыва грунта водою, называемыя *промоинами* и *проточинами*.

Окраиною наз. граница углубленія или иначе та кривая линія, по которой углубленіе граничитъ съ окружающею поверхностью.

Сѣдломъ или *сѣдловиною* (*С*) называется мѣсто одновременной встрѣчи двухъ (или нѣсколькихъ) противоположныхъ скатовъ возвышенностей, служащее въ то же время вершиною (началомъ) двухъ или нѣсколькихъ противоположныхъ лощинъ. Такъ какъ *сѣдловина* лежитъ ниже непосредственно надъ ней помѣщающейся сѣкущей плоскости и выше такой же плоскости, непосредственно подъ нею лежащей, то на планѣ она *изображается пунктирной сомкнутой горизонталью, параллельной горизонталямъ выше и ниже ея лежащимъ*.

Котловина есть углубленіе значительныхъ размѣровъ, замкнутое со всѣхъ сторонъ и напоминающее собою опрокинутую внизъ вершиною подъ поверхность земли гору. Небольшая впадина съ крутыми берегами есть яма, а углуб-

[1]) Отъ двухъ нѣмецкихъ словъ: Thal—долина и Weg—путь.

леніе, представляющее опрокинутый пикъ,—*воронка*. Котловина, яма и воронка изображаются на планѣ горизонталями въ видѣ сомкнутыхъ кривыхъ линій.

§ 203. Недостатки горизонталей. Изъ предыдущаго видно, что нѣкоторыя углубленія и возвышенія, а также выпуклыя и вогнутыя поверхности представляются горизонталями одинаковой формы, вслѣдствіе чего является возможность смѣшивать на планѣ оба эти орографическіе вида. Такъ котловину съ осью, впадающей въ нее лощины, можно принять за вершину горы съ идущимъ отъ нея хребтомъ. Для устраненія этого неудобства или слабо отмываютъ дно углубленій жидкою тушью, или предполагаютъ, что мѣстность подвергается боковому освѣщенію, направленному съ сѣверо-запада[1]) и въ зависимости отъ этого горизонтали, соотвѣтствующія углубленіямъ (котловинѣ и лощинѣ), утолщаются слѣва и сверху (черт. 313).



Черт. 313.

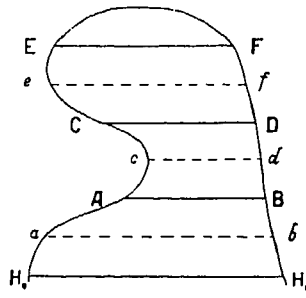
Еще лучше для устраненія недоразумѣній относительно возвышеній и углубленій подписывать на планѣ при горизонталяхъ ихъ отмѣтки или высоты. *Когда же на планѣ нѣтъ высотъ, то пониманію рельефа содѣйствуетъ расположеніе и указаніе направленія текучихъ водъ. Воды преимущественно указываютъ низшія точки мѣстности.* Надо имѣть въ виду, что горизонтали всего плана находятся между собою въ такой неразрывной связи, что, если мы въ одномъ мѣстѣ опредѣлимъ направленіе покатости (т. е. какія горизонтали выше и какія ниже), то, *прослѣдивъ горизонтали*, т. е. терпѣливо двигаясь вдоль горизонтали, мы можемъ то же самое опредѣленіе сдѣлать и въ произвольномъ мѣстѣ плана (или карты).

Изображеніе неровностей мѣстности горизонталями составляетъ безспорно самый точный изъ всѣхъ подобнаго рода способовъ и позволяетъ опредѣлять размѣръ всякой отдѣльной неровности по тремъ ея измѣреніямъ, однако онъ не доставляетъ необходимой наглядности плану или, какъ иногда выражаются, не сообщаетъ рисунку пластич-

[1]) Такое освѣщеніе было въ первый разъ примѣнено при изданіи карты Швейцаріи генерала Дюфура, вычерченной штрихами.

ности (рельефности), а *заставлявтъ вдумываться* для представленія себѣ въ умѣ какихъ-нибудь орографическихъ особенностей мѣстности. Недостатокъ этотъ устраняется отчасти тѣмъ, что горизонтали на отлогихъ покатостяхъ дѣлаются тонкими чертами, а на крутыхъ—толстыми, и при томъ чѣмъ круче покатость, тѣмъ горизонтали толще.

Другой недостатокъ горизонталей состоитъ въ томъ, что этотъ способъ не даетъ возможности выразить на планѣ, какъ значительныя крутизны, такъ и мелкія неровности, которыя *при данномъ отвѣсномъ разстояніи горизонтальныхъ плоскостей* не пересѣкаются ими и остаются пропущенными, такъ какъ разстоянія между горизонталями зависятъ отъ масштаба плана, а потому *заложеніе не можетъ быть менѣе точности масштаба*, т. е. 0,01 доли дюйма. Наглядньмъ примѣромъ можетъ служить мѣстность, представленная чертежемъ 314 Разсѣкая ее плоскостями H_0H_0; AB; CD; EF, мы рискуемъ пропустить характерные изгибы мѣстности, для изображенія которыхъ потребовалось бы сѣченія сдѣлать чаще, и разстоянія между сѣкущими плоскостями уменьшить вдвое. Дополнительныя плоскости ab; cd; ef показаны на чертежѣ пунктиромъ. Чтобы достигнуть надлежащей наглядности плана, необходимо гарантировать, что проекція изгибовъ Ac или Ce будутъ не менѣе точности масштаба плана.



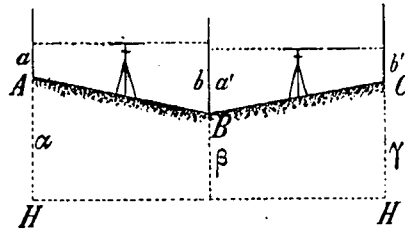
Черт. 314.

Въ томъ случаѣ, когда главнѣйшее условіе, требуемое отъ плана, есть его наглядность, какъ напр., для плановъ военныхъ, употребляютъ другой условный знакъ—*штриховку*, который позволяетъ лучше видѣть или, какъ говорятъ, *читать по плану рельефъ мѣстности*.

О штриховкѣ мы будемъ говорить впослѣдствіи.

§ 204. Разбивка на мѣстности точекъ и прямыхъ проекта. При планировкѣ мѣстности приходится рѣшать одну изъ слѣдующихъ задачъ:

1. *Въ данномъ пунктѣ B земной поверхности забить колъ, верхушка котораго имѣла бы требуемую отмѣтку γ.* Находящійся вблизи данной точки B реперъ A (черт. 315), т. е. колъ, отмѣтка α верхушки котораго извѣстна, ставятъ рейку, и на нее, по нивеллиру, поставленному между репером A и заданнымъ пунктомъ B, дѣлаютъ



Черт. 315.

„взглядъ a назадъ“. Послѣ этого въ B забиваютъ колъ и на него переносятъ рейку, и въ то же время высчитываютъ для рейки, стоящей на колѣ B, по отмѣткѣ репера α и взгляду назадъ a—„взглядъ b впередъ“ изъ равенства

$$a + a = \beta + b$$

онъ будетъ

$$b = \alpha + a - \beta$$

По рейкѣ въ точкѣ B читаютъ взглядъ b'; если b' будетъ отличаться отъ b, то высоту забитаго въ B кола измѣняютъ: пусть, напримѣръ, отсчетъ b' нужно увеличить, т. е. нуль рейки опустить, тогда, снявъ рейку, по головѣ кола B дѣлается нѣсколько осторожныхъ ударовъ обухомъ топора (молотка). Установивъ вновь на верхушку кола B рейку, повторяютъ взглядъ впередъ. Если теперь онъ b'' и болѣе требуемаго b, то легкими ударами по землѣ вокругъ кола стремятся приподнять колъ. Если этого окажется недостаточно, то колъ выдергиваютъ изъ земли, дыру засыпаютъ и вновь гонятъ колъ въ землю, пока наконецъ получится отсчетъ, отличающійся отъ b не болѣе какъ на 0,001—0,003 саж.

При твердомъ грунтѣ и значительной толщинѣ кола можетъ оказаться, что колъ дастъ *отказъ*, т. е. перестанетъ опускаться въ землю, тогда верхушка кола срѣзается. Мѣсто зарубки на колѣ, куда должна придтись пила, опредѣляется по ножу, клинокъ котораго предварительно держится горизонтально съ установленной на него рейкой.

2. *По данному направленію на земной поверхности разбить рядомъ кольевъ проектную линію заданнаго уклона* $p = 1 : m$, *причемъ для одной изъ точекъ* O *проектной линіи задается отмѣтка* q.

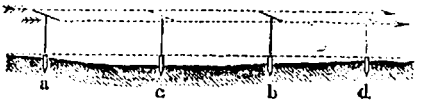
Очевидно, что для забивки кола O придется повторить предыдущую задачу. Остальные же колья, хотя и забиваются по той же задачѣ, но лишь послѣ того, какъ для верхушки каждаго изъ нихъ высчитана отмѣтка y по формулѣ (§ 198)

$$y = q + px \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (y),$$

гдѣ x есть разстояніе забиваемаго кола отъ первоначальнаго O. При вычисленіи не слѣдуетъ забывать знака уклона $\frac{1}{m} = p$.

Когда между двумя забитыми по нивеллиру кольями a и b нужно вставить еще нѣсколько промежуточныхъ точекъ, или по нимъ продолжить линію, то для *быстроты* рѣшенія задачи съ успѣхомъ могутъ служить такъ называемыя *визирки*. Онѣ состоятъ изъ деревянныхъ реекъ одной и той же высоты 0,6—0,7 саж. (до середины груди человѣка) съ прибитыми къ нимъ поперечными дощечками и имѣютъ видъ буквы T (черт. 316). Если на верхушки кольевъ a и b помѣстить двѣ равныхъ визирки и, визируя черезъ верхнія ребра ихъ поперечинъ, забивать колъ въ c

(или d) такъ, чтобы верхнее ребро поставленной на него визирки пришлось въ плоскости визированія, то верхушки всѣхъ трехъ кольевъ будутъ на линіи, параллельной линіи визированія, имѣющей требуемый уклонъ $p = 1 : m$.



Черт. 316.

3) *Опредѣлить точку пересѣченія земной поверхности съ проектной линіей.* Пользуясь рѣшеніями двухъ предыдущихъ задачъ, забиваютъ въ двухъ точкахъ M и N проектной линіи по колу, отмѣтки которыхъ близки къ отмѣткѣ точки пересѣченія, взятой съ профиля, устанавливаютъ на нихъ визирки и при помощи ихъ продолжаютъ проектную линію до встрѣчи съ земной поверхностію. Найдя точку встрѣчи, отмѣтку ея можно повѣрить по нивеллиру.

Точка встрѣчи также можетъ быть найдена и безъ визирокъ, по горизонтальному разстоянію x отъ одного изъ забитыхъ кольевъ N, находящихся вблизи точки Q (черт. 305) встрѣчи линіи AB съ проектною линіею MN. Дѣйствительно, пусть α и β черныя отмѣтки точекъ A и B, удаленныхъ на разстояніе D другъ отъ друга, а m и n ихъ красныя отмѣтки (т. е. отмѣтки соотвѣтственныхъ точекъ M и N проектной линіи). Искомое разстояніе x точки Q отъ B найдется изъ подобія треугольниковъ AMQ и QBN, въ которыхъ x и $(D-x)$ будутъ высотами, а именно:

$$\frac{D-x}{x} = \frac{m-\alpha}{\beta-n},$$

откуда искомое разстояніе по производной пропорціи [1]) будетъ

$$x = D \cdot \frac{\beta-n}{m-\alpha+\beta-n}$$

Знакъ у x берется $+$, если разстояніе взято по ходу впередъ, отъ точки B и $-$, если оно взято назадъ по ходу отъ B.

Примѣръ:

$D = 35$, $\alpha = 60{,}011$, $\beta = 60{,}567$, $m = 59{,}853$, $n = 60{,}648$.

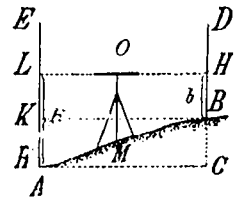
Находимъ

$$m-\alpha = -0{,}158$$
$$\beta-n = -0{,}081$$
$$m-\alpha+\beta-n = -0{,}239$$
$$-x = -35\,\frac{-0{,}081}{-0{,}239} = -11{,}9$$

4) *Изъ данной точки A* (черт. 317) *на мѣстности провести по земной поверхности линію даннаго уклона p.* Взявъ

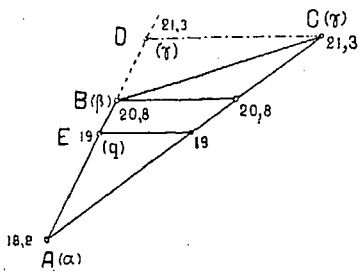
[1]) Сумма членовъ перваго отношенія относится къ своему послѣдующему члену такъ, какъ сумма членовъ второго отношенія относится къ своему послѣдующему члену.

взглядъ $AL = u$ назадъ на данный пунктъ A и вычисливъ по данному уклону p (принимая во вниманіе его знакъ) превышеніе $pd = BC$ на длину d ленты (или цѣпи), закрѣпляютъ ленту однимъ концомъ въ A и вытягиваютъ ее, идя по склону. Послѣ того перемѣщаются по мѣстности съ рейкой, находящейся на свободномъ концѣ цѣпи (ленты) до тѣхъ поръ, пока получатъ по нивеллиру въ точкѣ B взглядъ b впередъ, равный BH разности $(u - pd)$ между взглядомъ назадъ и вычисленнымъ превышеніемъ. Получивъ первую точку B, ленту вытягиваютъ далѣе въ гору и повторяютъ пріемъ, чрезъ что получится вторая точка; всякая послѣдующая точка линіи даннаго уклона назначается такимъ же способомъ отъ предшествующей.



Черт. 317.

5) *Наклонная плоскость задана верхушками трехъ забитыхъ въ землю кольевъ, найти въ данной плоскости горизонтальную линію и линію наибольшаго уклона.* Нивеллировкою опредѣляются отмѣтки α, β и γ трехъ данныхъ точекъ A,B и C (черт. 318), послѣ чего измѣряютъ горизонтальное проложеніе d линіи AB и вычисляютъ ея уклонъ $\frac{\beta-\alpha}{d}$. На прямой AB или ея продолженіи ищутъ точку D, отмѣтка которой y равнялась бы отмѣткѣ γ точки C. Пусть $\alpha = 18{,}2$; $\beta = 20{,}8$ и $\gamma = 21{,}3$; $d = 325$ саж. Тогда $\frac{\beta-\alpha}{d} = \frac{2{,}6}{325} = 0{,}008$. Вычисляемъ $y = \gamma = \beta + px$; $21{,}3 = 20{,}8 + 0.008x$; $x = 62{,}5$. По направленію AB отъ B откладываемъ $x = 62{,}5$ получаемъ точку D. Прямая CD будетъ горизонтальною, а перпендикуляръ къ ней — линіею наибольшаго уклона. Разумѣется, что когда направленіе горизонтальной линіи CD въ данной плоскости ABC найдено, то легко разбить въ той же плоскости любую горизонтальную прямую, отмѣтка q которой дана: для этого достаточно на прямой AB найти точку E съ отмѣткой q и черезъ нее проложить параллель къ CD. Точка E (съ отмѣткой q) получится по разстоянію z, отъ точки D (съ отмѣткой y), опредѣляемому изъ равенства $y = q + pz$, гдѣ p — уклонъ линіи AB. Пусть, напр., ищемъ горизонталь съ отмѣткою $q = 19{,}0$. Такъ какъ $y = 21{,}3$, а $p = 0{,}008$; то $z = \frac{21{,}3 - 19}{0{,}008} = \frac{2{,}3}{0{,}008} = 287{,}5$. Точка E будетъ



Черт. 318.

въ 287,5 саж. отъ D, или такъ какъ $AD = AB + BD = 325 + 62{,}5 = 387{,}5$, то E отъ A, т. е. $EA = 387{,}5 - 287{,}5 = 100$. Повѣркою служитъ

$18{,}2 + 100 \cdot 0{,}008 = 18{,}2 + 0{,}8 = 19$, т. е. $a + AE \cdot p = q$. [1]).

§ **205. Нивеллированіе поверхности.** Чтобы получить возможно правильное понятіе о видѣ поверхности даннаго участка на мѣстности, слѣдуетъ заснять его рельефъ, оставаясь по возможности болѣе близкимъ къ натурѣ. Съ этою цѣлью поступаютъ двояко, смотря потому, каковъ общій склонъ поверхности участка. Если *наклонъ незначителенъ* и болѣе или менѣе равномѣрный, какъ это бываетъ въ лугахъ и болотахъ, то всю данную поверхность заключаютъ въ многогранникъ, стороны котораго прилегали бы возможно ближе къ частямъ поверхности даннаго участка. Сторонами многогранника могутъ быть, сообразно съ мѣстными условіями и треугольники, и четыреугольники. Опредѣливъ за симъ отмѣтки или превышенія вершинъ многогранника и заснявъ горизонтальныя ихъ проекціи, получаютъ достаточныя данныя, чтобы судить о рельефѣ пронивеллированнаго участка.

Если поверхность даннаго участка настолько волнообразна, что представляетъ рѣзкія измѣненія въ общемъ характерѣ рельефа, образуя попеременно горные хребты, лощины, отдѣльно лежащія вершины, котловины (углубленія) и т. п., то предпочитаютъ нивеллированіе участка произвести по направленію осей этихъ хребтовъ и лощинъ, пролагая по нимъ и связывая между собою нивеллирные хода. Если участокъ незначителенъ, то довольствуются иногда вмѣсто полигоновъ отдѣльно лежащими пунктами, заснятыми полярнымъ способомъ. Разсмотримъ каждый случай въ отдѣльности.

Возьмемъ ту часть участка, которую мы желаемъ пронивеллировать *по квадратамъ* [2]).

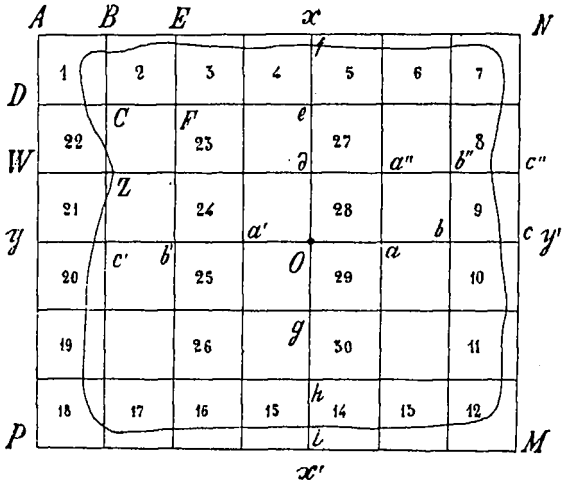
Пусть всю эту часть мы желаемъ заключить въ прямоугольникъ $ANMP$ (черт. 319). Для этого черезъ точку O, лежащую приблизительно по серединѣ участка, провѣшиваемъ двѣ взаимно перпендикулярныя линіи xx' и yy'; по линіи yy', отъ точки O, въ противоположныя стороны, отложимъ равныя между собою части, длиною отъ 10 до 20 саженъ. Въ точкахъ отложенія a, b, c, a', b', c', y возставимъ перпендикуляры, и на нихъ отложимъ $aa'' = bb'' = \ldots = FE = CB = WD \ldots = gh = hi = DA = Oa$. Во всѣхъ точкахъ отложенія, т. е. въ вершинахъ квадратовъ забьемъ колышки, и составимъ на бумагѣ чертежъ сѣтки квадра-

---

[1]) Очевидно, что нахожденіе на данной прямой $AB = 325$ саж. мѣста E (слѣда) 19-ой горизонтали соотвѣтствуетъ дѣленію прямой AB въ отношеніи $(20{,}8 - 19) : (19 - 18{,}2)$, что даетъ $AE = 100$ и $BE = 225$.

[2]) Для зыбкихъ мѣстностей способъ квадратовъ практикуется въ холодное время года, когда болото замерзнетъ.

товъ. На чертежѣ квадратики перенумеруемъ, начиная съ лѣваго верхняго квадрата, причемъ сперва пронумеруемъ квадраты, лежащіе по границѣ участка. Пусть въ кольцѣ, ограничивающемъ участокъ, оказалось 22 квадрата, тогда приступаютъ къ нумераціи квадратовъ колоннъ или рядовъ. На чертежѣ 319 перенумерованы колонны *черезъ одну*, чрезъ что получается 30 всѣхъ нумерованныхъ квадратиковъ. Придя на мѣстность съ такимъ чертежемъ, становятся съ нивеллиромъ въ серединѣ перваго квадрата и дѣлаютъ взгляды на рейки, установленныя въ вершинахъ A, D, B, и C. Запись сдѣланныхъ взглядовъ заносятъ на составленный чертежъ въ соотвѣтствующихъ углахъ квадрата; послѣ



Черт. 319.

чего идутъ во 2-й квадратъ съ нивеллиромъ, а рейки изъ A и D переносятъ въ E и F. Пронивеллировавъ 2-й квадратъ, переходятъ въ 3-й и т. д. Кончивъ нивеллировкою 22-й квадратъ, переходятъ въ 23-й, нивеллировку начинаютъ отъ точки F и такъ идутъ до 26-го квадрата. Окончивъ 26-й переходятъ въ 27-й квадратъ и здѣсь нивеллировку начинаютъ съ точки e, потомъ идутъ въ 28-й квадратъ и т. д., включительно до послѣдняго 30-го квадрата.

Во время нивеллировки квадратовъ сдѣланные отсчеты по рейкамъ контролируются слѣдующимъ пріемомъ: пусть взгляды на точки B и C изъ перваго квадрата были B_1 и C_1, а изъ второго—соотвѣтственно B_2 и C_2, тогда превышеніе точки C надъ B будетъ

$$B_1 - C_1 = B_2 - C_2,$$

откуда найдемъ

$$B_1 + C_2 = B_2 + C_1,$$

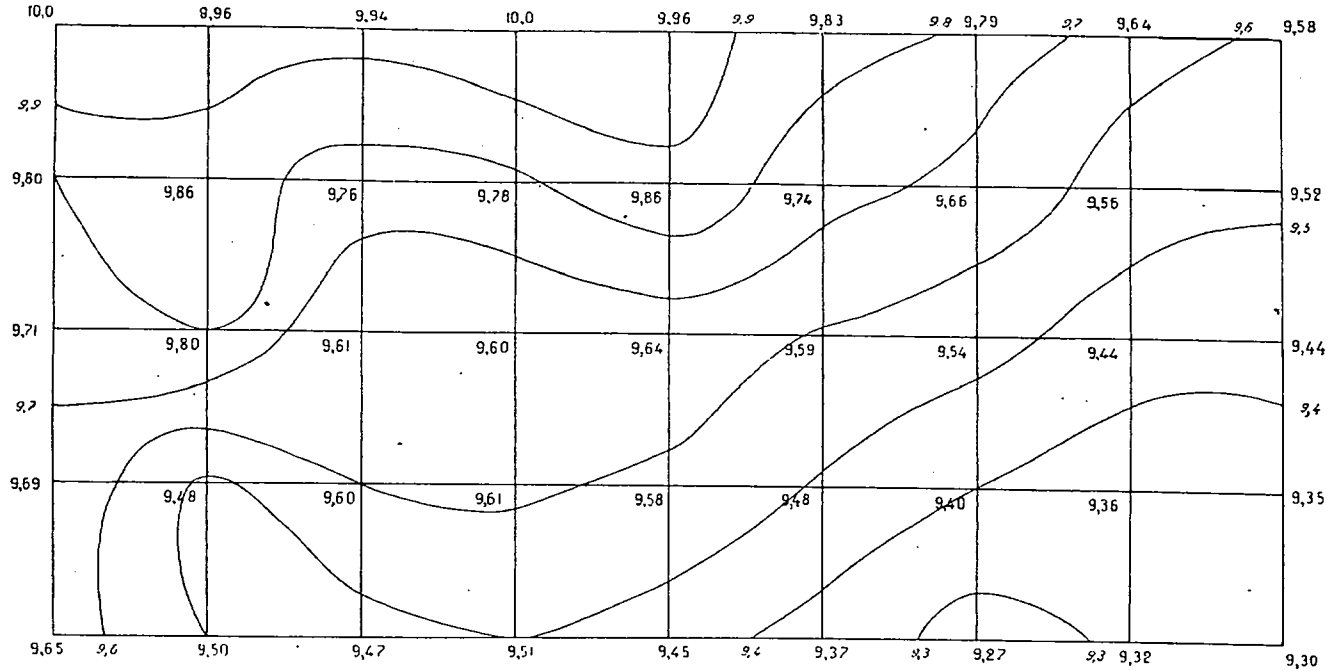
т. е. *на сторонѣ каждаго квадрата суммы накрестъ лежащихъ взглядовъ должны быть равны между собою.*

Абрисъ—журналъ нивеллированія поверхности луга.

Задача: По данному журналу выразить рельефъ поверхности горизонталями, проводя сѣченіе черезъ $^1/_{10}$ сажени.

A. (h_A=.....)	(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)		(7)		*B.*
	0.538	0.576	0.622	0.644	0.607	0.545	0.544	0.586	0.631	0.758	0.627	0.675	0.589	0.736	0.615	0.676	
	1.		2.		3.		4.		5.		6.		7.		8.		
	0.740	0.678	0.729	0.833	0.792	0.772	0.772	0.666	0.715	0.853	0.720	0.807	0.722	0.817	*F* 0.694	0.730	
(20)	0.646	0.582	*E*	*I*	0.622	0.603	*L*	*N*	0.507	0.643	*Q*	*S*	0.576	0.673	0.612	0.651	(8)
	20.				21.				23.				25.		9.		
	0.734	0.645	*V*	*W*	0.782	0.789	*X*	*Y*	0.746	0.800	*Z*	*U*	0.692	0.792	*O* 0.734	0.735	
(19)	0.675	0.588			0.680	0.691			0.607	0.662			0.560	0.660	0.675	0.673	(9)
	19.				22.				24.				26.		10.		
	0.688	0.908	*H*	*K*	0.685	0.666	*M*	*P*	0.668	0.770	*R*	*T*	0.702	0.746	*G* 0.760	0.762	
(18)	0.640	0.856	0.688	0.569	0.698	0.682	0.625	0.654	0.598	0.701	0.523	0.604	0.660	0.703	0.641	0.639	(10)
	18.		17.		16.		15.		14.		13.		12.		11.		
	0.680	0.828	0.659	0.696	0.820	0.778	0.720	0.776	0.717	0.796	0.620	0.724	0.782	0.731	0.672	0.685	
D.			(17)		(16)		(15)		(14)		(13)		(12)		(11)		*C.*

По данной начальной отмѣткѣ точки *A*, высчитать отмѣтки: 1) *всѣхъ точекъ* внѣшняго кольца *A.B.C.D.A.* (23-хъ точекъ) и этотъ замкнутый ходъ увязать; 2) высчитать по отмѣткѣ точки *A.* отмѣтку точки *E*; 3) по отмѣткѣ точки *E* высчитать отмѣтки внутренняго кольца *E. I. L. N. Q. S. F. O. G. T. R. P. M. K. H. V. E.* и увязать этотъ ходъ; 4) высчитать и увязать ходы: *I. W. K.*; *L. X. M.*; *N. Y. P.*; *Q. Z. R.*; *S. U. T.*


10,0
8,96
9,94
10,0
9,96
9,83
9,79
9,64
9,58
9,80
9,86
9,76
9,78
9,86
9,74
9,66
9,56
9,52
9,71
9,80
9,61
9,60
9,64
9,59
9,54
9,44
9,44
9,69
9,48
9,60
9,61
9,58
9,48
9,40
9,36
9,35
9,65
9,50
9,47
9,51
9,45
9,37
9,27
9,32
9,30

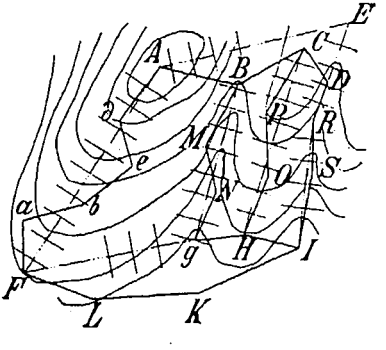
Черт. 320.

По окончаніи полевой работы, дома заготовляютъ въ крупномъ масштабѣ копію съ сѣтки квадратовъ, даютъ точкѣ *A* отмѣтку (произвольную), напр. 20,000 или связываютъ ее съ репероmъ, и по отмѣткѣ точки *A* вычисляютъ отмѣтки точекъ *A*, *B*, *E*,... *x*,... *N*,... *c''*, *c*,... *M*... *x'*... *P*... *W*, *D*, *A*. Увязавъ внѣшнее кольцо, находятъ отмѣтку точки *C*.

Отъ точки *C* идутъ вычисленіемъ по внутреннему сомкнутому ходу *CF*... *e*... *b''b*... *h*... *c'ZC* и его увязываютъ. Послѣ увязки внутренняго кольца, когда высчитаны отмѣтки его точекъ, начинаютъ вычислять отмѣтки точекъ вдоль вертикальныхъ прямыхъ, проходящихъ черезъ вершины 1) *F* и *b'*, 2) черезъ *a'*, 3) черезъ *e*, *d*, *O*, *g*, *h*, 4) черезъ *a''* и *a* и наконецъ послѣдній 5) черезъ *b''* и *b*. Очевидно, что всѣ хода по вертикальнымъ прямымъ должны быть увязаны *между двумя реперами*, отмѣтки которыхъ получились вычисленіемъ по внутреннему кольцу, такъ, напримѣръ, ходъ *edOgh* начинается съ отмѣтки точки *e* и вычисленіемъ заканчивается отмѣткою точки *h*. Оказавшуюся разницу для отмѣтки точки *h* разлагаютъ на отмѣтки точекъ *d*, *O* и *g*. Какъ примѣръ предлагаемъ слѣдующій *абрисъ-журналъ* нивеллированія поверхностей луга (см. стр. 313).

Надписавъ отмѣтки при вершинахъ квадратовъ на копіи сѣтки, построенной въ крупномъ масштабѣ, приступаютъ къ отысканію и проведенію кривыхъ линій, имѣющихъ во всѣхъ своихъ точкахъ одинаковыя отмѣтки (такъ называемыхъ горизонталей), такъ, напр., сперва ищутъ кривую, отмѣтки точекъ которой были бы 10,000, затѣмъ проводятъ кривую отмѣтокъ 9,9 саж., послѣ того 9,8 саж. и т. д. (черт. 320). Болѣе подробно о проведеніи кривыхъ одной и той же высоты мы остановимся въ статьѣ „о проведеніи горизонталей по плану".

Во второмъ случаѣ, когда на данномъ участкѣ приходится встрѣчать *крутые склоны*, работа располагается слѣдующимъ образомъ: 1) По наиболѣе высокой части участка *ABCDE* (черт. 321) пролагаютъ сомкнутый нивеллирный ходъ, измѣряя длины *AB*, *BC*, *CD*, *DE* и *EA* и углы поворотовъ *A*, *B*, *C*, *D* и *E*, притомъ ходъ прокладывается такъ, чтобы онъ связалъ нивеллировкою вершины *A* и *C* хребтовъ *AF* и *CH* и высшія точки *B* и *E* ущелій *BK* и *EI*. 2) Внизу, подъ горою, у ея подножія связываютъ наиболѣе низкія точки участка, а именно *L*, *F*, *g*, *H*, *I*,—такъ-



Черт. 321.

же сомкнутымъ полигономъ. Послѣ этого стремятся связать по *наиболѣе отлогому ущелью gNMB* точки *g* и *B* съ помощію разомкнутаго полигона, пройденнаго нивеллировкой впередъ и назадъ. Такіе же разомкнутые полигоны прокладываютъ и по склонамъ *AF* и *CH*, а также по лощинѣ *EI*. Одновременно съ продольною нивеллировкою ведутъ и поперечную.

Вычисленіе отмѣтокъ начинаютъ съ наиболѣе низкой точки, напр., съ точки *K*. Пусть ея отмѣтка *K* дана, тогда по ней вычисляютъ отмѣтки точекъ *L*, *F*, *g*, *H*, *I* по второму сомкнутому ходу. Послѣ этого, имѣя отмѣтку точки *g*, находятъ отмѣтки точекъ *N*, *M* и *B*. По отмѣткѣ точки *B* вычисляютъ отмѣтки вершинъ верхняго полигона. Несомкнутые хода *AB*, *CH* и *DI* увязываютъ по реперамъ *A* и *F*, *C* и *H*, *D* и *I*. Если бы мѣстность не имѣла рѣзкихъ (крутыхъ) склоновъ, то можно было бы ограничиться проложеніемъ сомкнутаго хода *FABgHCDIKLF* въ связи съ поперечными къ нему ходами.

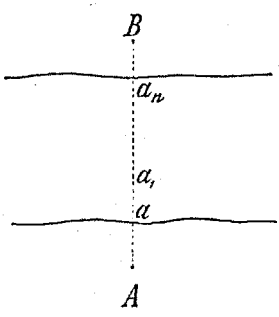
§ 206. Нивеллированіе рѣки. Нивеллированіе рѣки бываетъ двухъ родовъ: 1) съ цѣлью полученія *живого сѣченія* въ данномъ мѣстѣ, т. е. поперечнаго профиля ея дна и береговъ (для опредѣленія формы русла) и 2) для нахожденія уклона уровня ея воды.

Пріемы опредѣленія формы русла рѣки зависитъ отъ ея ширины. Если рѣчка не широка и по глубинѣ не значительна, то съ одного ея берега на другой перебрасываютъ канатъ (или доску). Притомъ, такъ какъ уровень воды въ рѣкѣ горизонталенъ только по направленію перпендикулярному къ ея теченію, то направленіе каната должно быть перпендикулярно къ берегамъ. На канатъ черезъ равные промежутки 2—3 сажени привязываются кожанные ярлыки съ номерами. Направляясь на лодкѣ вдоль каната, у каждаго ярлыка опускаютъ рейку, устроенную изъ газовой трубы съ тяжестію на концѣ (наметка), и по наметкѣ читаютъ глубину рѣки до горизонта ея водъ. Записавъ глубину при соотвѣтствующихъ номерахъ въ журналѣ, дома вычерчиваютъ форму живого сѣченія. Для этого берутъ прямую и на ней откладываютъ горизонтальныя разстоянія между кожаными ярлыками въ какомъ-либо масштабѣ. Изъ точекъ отложенія, внизъ отъ прочерченной линіи возставляютъ перпендикуляры. На перпендикулярахъ откладываютъ соотвѣтствующія глубины и соединяютъ концы этихъ перпендикуляровъ непрерывною чертою, чрезъ что и получаютъ желаемый профиль—живое сѣченіе.

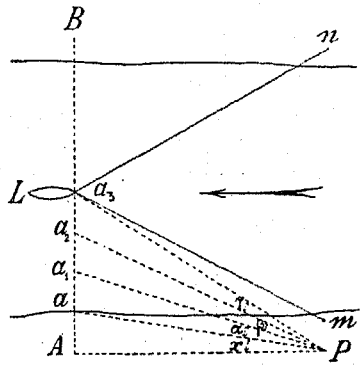
Для широкихъ рѣкъ наиболѣе удобнымъ временемъ года для опредѣленія формы русла считается зима, чрезъ рѣку по льду провѣшиваютъ линію $Aaa_1 \ldots a_n B$ (черт. 322), перпендикулярную къ берегамъ; по направленію этой линіи просверливаютъ ледъ на равныхъ разстояніяхъ и измѣ-

ряютъ глубину рѣки [1]). Послѣ чего оба берега нивеллируются до того мѣста, куда доходитъ вода въ большіе разливы; составленный по полученнымъ даннымъ профиль представитъ живое сѣченіе.

Лѣтомъ для достиженія той же цѣли поступаютъ иначе; а именно, при ширинѣ рѣки меньше 300 саж., при быстромъ теченіи, натягиваютъ воротомъ черезъ поверхность воды по направленію линіи $A\,a\,a_1 \ldots\, a_n\, B$ (черт. 323) канатъ съ узлами на опредѣленныхъ разстояніяхъ и, подъѣзжая на лодкѣ къ каждому узлу, измѣряютъ глубину рѣки. Чтобы канатъ по тяжести своей не тонулъ, его поддерживаютъ лодками по крайней мѣрѣ чрезъ каждыя 50 саж. Лодки держатся неподвижно на якоряхъ или сваяхъ. При ширинѣ рѣки большей 300 саж. укрѣпляютъ на якоряхъ по среди-



Черт. 322.



Черт. 323.

нѣ ея барку, а между нею и берегами—лодки на взаимныхъ разстояніяхъ около 10 саж.; протягиваютъ по данному направленію канатъ и поступаютъ по предыдущему.

Другой пріемъ состоитъ въ томъ, что на одномъ изъ береговъ рѣки измѣряютъ базисъ AP (черт. 323), приблизительно перпендикулярный къ AB и—равный ширинѣ рѣки, а также измѣряютъ при точкѣ A уголъ BAP. Послѣ этого одинъ изъ съемщиковъ съ зрительною трубою становится въ A, а другой съ угломѣрнымъ инструментомъ въ P и, направивъ трубу инструмента на A, дѣлаетъ отсчетъ на лимбѣ. Затѣмъ съемщикъ въ B даетъ знакъ установить лодку въ створѣ AB, напр., въ точкѣ a. Когда съемщикъ

[1]) Это дѣлается или наметкою, или лотомъ, который представляетъ собою гирю, привязанную къ концу веревки. Вслѣдствіе теченія рѣки и присутствія въ ней мелкаго зернистаго льда, подъ сплошною его массою, лотъ можетъ быть отнесенъ по теченію или задержанъ, а потому вѣсъ гири долженъ быть значительный (напр., два пуда, при глубинѣ 5 саж.). Если надо опредѣлить также и качество грунта, то въ основаніи гири дѣлается углубленіе, заливаемое саломъ.

въ A даетъ знакъ, что лодка находится въ створѣ AB, рабочій опускаетъ наметку, а съемщикъ въ P, направляя трубу инструмента на наметку, отсчитываетъ уголъ x. Въ a измѣряется глубина. Послѣдующія глубины въ a_1, a_2, a_3.... измѣряются съ лодки L, которая удерживается на линіи AB съемщикомъ A. При измѣреніи глубинъ съемщикъ P поворачиваетъ алидаду инструмента и послѣдовательно опредѣляетъ углы α, β, γ,... Чтобы устанавливать лодку въ надлежащихъ точкахъ, необходимы или два якоря, или два столба m и n, къ которымъ привязаны канаты; ослабляя одинъ изъ нихъ и натягивая другой, можно передвинуть лодку по указанію съемщиковъ. Длина каждаго изъ канатовъ должна быть, разумѣется, болѣе ширины рѣки, а потому для перетягиванія ихъ иногда нужны на носу лодки два ворота.

Опредѣленіе уклона рѣки [1]). Начальную и конечную точку при нивеллировкѣ урѣза воды стремятся отнести *къ одному и тому же уровню воды*. Зная отмѣтки этихъ двухъ точекъ, достаточно разность отмѣтокъ начальной и конечной точки продольной (вдоль берега рѣки) нивеллировки раздѣлить на горизонтальное разстояніе между ними, чтобы получить уклонъ рѣки. Поэтому если допустить, что уровень воды въ рѣкѣ остается все время безъ измѣненія, то опредѣленія уклона рѣки лучше всего можно было бы достигнуть нивеллировкою поверхности ея воды, *располагая нивеллирный ходъ по берегу*, по возможности параллельно линіи теченія рѣки. При этомъ можно было бы забивать пикетажные колья, начиная отъ того мѣста, съ котораго желаютъ опредѣлить уклонъ, черезъ каждыя 25—50 саженъ или же на иныхъ разстояніяхъ, болѣе подходящихъ къ строенію откосовъ берега; на колья урѣза воды можно было бы ставить рейки, наблюдая, чтобы вода касалась пятокъ рейки.

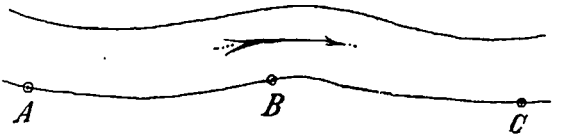
Сдѣланныхъ по рейкамъ взглядовъ и измѣренныхъ между ними разстояній вполнѣ было бы достаточно для опредѣленія паденія и уклона рѣки. Въ небольшихъ рѣчкахъ, ручьяхъ и каналахъ (водотокахъ) можно было бы рейки ставить прямо на дно по серединѣ ложа водотека, и въ зрительную трубу, по рейкамъ читать высоту горизонтальнаго луча зрѣнія, а непосредственно (по рейкамъ) еще и высоту горизонта воды. Чрезъ это одновременно опредѣлились бы уклоны дна и поверхности воды.

Представимъ теперь себѣ, что *уровень воды въ рѣкѣ не остается постояннымъ, а постепенно повышается (или понижается)*, такъ какъ прибыль воды въ рѣкѣ не соотвѣтствуетъ ея расходу. Такого рода неравномѣрный расходъ въ количествѣ воды можетъ породить явленіе, сходное или съ подпоромъ

---

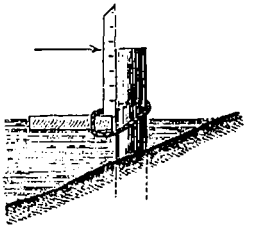
[1]) Лучше всего производить при слабыхъ уклонахъ при помощи *точной* нивеллировки, напр. по способу *Зейбта* (см. „Извѣстія собранія инженеровъ путей сообщенія", 1901 годъ, №№ 9 и 10).

воды запрудою, или пониженіе горизонта воды отъ открытія шлюзъ, а нивеллированіе измѣняющагося уровня воды въ рѣкѣ, въ эти моменты, могло бы привести къ ложному заключенію, а именно, что уклонъ рѣки противоположенъ дѣйствительному ея уклону. Такое заключеніе можетъ произойти при нивеллированіи рѣки внизъ по теченію при повышающемся горизонтѣ (подпоръ воды), а также при нивеллированіи вверхъ по рѣкѣ во время пониженія уровня воды (спадъ воды въ открытый шлюзъ). Подпоръ и спадъ воды равносильны подъему и опусканію пятки рейки во время нивеллировки, такъ какъ пятка рейки должна касаться воды. Вслѣдствіе этого нивеллированіе воды въ рѣкѣ должно быть отнесено на всемъ нивеллируемомъ участкѣ *къ одному и тому же ея уровню въ одинъ и тотъ же заранѣе опредѣленный моментъ*, а въ случаѣ, если одновременныхъ наблюденій уровня воды въ рѣкѣ *въ различныхъ ея пунктахъ* невозможно произвести, то послѣдовательно произведенныя наблюденія слѣдуетъ путемъ вычисленія привести къ одному и тому же моменту времени. Для одновременныхъ наблюденій уровня воды въ рѣкѣ на нивеллируемомъ участкѣ забиваютъ рядъ кольевъ *A*, *B*, *C* (черт. 324) на разстояніи отъ 1 до 2 верстъ другъ отъ друга; каждый изъ наблюда-



Черт. 324.

телей забиваетъ свой колъ такъ, чтобы въ условленный моментъ (по часамъ, свѣреннымъ съ часами другихъ наблюдателей или по сигналу, напр., по выстрѣлу), верхушка кола была или въ уровень съ водою (тогда рядомъ съ нимъ для видимости наблюдатель загоняетъ другой, болѣе высокій колъ), или же верхушка кола оставляется на значительной высотѣ надъ водою и на ней дѣлается замѣтка (напр. зарубка ножемъ) въ условленный моментъ, показывающая высоту горизонта воды. Вмѣсто зарубокъ можно сдѣлать одновременно измѣреніе высотъ верхушекъ кольевъ надъ водою. Лучше всего дѣлать такое измѣреніе помощію поплавка (черт. 325), состоящаго изъ дощечки съ дѣленіями, съ веревочною петлею, надѣваемой на колъ.



Черт. 325.

Наблюденіе высоты воды на забитыхъ кольяхъ дѣлается или до нивеллировки ихъ верхушекъ, или послѣ нея, *но всегда въ одинъ и тотъ же моментъ времени*: тогда по отмѣткамъ верхушекъ

кольевъ A, B, C, полученнымъ изъ нивеллировки, и измѣреннымъ высотамъ кольевъ надъ водою, опредѣлятся отмѣтки уровня воды у кольевъ A, B, C, а по нимъ и превышенія h_1 и h_2 уровня воды у кола A надъ B и у кола B надъ—C. По построенному на бумагѣ нивеллирному ходу можно *измѣрить разстоянія* AB и BC, а слѣдовательно найти уклоны рѣки

$$p_1 = \frac{h_1}{AB}, \quad p_2 = \frac{h_2}{BC} \quad \text{и} \quad p = \frac{1}{2}(p_1 + p_2).$$

Самое нивеллированіе между реперами A и B, а также B и C дѣлается два раза: впередъ и назадъ обычнымъ пріемомъ продольной нивеллировки, безъ разбивки закругленій по ея оси.

Въ случаѣ недостатка въ числѣ наблюдателей, однако, когда ихъ не менѣе двухъ, возможно наблюдать высоту воды сперва, напр., на кольяхъ A и B, а затѣмъ на B и C, и при посредствѣ двойного наблюденія высоты воды на колѣ B можно опредѣлить одновременную высоты воды на колѣ C и на колѣ A: для этого, разумѣется, достаточно въ наблюденную высоту воды кола C ввести съ соотвѣтствующимъ знакомъ *разность двухъ наблюденныхъ высотъ воды на колѣ B*.

При наличности только одного наблюдателя необходимо: 1) допустить гипотезу, что измѣненіе высоты уровня воды въ рѣкѣ совершается пропорціонально времени и для удобства вычисленія, а также для допущенія существованія гипотезы на возможно меньшій промежутокъ времени 2) требовать, чтобы на наблюденія высоты воды на всѣхъ забитыхъ кольяхъ и на проходъ отъ кола до кола тратилось столько же времени при обратномъ ходѣ [1]), сколько и при прямомъ ходѣ; тогда среднее изъ двухъ наблюденій для каждаго кола можно считать отнесеннымъ къ одному и тому же моменту времени, а именно считать его отнесеннымъ къ уровню воды, въ средній моментъ промежутка времени, потраченнаго на наблюденія и прохожденіе прямого и обратнаго хода.

Пусть, напримѣръ, на колѣ i первое наблюденіе было сдѣлано въ моментъ t_i, а второе въ t'_i, измѣненіе высоты уровня воды за единицу времени $= \pm q$, начальная высота уровня воды въ моментъ t_i пусть была s, тогда

$$s + q\frac{t'_i - t_i}{2}$$

даетъ высоту уровня воды на колѣ i въ моментъ времени $= \frac{1}{2}(t_i + t'_i)$. Къ этому же моменту времени будутъ отнесены и наблюденія на прочихъ кольяхъ.

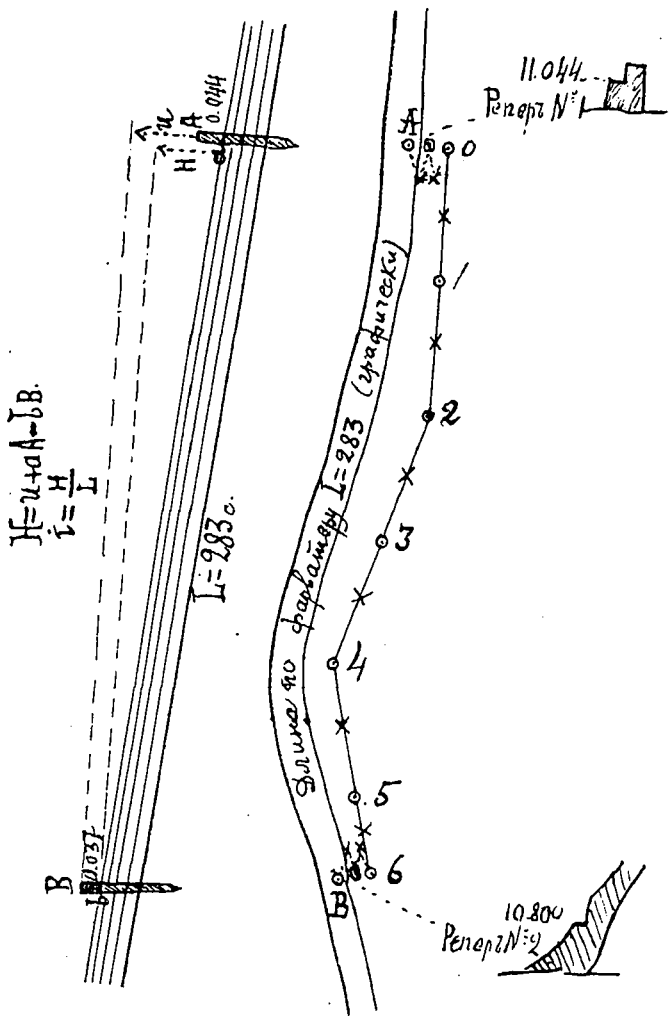
---

[1]) Сдѣланномъ *немедленно* послѣ прямого.

Самыя наблюденія, какъ уже сказано, на стр. 320 нужно дѣлать однимъ и тѣмъ же переноснымъ поплавкомъ во

Эскизъ къ примѣру опредѣленія уклона рѣки

по двумъ **одновременно** забитымъ кольямъ.



Черт. 323.

Примѣчаніе. Колья *A* и *B* одновременно забиты на разстояніи 0.2 с. отъ берега. Репера взяты на случай опредѣленія уклона при другихъ горизонтахъ воды въ рѣкѣ (чтобы не дѣлать вторично нивеллировку по берегу. Крестиками обозначены мѣста постановки нивеллира).

Числовой примѣръ сложнаго нивеллированія прямымъ и обратнымъ ходами глухимъ нивеллиромъ [1]) съ обработкой журнала методомъ „повышеній и пониженій“.

Точки.	Разстоянія.	Взглядъ (въ тысячн. долях. саж.) Задн.	Взглядъ (въ тысячн. долях. саж.) Перед	Разности уровней. Повыш. +	Разности уровней. Пониж. —	Средняя разности урав. изъ прям. и обрат. ход.	Условія отмѣтки.
A		1339					10.000
Репер. № 1.	3		295	+ 1044		+ 1044	11.044
Репер. № 1.		1107					
Пикет. № 0.	7		411	+ 696		+ 695,5	11.739,5
0		817					
1	50		170	+ 647		+ 647	12.386,5
1		423					
2	50		451		— 028	— 028	12.358,5
2		113					
3	50		681		— 568	— 568	11.790,5
3		794					
4	50		270	+ 524		+ 524	12.314,5
4		813					
5	50		1641		— 828	— 827	11.487,5
5		1383					
6	30		541	+ 842		+ 842	12.329,5
6		214					
Репер. № 2.	7		1744		— 1530	— 1529,5	10.800
Репер. № 2.		678					
B	2		1335		— 657	— 657	10.143
Контроль		7681	7539	+ 3753	— 3611	+ 143	10.143
		7539		— 3611			10.000
		+ 142		+ 142			+ 143

Примѣчанія.

Примѣръ взятъ изъ работы по опредѣленію уклона рѣки во время половодья.

A и *B* — колья, забитые около берега, съ затесанными гранями, на которыхъ, въ одно и то же время, сдѣланы, на уровнѣ воды, карандашемъ мѣтки *a* и *b*.

Разстоянія этихъ мѣтокъ отъ верхушекъ кольевъ оказались:

$$aA = 0.044;$$

$$bB = 0.037.$$

Реперами служатъ площадки ступенекъ, вышленныхъ на шняхъ противъ кольевъ (см. схематическій чертежъ).

Разность уровней точекъ *B* и *A*

$$u = 0.143.$$

Обратный ходъ.

B		1335					
Репер. № 2.			678	+ 657			
Репер. № 2.		1744					
6			215	+ 1529			
6		205					
5			1047		— 842		
5		1034					
4			208	+ 826			
4		320					
3			844		— 524		
3		700					
2			132	+ 568			
2		401					
1			373	+ 028			
1		180					
0			827		— 647		
0		433					
Репер. № 1.			1128		— 695		
Репер. № 1.		396					
A			1440		— 1044		
Контроль		6748	—6892	+ 3608	— 3752		
		—6892		— 3752			
		— 144		— 144			
При прямомъ ходѣ.				+ 142			
Невязка.				002			

Паденіе рѣки между точками *B* и *A*

$$H = u + aA - bB = 0.143 + 0.044 - - 0.037 = 0.150.$$

Соотвѣтствующая этому паденію длина по фарватеру

$$L = 283 \text{ (по плану).}$$

Уклонъ

$$i = \frac{H}{L} = \frac{0.150}{283} = 0.00053.$$

[1]) Примѣръ заимствованъ изъ работъ *А. Н. Ширяева* по гидро-техническимъ изысканіямъ.

избѣжаніе ошибокъ отъ (смачиванія) прилипанія воды къ шкалѣ, непосредственно погруженной въ воду.

II-ой примѣръ. Пусть въ точкѣ *A* (черт. 321) забитъ колъ въ уровень съ водою въ 8 часовъ утра, и нивеллировкою верхушку кола связали съ репером, пришли въ *B* въ 10 часовъ дня и сдѣлали на колѣ *B* замѣтку урѣза воды, связали колъ съ репером и вернулись въ *A* въ 12 часовъ, здѣсь сдѣлали на колѣ новую замѣтку выше первой на величину h_a, вторично въ *B* были въ 2 часа дня, въ *C* были въ 4 часа дня и также вбили здѣсь колъ въ уровень съ горизонтомъ воды. Въ *B* вернулись въ 6 часовъ вечера и на колѣ сдѣлали вторую замѣтку, стоящую выше первой на величину h_b. Слѣдовательно, за единицу времени вода прибывала на величину $h_a : 4 = q$. Въ точкѣ *B* въ 10 часовъ *горизонтъ былъ выше*, чѣмъ онъ былъ бы въ 8 часовъ утра, на величину $q \times 2$. Поэтому, идя по берегу нивеллировкою отъ репера до репера ставя рейку на колъ *B* въ 10 часовъ, мы дѣлали отсчетъ по рейкѣ меньшій, чѣмъ слѣдовало, на величину $2q$, ибо вода, а слѣдовательно и подошва рейки стояли выше. Вводя величину $2q$ съ знакомъ + въ отсчетъ по рейкѣ и вычисляя по журналу отмѣтку точки *B*, мы получимъ вѣрный уклонъ p_1 промежутка *AB*. Также точно придется поступать при опредѣленіи уклона между кольями *B* и *C*.

Когда окажется, что рѣка имѣетъ разные уклоны на обоихъ берегахъ, то среднее изъ опредѣленныхъ уклоновъ можно считать за уклонъ средины рѣки. Примѣромъ малаго уклона рѣки можетъ служить уклонъ Москвы-рѣки между городами Москвою и Коломною, гдѣ онъ равенъ почти 0,0001 [1]).

Уклоны *Волги* различны: отъ 0,00008 до 0,00032.

„ *Нѣмана* отъ Гродно до Ковно почти 0,0003.

„ *Невы* въ Петербургѣ—0,000014.

„ *Сены*—0,00004 (между Руаномъ и Гавромъ).

„ *Бьялой*—отъ 0,00007 до 0,00060.

§ **207. Нивеллированіе дна стоячихъ водъ** пруда, озера и части моря удобнѣе всего дѣлать зимою по льду; оно состоитъ въ томъ, что по плану, составленному для береговъ и урѣза воды, намѣчаютъ направленія, по которымъ производятъ промѣры глубинъ дна водохранилища на подобіе того, какъ это дѣлалось для опредѣленія живого сѣченія рѣки. Для пруда и небольшого озера лѣтомъ разбиваютъ на берегу два пересѣкающихся, лучше взаимно перпенди-

---

[1]) Если бы поднимался вопросъ о томъ,—*какой высоты плотину* въ точкѣ *B* (черт. 321) можно поставить, при условіи, что подпруженая вода, принимающая горизонтальное направленіе, *не* затопитъ точку *A*, то, *приближенно* рѣшая вопросъ, можно было бы сказать,—не выше разности отмѣтокъ точекъ *A* и *B*. Болѣе точно задача эта рѣшается въ гидравликѣ.

кулярныхъ направленія, на которыхъ отмѣряютъ равныя между собою разстоянія. Черезъ точки отложенія одной прямой на планѣ проводятъ линіи, параллельныя другой. На мѣстности дѣлаютъ промѣры съ лодки, устанавливаемой послѣдовательно въ точкахъ пересѣченія параллелей, а на планѣ записываются результаты при соотвѣтствующихъ точкахъ. Для большихъ озеръ и моря по плану намѣчаютъ рядъ магистралей, по которымъ впослѣдствіи будутъ дѣлаться промѣры глубинъ. На мѣстности, на берегу, направленіе каждой магистрали обозначается парою вѣхъ, по створу которыхъ направляется лодка. Конечныя точки магистралей, а также и нѣкоторыя промежуточныя точки, опредѣляются засѣчками при помощи угломѣрныхъ инструментовъ (см. черт. 319 и 320). По направленію каждой магистрали съ лодки черезъ каждые 20—30 гребковъ (ударовъ веслами) производится промѣръ глубины дна; причемъ не всѣ точки стоянія лодки замѣчаются инструментомъ, а лишь тѣ, которыя соотвѣтствуютъ 5, 10, 15, 20-му промѣру; онѣ замѣчаются тѣмъ, что въ нихъ съ лодки выкидываютъ флагъ, и положеніе его опредѣляется съ берега засѣчкою. Нанеся на планъ точки засѣчекъ по магистрали, дѣлятъ промежутки между засѣченными точками на равныя части по числу произведенныхъ между ними промѣровъ.

Объемъ стоячей жидкости (воды, нефти) *въ нивеллированномъ по квадратамъ пруду* опредѣляется какъ сумма объемовъ [1]) многогранниковъ, ограниченныхъ съ боковъ вертикальными плоскостями, сверху—уровнемъ воды, а снизу—соотвѣтствующей частью дна. Если въ 4 вершинахъ квадрата со стороною a глубины дна равны соотвѣтственно m, n, p, q, то объемъ v многогранника, сходнаго съ параллелепипедомъ, будетъ

$$v = \frac{m+n+p+q}{4} \cdot a^2 \text{ [2])}.$$

Тахеометрія.

§ 208. Общее понятіе. *Тахеометрія* [3]) (или тахиметрія) есть одинъ изъ видовъ вертикальной съемки, состоящій въ опредѣленіи разности высотъ двухъ точекъ съ помощію *наклоннаго луча зрѣнія*, по *быстро* опредѣленному разстоянію между ними и углу наклоненія луча къ горизонту. Особенность тахеометріи состоитъ въ томъ, что *однимъ* и тѣмъ же инструментомъ, при томъ *однимъ* визированіемъ на пикетъ со станціи опредѣляется положеніе пикета по высотѣ, азимуту и разстоянію.

---

[1]) Вычисленіе объемовъ земли см. въ полномъ курсѣ, а проведеніе горизонталей по отмѣткамъ—въ отдѣлѣ о тахеометріи.

[2]) Формула эта выводится, допуская, что поверхность дна пруда есть косая плоскость.

[3]) Скоронзмѣреніе.

Тахеометрію, въ которой разстоянія помимо дальномѣра получаются *графически* съ плана съемки, называютъ иногда *тахеографометріею.*

Приборы, служащіе для опредѣленія высоты предмета называются *высотомѣрами;* приборы, предназначенные для опредѣленія азимутовъ—*буссолями* и наконецъ приборы, служащіе для быстраго опредѣленія разстоянія, носятъ названія *дальномѣровъ.*

Такимъ образомъ заранѣе можно сказать, что приборъ, предназначенный для тахеометріи, долженъ быть снабженъ дальномѣромъ, высотомѣромъ и буссолью. Мы уже останавливали наше вниманіе на ознакомленіи съ буссолями и съ *дальномѣрами,* — безъ знанія дальномѣровъ изученіе тахеометріи было бы немыслимо. Теперь же перейдемъ къ ознакомленію съ *высотомѣрами.*

§ **209. О высотомѣрахъ.** Возможность опредѣлять съ помощью сектора или вертикальнаго круга относительныя высоты двухъ данныхъ точекъ, (см. главу о нивеллированіи, § 191, стр. 284) послужила поводомъ называть эклиметръ, секторъ, вертикальный кругъ и вообще приборы, допускающіе опредѣленіе съ ихъ помощью относительныхъ высотъ данныхъ точекъ,—*высотомѣрами.*

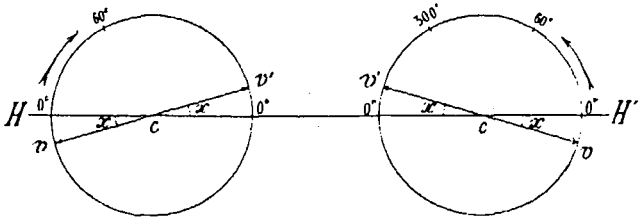
Высотомѣры рѣдко являются самостоятельными приборами, по большей же части они составляютъ приспособленіе къ визирному снаряду теодолита.

Высотомѣръ съ зрительною трубою представляетъ собой или полный вертикальный кругъ или часть круга въ видѣ сектора, причемъ при трубѣ (или при неподвижной алидадѣ вертикальнаго круга) иногда помѣщается цилиндрическій уровень.

Пусть высотомѣръ представляетъ собою полный, подвижный вмѣстѣ съ трубою, вертикальный кругъ и неподвижную алидаду съ прикрѣпленнымъ къ ней уровнемъ (черт. 196 и 193) *или уровнемъ, прикрѣпленнымъ къ подставкѣ трубы* (черт. 196).

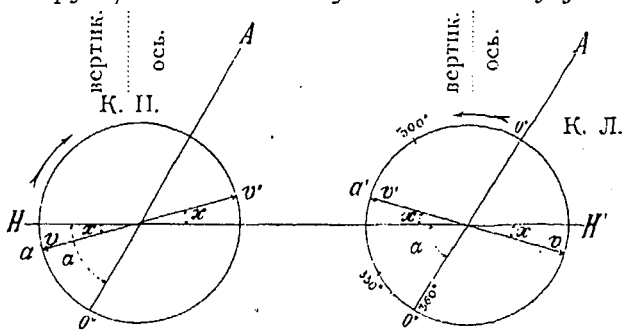
Разберемъ случай, когда кругъ раздѣленъ на 4 квадранта; каждый квадрантъ подраздѣленъ лишь по дугѣ въ 60°. Подпись дѣленій идетъ отъ обоихъ концовъ горизонтальнаго діаметра, при которомъ стоятъ верньеры. Если смотрѣть на инструментъ *при кругѣ право,* то верхній лѣвый и правый нижній квадранты имѣютъ надписи отъ 0° до 60° по ходу часовой стрѣлки, а лѣвый нижній и правый верхній квадранты имѣютъ подписи также по ходу часовой стрѣлки, но отъ 300° до 360° (или иначе до 0°). Такимъ образомъ верхняя половина круга, надъ діаметромъ, имѣетъ подпись 0°—60° и далѣе 300°—360°, а нижняя половина, подъ діаметромъ, налѣво—(360°—300°) и направо—(60°—0°). Благодаря такой надписи, когда *діаметрально противоположныя точки круга подписаны одинаково,* по обоимъ верньерамъ всегда прочитывается одно и то же число гра-

дусовъ, при этомъ при К. П. углы повышенія читаются между 0° и 60°, а углы пониженія отъ 300° до 360°, т. е. вмѣсто угловъ пониженія читается ихъ дополненіе до 360°. При К. Л. углы пониженія будутъ читаться отъ 0° до 60°. (Черт. 324) а углы повышенія—между 300° и 360°, т. е. не самые углы, а ихъ дополненіе до 360°. Такимъ образомъ можно сказать, что если бы инструментъ былъ обсолютно вѣренъ, *то сумма отсчетовъ сдѣланныхъ при К. Пр. и Кр. Л.*



К. П. Черт. 324. К. Л.

(при наведеніи креста нитей на одинъ и тотъ же предметъ и при установкѣ передъ отсчетомъ по верньерамъ середины пузырька уровня алидады на середину трубки) *должна быть равна 360°*. Если же инструментъ *невѣренъ*, т. е. визирная ось трубы не параллельна оси уровня алидады, при совпаденіи нулей верньеровъ съ нулями вертикальнаго круга, то необходимо узнать величину угла *x*, обра-



Черт. 325.

зуемаго нулевымъ діаметромъ круга съ линіею нулей верньеровъ, при параллельности оси трубы и оси уровня или иначе мѣсто нуля.

Для отысканія мѣста нуля на вертикальномъ кругѣ, т. е. того отсчета по верньерамъ *v*, при которомъ оптическая ось трубы должна быть *параллельна оси уровня*, а въ частномъ случаѣ перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента, поступаютъ такъ: движеніемъ алидаднаго круга направляютъ трубу при К. П. на хорошо видимую точку *A* высокаго предмета (черт. 325), приводятъ

пузырекъ уровня, закрѣпленнаго при подставкѣ, подъемными винтами на средину [1]) и, установивъ пересѣченіе нитей на точку *A*, отсчитываютъ на вертикальномъ кругѣ (К. П.) показаніе *a* верньера *v*.

Затѣмъ переведемъ трубу черезъ зенитъ, и сдѣлаемъ отсчетъ *a'*, по вертикальному кругу при К. Л. (черт. 325 правый) отъ O^0 круга до нуля верньера, предварительно поставивъ пузырекъ уровня алидады на середину.

Обозначая $a + 360 = K.\ П.$, а $a' = K.\ Л.$, убѣдимся на числахъ, что искомый уголъ наклоненія α равенъ полуразности отсчетовъ при кругѣ право и кругѣ лѣво или короче *„кругъ право минусъ кругъ лѣво, дѣленное пополамъ“*, а мѣсто нуля на лимбѣ будетъ равно полусуммѣ отсчетовъ при кругѣ право и при кругѣ лѣво, или короче *„кругъ право + кругъ лѣво, дѣленное пополамъ“*, т. е.

$$M.O. = \frac{K.\ П. + K.\ Л.}{2} \text{ и } \alpha = \frac{K.\ П. - K.\ Л.}{2}$$ а также, что

Уголъ наклоненія равенъ кругу право минусъ мѣсто нуля или мѣсто нуля минусъ кругъ лѣво.

Примѣры I) При *Кр. Пр.* отсчетъ $a_1 = 2^0\ 18'$, а при *К. Л.* отсчетъ $a_2 = 357^0\ 42'$, тогда *М. О.* $= 360^0$ или O^0 и $\alpha = +2^0\ 18'$.

II) $a_1 = 359^0\ 12'$ и $a_2 = O^0\ 40'$, мѣсто нуля

$$M.\ O. = \frac{O^0\ 40' + 360 + 359^0\ 12'}{2} = 359^0\ 56' \text{ (или } x = O^0\ 44')$$ и

$\alpha = K.\ П. - M.\ O. = 359^0\ 12' - 359^0\ 56' = -O^0\ 44'$: или $M.\ O. - Кр.\ Л. = \alpha = 359^0\ 56' - (O^0\ 40' + 360^0) = -O^0\ 44'$.

Чтобы обратить *М.О.* въ нуль, достаточно, высчитавъ истинное значеніе α, напр. при *Пр. Кр.* направить крестъ нитей трубы на предметъ, микрометреннымъ винтомъ при алидадѣ поставить *О* верньера на отсчетъ α, а затѣмъ, отпустивъ у уровня *закрѣпительный* винтъ, помѣщающійся на рычагѣ алидады, поставить пузырекъ уровня на середину трубки, и у уровня винтъ вновь закрѣпить. Если уровень имѣетъ двойной (слѣва и справа отъ рычага) исправительный винтъ, то исправленіе (постановка пузырька на середину трубки) дѣлается этими двумя винтами.

Примѣчаніе. Если установить аналогію между измѣреніемъ угловъ наклоненія вертикальнымъ кругомъ и измѣреніемъ горизонтальныхъ угловъ на лимбѣ, то, какъ извѣстно, для полученія горизонтальнаго угла необходимо дѣлать два послѣдовательныя наведенія на двѣ точки, опредѣляющія уголъ, и затѣмъ составить разность отсчетовъ (см. § 123 страница 138). Для угловъ наклоненія одинъ отсчетъ будетъ соотвѣтствовать наведенію на ту точку, уголъ наклоненія которой опредѣляется, а другой—горизонтальному положенію визирной оси трубы. Если подпись дѣленія круга идетъ отъ 0^0 до 360^0 слѣва направо (по ходу часовой стрѣлки) и вращается кругъ вмѣстѣ съ трубой, то, при *К. П.*, для того, чтобы *наведеніе дѣлать по направленію подписи дѣленій*, необходимо

[1]) Если уровень на алидадѣ, то микрометреннымъ винтомъ при алидадѣ (на черт. 196 см. справа, внизу у вертикальнаго круга).

при углахъ повышенія сперва сдѣлать запись, соотвѣтствующую *М. О.*, т. е. горизонтальному положенію оптической оси, а затѣмъ уже ея наклонному положенію, соотвѣтствующему наведенію на предметъ, и изъ 2-го отсчета вычесть первый. При *К. Л.* подпись пойдетъ въ противоположную сторону и запись, и вычитаніе придется дѣлать въ обратномъ порядкѣ.

Такимъ образомъ при *К. П.* уголъ наклона α по неизвѣстному *М. О.* и отсчету a_1 будетъ

$$\alpha = a_1 - M.\ O. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1),$$

и при *К. Л.* онъ найдется по отсчету a_2 какъ

$$\alpha = M.\ O. - a_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2).$$

По вычитаніи находимъ

$$O = a_1 - M.\ O. - M.\ O. + a_2$$

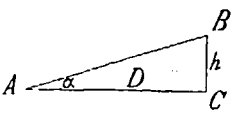
Откуда опредѣлится $M.\ O. = \frac{a_1 + a_2}{2}$ . . . . . (3).

т. е. *М. О.* равно полусуммѣ отсчетовъ при *К. П.* и при *К. Л.*

Само собою разумѣется, если опредѣляется абсолютная величина α по формулѣ (1) и по (2), то вычитаніе числовыхъ величинъ возможно только тогда, когда не упущено изъ вида, что нуль круга прошелъ черезъ нуль верньера, и числовая величина отсчета увеличена на 360^0. Когда *М. О.* почти равно нулю, то по (2) уголъ $\alpha = (M.\ O. + 360) - a_2$ и согласно равенства (3) получимъ $M.\ O. = \frac{a_1 + a_2 - 360}{2}$ ... (a). Если же *М. О.* близко къ 360^0, то по (1) уголъ $\alpha = a_1 + 360^0 - M.\ O.$ и потому по (3) $M.\ O. = \frac{a_1 + a_2 + 360}{2}$ ... (b). Такъ какъ, прибавляя 360^0 къ *М. О.*, мы *М. О.* не измѣнимъ, то формулу (a) преобразуемъ въ (b), если къ (a) прибавимъ 360^0.

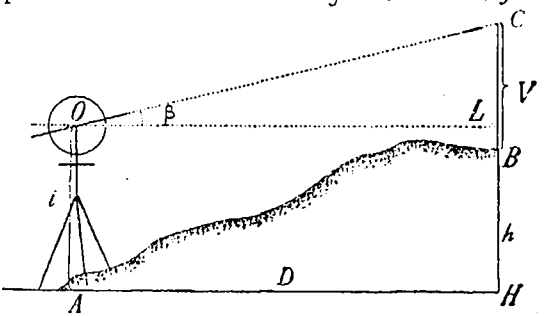
§ 210. Примѣненіе дальномѣра—высотомѣра къ вертикальной съемкѣ. Такъ какъ ближайшая цѣль вертикальной съемки заключается въ опредѣленіи относительныхъ высотъ точекъ земной поверхности, то дальномѣры—высотомѣры вполнѣ примѣнимы для вертикальной съемки, такъ какъ съ помощью ихъ легко опредѣляются разстояніе D и уголъ наклона α (черт. 326), по которымъ относительная высота h (или разность уровней) точки B надъ A опредѣляется по формулѣ

$$h = D tg \alpha \quad \ldots\ldots\ldots (h).$$



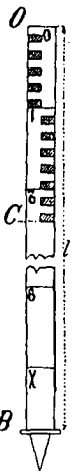
Черт. 326.

На практикѣ при отысканіи D и α поступаютъ слѣдующимъ образомъ: если AB (черт. 327) —данная линія мѣстности, то въ одномъ ея концѣ A устанавливаютъ дальномѣрную трубу съ высотомѣромъ (вертикальнымъ кругомъ), въ другой—B посылаютъ рабочаго съ рейкой, длина V которой извѣстна, (или заранѣе зарываютъ сигналъ—вѣху



Черт. 327.

извѣстной длины V). Разстояніе $D=AH$ опредѣляютъ дальномѣромъ (если оно еще неизвѣстно изъ горизонтальной съемки), а уголъ наклона мѣряютъ по вертикальному кругу, направляя крестъ нитей или на вершину C вертикально установленной рейки (вѣхи), или вообще *на произвольную точку* C *рейки* съ дѣленіями. Въ послѣднемъ случаѣ по рейкѣ въ точкѣ C дѣлаютъ отсчетъ по *средней* горизонтальной нити сѣтки трубы. Въ точкѣ A измѣряютъ высоту $i=AO$ инструмента (отъ земли до горизонтальной оси вращенія трубы).



Черт. 328.

Искомое превышеніе $h=BH$ найдется по формулѣ $BH=CL+LH-CB$ или

$$h=Dtg\beta+i-V \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (h').$$

Эта формула показываетъ, что въ томъ случаѣ, когда $V=i$ т. е. когда высота инструмента отложена на вѣхѣ то $i-V=O$, и уголъ β обращается въ уголъ наклона α линіи AB мѣстности, а членъ $Dtg\beta$ даетъ искомое превышеніе.

Если въ точкѣ B находится дальномѣрная рейка BO, длиною $l=1{,}5$ саж., съ дѣленіями въ 0,01 сажени, и въ точкѣ ея C (черт. 328) сдѣланъ по средней нити отсчетъ 0,24 саж. отъ нуля O, то $V=l-0{,}24=1{,}5-0{,}24=1{,}26$ саж.

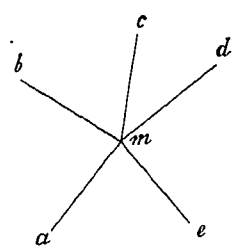
§ 211. Порядокъ работъ при вертикальной съемкѣ, производимой дальномѣрами—высотомѣрами. Въ статьѣ о нивеллированіи поверхности было указано, что для того, чтобы снятый планъ возможно лучше давалъ понятіе о рельефѣ мѣстности, слѣдуетъ данный участокъ заключать мысленно въ многогранникъ, съемкою отдѣльныхъ граней котораго и слѣдуетъ заняться. Указанные въ § 205 пріемы основаны на выполненіи угломѣрной съемки въ связи съ нивеллировкою. Такой порядокъ работъ и продолжителенъ, и дорогъ, а потому его замѣняютъ, особенно въ гористой мѣстности, съемкой, основанной на употребленіи высотомѣра-дальномѣра (§ 209). Въ основаніи этого рода съемки лежитъ примѣненіе формулы $h=D\,tg\alpha+i-V$ (см. формулу (h) § 210 и относящіяся къ ней замѣчанія). Самая работа начинается съ того, что сперва по этой формулѣ опредѣляютъ взаимныя превышенія, а затѣмъ и альтитуды всѣхъ *основныхъ или опорныхъ точекъ съемки*, т. к. основное правило съемки, переходить отъ общаго къ частному, сохраняется и здѣсь.

Основныя точки, *если работа ведется на большомъ участкѣ*, съ значительной шириной, выбираются по осямъ хребтовъ и лощинъ, преимущественно на вершинахъ горъ, у устья лощинъ и на т. п. характерныхъ точкахъ рельефа; онѣ замѣчаются высокими вѣхами или сигналами, такъ какъ онѣ значительно удалены другъ отъ друга, (отъ 200 до 500 саж.) и для нихъ опредѣляются отмѣтки вершинъ сигнала и отмѣтки ихъ подошвъ на землѣ. Взаимное положе-

ніе основныхъ точекъ опредѣляется горизонтальной съемкой способомъ засѣчекъ или обходомъ. Для участка *небольшихъ размѣровъ* довольствуются меньшимъ числомъ основныхъ точекъ, и ихъ ничѣмъ особенно (кромѣ вбитаго въ землю кола) не замѣчаютъ. Въ этомъ случаѣ основными точками являются *станціи* (точки постановокъ инструмента), причемъ для опредѣленія взаимнаго ихъ положенія исключительно примѣняется способъ обхода.

Для выраженія неровностей мѣстности даннаго участка горизонталями недостаточно знать только альтитуды основныхъ точекъ, напротивъ того необходимо знать альтитуды возможно большаго числа характерныхъ точекъ земной поверхности; это число должно быть таково, чтобы линіи земной поверхности между тѣми точками, между которыми будутъ проводить горизонтали, могли быть разсматриваемы за *прямыя* линіи (за ребра воображаемаго многогранника); при съемкѣ эти точки дѣлаются станціями и пикетами. Пикетами называются тѣ изъ нихъ, на которыя ставятся рейки, съ цѣлію опредѣленія ихъ альтитудъ.

Опредѣленіе альтитудъ пикетовъ производится примѣненіемъ формулы (*h*) § 210 слѣдующимъ образомъ: на мѣстности намѣчаютъ наиболѣе характерныя точки, напр., вершины горъ, ихъ подошвы, устья лощинъ, сѣдловины и т. п. и дѣлаютъ ихъ *станціями*, т. е. становятся въ нихъ съ инструментомъ и связываютъ эти точки (станціи) съ основными точками. Съ этою цѣлію измѣряютъ со станціи углы наклоненія на 2 или на 3 основныхъ точки и опредѣляютъ разстояніе [1]) отъ станціи до основныхъ точекъ, если оно не извѣстно изъ горизонтальной съемки. Альтитуду станціи вычисляютъ по альтитудамъ основныхъ точекъ, пользуясь формулой (*h*) того же § 210 и изъ полученныхъ результатовъ берутъ среднее ариѳметическое, которое принимаютъ за окончательное значеніе альтитуды станціи. Затѣмъ со станціи *m* (черт. 329) по направленію скатовъ (и при томъ по возможности въ концахъ ихъ) назначаютъ на мѣстности пикеты *a*, *b*, *c*,... и ставятъ на нихъ послѣдовательно рейку, дальномѣромъ опредѣляютъ разстояніе *D* до нихъ отъ точки *m*, а по высотомѣру измѣряютъ соотвѣтственно углы наклоненія *α*.



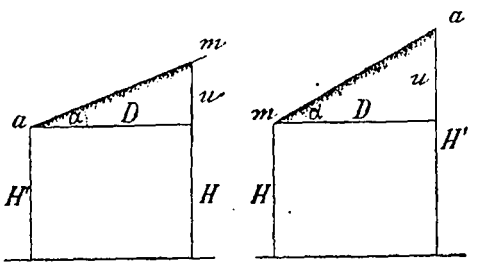
Черт. 329.

Этихъ данныхъ совершенно достаточно для опредѣленія альтитудъ пикетовъ.

Пусть *ma* (черт. 330) есть профиль земной поверхности, по линіи *ma*, *H*—альтитуда станціи, *H'*—альтитуда пикета;

[1]) Станція опредѣляется относительно основныхъ точекъ *засѣчкою назадъ*.

тогда изъ лѣвой части чертежа видно, что $H' = H - u$, гдѣ $u = D tg \alpha$; при мѣстности же повышающейся (правая половина чертежа) ясно, что $H' = H + u$.

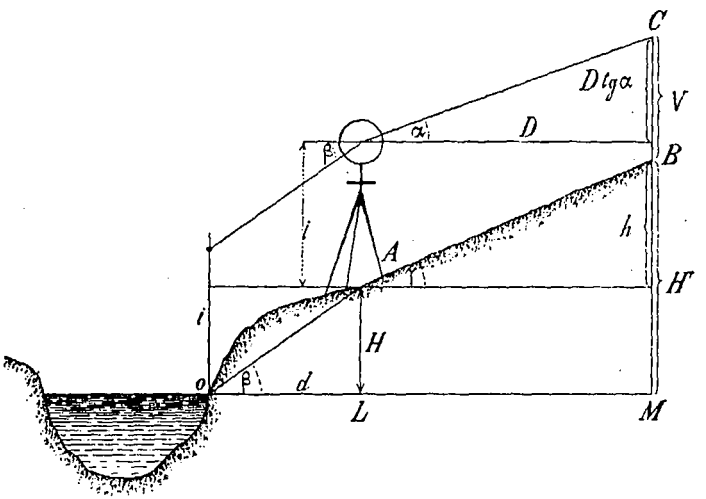


Черт. 330.

Если же условимся углы повышенія означать знакомъ +, а углы пониженія знакомъ —, то формула будетъ имѣть общій видъ:

$$u = \pm D tg \alpha \text{ и } H' = H \pm u \ldots (H').$$

Изъ всего только что изложеннаго слѣдуетъ, что на данномъ участкѣ сперва намѣчаются основныя точки, за-



Черт. 331.

тѣмъ станціи и, наконецъ, съ каждой станціи набирается рядъ пикетовъ. На участкѣ незначительныхъ размѣровъ можно, какъ уже было замѣчено, не прибѣгать къ системѣ опорныхъ точекъ, а за нихъ принять станціи.

Опредѣливъ на каждой станціи ея альтитуду и по ней альтитуды всѣхъ связанныхъ съ этой станціей пикетовъ, переходятъ затѣмъ на слѣдующую станцію и такъ продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока вся мѣстность будетъ покрыта пикетами.

Первый пикетъ обыкновенно берется у поверхности воды.

Изъ чертежа 331 видно, что альтитуда *H первой станціи*, т. е. точки *A*, гдѣ находится инструментъ, можетъ быть найдена по альтитудѣ перваго пикета.

Проще всего *H* опредѣлится, если на рейкѣ отлежена высота инструмента *i*, и уголъ наклона β измѣренъ по вы-

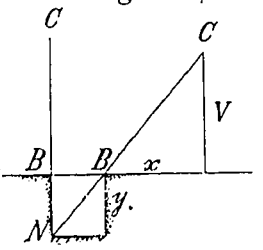
сотомѣру, направляя крестъ нитей на мѣтку, сдѣланную на рейкѣ, такъ какъ $AL=OL.tg\beta$, т. е. искомое $H=d.tg\beta$. Зная величину альтитуды H, легко усмотрѣть, что альтитуда H' перваго сигнала (основной точки) найдется по альтитудѣ первой станціи, а именно для мѣстности повышающейся $H'=H+h$, а такъ какъ $h=i+Dtg\alpha-V$,
то $$H'=H+i+Dtg\alpha-V.$$

Само собою разумѣется, что альтитуда MC вершины C сигнала найдется такъ:
$$MC=H'+V=H+i+Dtg\alpha.$$

Здѣсь α—уголъ наклоненія, измѣренный на вершину сигнала, а D разстояніе, или взятое изъ горизонтальной съемки, или измѣрено по дальномѣру, т. е. $D=a\,Cos^2n$, здѣсь n есть уголъ наклоненія линіи AB къ горизонту, а величина a есть отсчетъ, сдѣланный по дальномѣру на вертикально стоящей рейкѣ. Для мѣстности понижающейся формула остается та же, но въ ней α должно быть отрицательно и h должно быть взято со знакомъ минусъ:
$-h=-(Dtg(-\alpha)+i-V)$, т. е. $(-h)=Dtg\alpha-i+V$.

Если вообразимъ въ B—инструментъ и въ A—вѣху съ высотою V, то чертежъ дастъ, если черезъ вершину инструмента провести горизонтальную линію, что по абсолютной (безъ знака) величинѣ: $h+i=V+Dtg\alpha$ или $h=Dtg\alpha-i+V$.

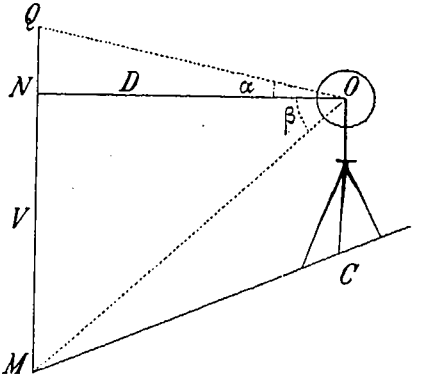
Высота сигнала V или измѣряется при постановкѣ сигнала, или опредѣляется путемъ вычисленія. Въ первомъ случаѣ передъ постановкою сигнала измѣряютъ длину его NC (черт. 332) и изъ нея скидываютъ глубину y ямы, такъ что принимаютъ $BC=NC-y$.



Черт. 332.

Если сигналъ устанавливается нѣсколько наклонно, то къ вершинѣ C привязывается бичевка съ тяжелой гирей и на мѣстности измѣряется катетъ x. Гипотенуза BC принимается $NC-y$, а потому искомая высота $V=\sqrt{BC^2-x^2}$.

Если высота V не можетъ быть получена непосредственнымъ измѣреніемъ, то какъ видно изъ чертежа 333, она найдется какъ сумма $MN+NQ=Dtg\beta+Dtg\alpha=D.(tg\alpha+tg\beta)$. Здѣсь α и β углы наклоненія, измѣренные на вершину сигнала и на его основаніе или на точку, взятую близъ основанія, причемъ, высота ея надъ основаніемъ извѣ-



Черт. 333.

стна. При этомъ знакъ β непринимается въ разсчетъ. Изъ формулы:

$H'=H+i+D.tg\alpha-V$ . . . . . (I) легко найти по данному H' (или все равно $H'+V$) *альтитуду* H *любой станціи*; она будетъ:

$$H=H'+V-i-D.tg\alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (II)$$

Примѣняя формулы (I) и (II), не слѣдуетъ забывать знакъ у угла α, а слѣдовательно у члена $Dtg\alpha$. Онъ *будетъ съ* $+$ *для угла повышенія и съ* $-$ *для угла пониженія* [1]).

Ко всему этому достаточно прибавить, что по альтитудѣ первой станціи можно найти альтитуды лежащихъ вокругъ нея и видимыхъ изъ нея основныхъ точекъ: послѣ чего по нимъ—опредѣлить вторую станцію и т. д.

§ 212. Цѣль съемки тахеометромъ, ея особенность, преимущества и недостатки. Тахеометрическая съемка, какъ уже было сказано въ § 208, преслѣдуетъ двоякую цѣль,—*одновременно, а главное быстро, производить и горизонтальную и вертикальную съемку*. Невысокая сравнительно съ нивеллирными работами, ея точность, вполнѣ достаточна для нѣкоторыхъ случаевъ практики и вполнѣ вознаграждается быстротою получаемыхъ результатовъ.

Главнѣйшая особенность тахеометріи состоитъ въ полученіи *со станціи посредствомъ одного визированія всѣхъ 3 элементовъ, опредѣляющихъ положеніе пикета относительно станціи*, т. е. разстоянія, азимута и относительной высоты.

Результаты полевой работы выражаются числовыми данными въ полярныхъ координатахъ, т. е. разстояніемъ и угломъ, и отмѣтками. Необходимыя вычисленія производятся при этомъ или *логариѳмически* или съ помощію таблицъ, или съ помощію такъ называемой вычислительной линейки. Самый порядокъ работы даетъ возможность контролировать получаемыя данныя, какъ во время полевыхъ дѣйствій, такъ и дома, при составленіи нивеллирнаго плана.

Тахеометрическія работы требуютъ небольшого числа рабочихъ рукъ, а потому дешевле. Тахеометрія предложена была въ Италіи въ 1823 году миланскимъ профессоромъ Порро; послѣ этого она получила широкое примѣненіе не только въ Италіи, но во Франціи и Испаніи. За послѣднее время наибольшаго своего развитія она достигла во Франціи, гдѣ съ любовію и полнымъ успѣхомъ занимаются усовершенствованіемъ тахеометровъ. Она получила тамъ свое примѣненіе при кадастровыхъ и военныхъ съемкахъ. Сравнительно съ другими родами съемки, гдѣ горизонтальная съемка ведется отдѣльно отъ вертикальной, тахеометрія сводитъ время полевой работы, какъ наиболѣе дорогое, къ minimum'у, а слѣдовательно обходится дешевле.

---

[1]) Для угла пониженія β (черт. 327 и 331) легко вывести, что $H+i=H'+V+Dtg\beta$.

§ 213. **Тахеометры.** Употребляющійся при одновременной горизонтальной и вертикальной съемкѣ полевой инструментъ носитъ названіе тахиметра или, чаще, *тахеометра*.

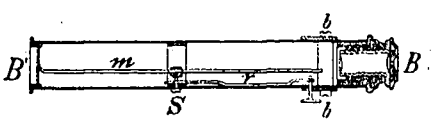
Первоначально устроенный по идеѣ Порро тахеометръ и названный имъ клепсикломъ [1]) или тахеометромъ-клепсъ, имѣлъ сложную конструкцію и малую устойчивость и, главное, могъ быть повѣряемъ только механикомъ. Эти недостатки устранены въ новѣйшихъ тахеометрахъ, изготовляемыхъ по идеѣ французскаго инженера Муано, въ общихъ чертахъ имѣющихъ видъ теодолита.

Всякій повторительный и даже простой теодолитъ, въ трубѣ котораго имѣются дальномѣрныя нити, легко обращается въ тахеометръ, если къ нему присоединить буссоль и вертикальный кругъ (или секторъ). Къ такому теодолиту помимо дальномѣрной рейки должно быть приложено приспособленіе для вычисленія (по отсчетамъ, сдѣланнымъ на рейкѣ и вертикальномъ кругѣ) горизонтальныхъ разстояній и относительныхъ высотъ (въ видѣ таблицы высотъ, масштаба высотъ или, наконецъ, логариѳмической линейки).

Во избѣжаніе этихъ приспособленій для вычисленій, Крейтеръ, а за нимъ Вагнеръ, Тиссе, Шарно, Санге, *Гаммеръ*, а также и другія лица предложили тахиметры, автоматически дающіе горизонтальное и вертикальное разстоянія одной точки надъ другой. Существеннымъ недостаткомъ такихъ тахиметровъ является ихъ громоздкость, благодаря добавочнымъ частямъ, предназначеннымъ непосредственно давать требуемыя отъ тахиметра величины: горизонтальное проложеніе и разность высотъ.

Тахеометрическіе теодолиты были уже ранѣе нами (по частямъ) разсмотрѣны: по чертежамъ 180, 192, 193 и 196. Что же касается до тахеометровъ, то они отличаются отъ только что указанныхъ теодолитовъ главнымъ образомъ устройствомъ вертикальнаго круга и буссоли.

Буссоль тахеометра Муано по внѣшнему виду представляетъ трубочку BB', помѣщенную подъ лимбомъ и наглухо съ нимъ скрѣпленную. Внутреннее ея устройство изображено на черт. 334; внизу трубки на остріѣ шпиля S помѣщена магнитная стрѣлка m съ загнутымъ кверху сѣвернымъ концомъ; при смотрѣніи черезъ окуляръ онъ проектируется на шкалу, дѣленія которой награвированы



Черт. 334.

[1]) Названіе это взято съ греческаго и произошло оттого, что лимбъ и вертикальный кругъ скрыты въ металлическихъ кубическихъ чехлахъ, боковыя отверстія которыхъ позволяютъ видѣть только дѣленія круговъ.

на матовомъ стеклѣ объектива B'. Линія, соединяющая остріе шпиля S съ среднимъ штрихомъ шкалы, должна быть параллельна коллимаціонной плоскости трубы. При чтеніи азимута по лимбу (см. § 132) тахеометра для приведенія въ совпаденіе загнутаго конца стрѣлки съ среднимъ штрихомъ шкалы, вращаютъ окулярную трубочку bb буссоли справа налѣво; вслѣдствіе чего опустится конецъ рычага r, и стрѣлка сядетъ на шпиль; послѣ этого вращаютъ лимбъ L около его вертикальной оси настолько, чтобы загнутый конецъ стрѣлки совпалъ съ среднимъ штрихомъ шкалы.

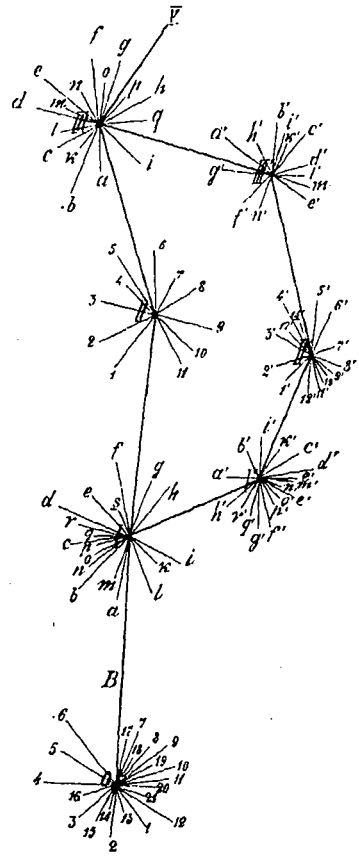
Неподвижный алидадный кругъ высотомѣра (т. е. вертикальнаго круга) устроенъ такъ, что нули его верньеровъ совпадаютъ со штрихами 100 и 300 градъ (90^0 и 180^0) вертикальнаго круга, когда оптически ось трубы TT тахеометра параллельна оси уровня u, прикрѣпленнаго къ алидадѣ (иногда уровень прикрѣпляется къ подставкѣ трубы); такимъ образомъ по вертикальному кругу получаются (по верньеру при окулярѣ) отсчеты $= 100\,g + \alpha$. При алидадѣ помѣщаются исправительные винты y, y', къ головкамъ которыхъ имѣется особый ключъ для надлежащей ихъ установки.

§ 214. **Производство тахеометрической съемки.** Съемка (горизонтальная и одновременно вертикальная) тахиметрами обыкновенно дѣлается цѣлою партіею техниковъ: на одного изъ нихъ, начальника партіи, возлагается главнѣйшая часть работы—выборъ мѣстъ станцій (для тахеометра) и пикетовъ (для реекъ). Начальникъ партіи руководитъ общимъ ходомъ всей работы; онъ же ведетъ пикетажную книжку или абрисъ (брульенъ или кроки). Другой техникъ (котораго назовемъ наблюдателемъ), находится постоянно при инструментѣ; онъ наводитъ трубу послѣдовательно на выставляемыя начальникомъ партіи рейки и дѣлаетъ на нихъ отсчеты, имъ же прочитываются отсчеты на горизонтальномъ и вертикальномъ кругахъ и диктуются третьему съемщику (секретарю), заносящему ихъ въ журналъ измѣренія и производящему въ промежуткахъ времени вычисленія (горизонтальныхъ разстояній и высотъ) по логариѳмической линейкѣ. Еще лучше, если эту послѣднюю работу производитъ отдѣльное лицо (вычислитель), также находящійся при инструментѣ. Въ случаѣ недостатка съемщиковъ вся работа можетъ быть возложена на два и даже на одно лицо, но понятно, что это неминуемо отразится на успѣхѣ дѣла. Для быстроты полезно, если съемщики, находящіеся при инструментѣ, мѣняютъ свои обязанности. Начальникъ партіи долженъ имѣть въ своемъ распоряженіи двухъ рабочихъ-реечниковъ; собственно число ихъ зависитъ отъ характера мѣстности—въ мѣстности открытой достаточно два и даже одного реечника, а въ мѣстности пересѣченной необходимо число ихъ увеличивать. Наконецъ, для перенесенія инструмента съ одной станціи на другую, для защиты его зонтомъ

отъ солнечныхъ лучей и дождя и для разныхъ мелкихъ услугъ по съемкѣ при инструментѣ долженъ быть еще одинъ рабочій (сигналистъ) съ флагами столькихъ цвѣтовъ, сколько реечниковъ. Начальникъ партіи и наблюдатель должны имѣть по рогу или рупору, для того чтобы подавать другъ другу условные знаки (напр., въ родѣ телеграфной азбуки Морзе).

Самая *работа на мѣстности состоитъ въ выборѣ, обозначеніи и опредѣленіи станціи и пикетовъ.*

Передъ началомъ работъ обозрѣвается вся мѣстность; это дѣлается для того, чтобы съ нею ознакомиться и составить себѣ общій планъ дѣйствій. Станціи выбираются такъ, чтобы онѣ были, по возможности, равномѣрно распредѣлены по всему снимаемому участку и представляли прочное мѣсто для постановки инструмента, а также были удобны для обозрѣнія той части мѣстности, на которой будутъ ставиться кругомъ пикеты.



Черт. 335.

Для опредѣленія, какъ взаимнаго горизонтальнаго положенія, такъ и относительныхъ высотъ станцій, употребляются пріемы болѣе точные, чѣмъ для пикетовъ. Такъ, между нѣкоторыми станціями можно произвести геометрическую нивеллировку. Если требуется не высокая точность отъ работы, то поверхность всего снимаемаго участка покрывается полигонами, которые и снимаются тахеометромъ постепенно одинъ за другимъ.

При обходѣ полигона *производится съемка горизонтальная и вертикальная* не только по направленію сторонъ его, но и *по всей бливъ лежащей вокругъ станціи мѣстности при помощи пикетовъ.* Величина невязки въ периметрѣ и въ высотѣ исходной точки каждаго сомкнутаго полигона позволитъ судить о степени точности его съемки.

При съемкѣ подробностей внутри полигоновъ, проходятъ по ломанымъ линіямъ (магистралямъ), соединяющимъ вершины снятыхъ полигоновъ. При назначеніи и съемкѣ полигоновъ должно стараться направлять ихъ стороны по дорогамъ, межникамъ, лугамъ, выгонамъ и т. п., точно также и при назначеніи магистралей. Если двѣ и болѣе магистрали пересѣкаются, то за истинную высоту точки пересѣченія принимаютъ среднюю ариѳметическую величину.

Станціи берутся такъ, чтобы двѣ смежныя изъ нихъ были взаимно видимы. Длины сторонъ при опредѣленіи ихъ дальномѣромъ зависятъ главнымъ образомъ отъ силы зрѣнія трубы инструмента, но во всякомъ случаѣ онѣ не должны превышать 150 саж. (300 метр.). Такой полигонный ходъ, называемый осью или базисною линіей, пролагается по срединѣ полосы, чтобы взятые въ обѣ стороны ея пикеты не слишкомъ отъ нея удалялись (не болѣе 100 саж.). Если пикеты недостаточны для съемки какой-нибудь подробности, то берутъ вспомогательныя станціи, какъ напр., I′, которая связана съ базисною линіею разстояніемъ I—I′ и угломъ II, I, I′. Если и отдѣльныхъ вспомогательныхъ станцій все-таки недостаточно, то проводится варіантъ I′, II′, III′, III, съ постановкою инструмента въ вершинахъ его угловъ.

Главныя станціи базисной линіи снимаются послѣдовательнымъ переходомъ отъ одной къ другой, вспомогательныя же станціи и варіанты снимаются вслѣдъ за окончаніемъ работы на ближайшихъ главныхъ. Линіи, соединяющія двѣ сосѣднія станціи, могутъ и не принадлежать одному и тому же скату. Такъ, между двумя станціями, изъ которыхъ каждая выбрана на вершинѣ горы, можетъ находиться лощина.

Кругомъ каждой станціи назначаются *пикеты, которыми опредѣляются какъ 1) контуры мѣстности, такъ и 2) ея неровности.* Пикеты должны быть настолько близки между собою, чтобы промежутокъ между двумя ближайшими изъ нихъ имѣлъ одинъ скатъ или, по крайней мѣрѣ, незначительныя его измѣненія; это дастъ возможность назначить горизонтали. При опредѣленіи относительнаго положенія пикетовъ какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскостяхъ на нихъ ставятся рейки.

Станціи на мѣстности обозначаются деревянными кольями, выступающими надъ земною поверхностью примѣрно на 0,1 сажени. На стесанной сторонѣ кола пишется номеръ станціи соотвѣтственными римскими цифрами. Пикеты же на мѣстности совсѣмъ не обозначаются; ихъ номера или буквы записываются въ журналъ измѣренія и кроки.

§ 215. **Кроки** [1]) есть тотъ же абрисъ, который ведется начальникомъ партіи при назначеніи имъ на мѣстности станцій и пикетовъ. Отличается же онъ отъ абриса тѣмъ, что только въ соединеніи съ журналомъ, который ведется наблюдателемъ, можетъ служить для составленія плана снятой мѣстности. Также и одинъ журналъ безъ кроки не можетъ служить для составленія плана. Это потому, что на кроки хотя и не имѣется нѣкоторыхъ чиселъ, необходимыхъ при составленіи плана (напр., взаимныхъ разстояній между станціями, разстояній между станціями и пикетами, угловъ между направленіями на пикеты), но за то начальникъ партій долженъ *на немъ выразить характеръ неровностей снимаемаго участка.* Выразить характеръ мѣстности можно 1) или *указывая стрѣлками* направленіе скатовъ между отдѣльными пикетами, дабы при составленіи плана можно было заранѣе знать,—какіе пикеты возможно соединять *попарно*,—для разсчета и проведенія на планѣ горизонталей, 2) или проведеніемъ на глазъ главныхъ горизонталей отдѣльныхъ неровностей (хребтовъ и лощинъ), которыя бы впослѣдствіи указывали чертежнику при назначеніи имъ горизонталей на планѣ, между какими пикетами мѣстность можно разсматривать за часть плоскости и *гдѣ этого допустить нельзя.* Кроки должны быть составляемы въ возможно крупномъ масштабѣ, причемъ нѣтъ надобности заботиться о сохраненіи масштаба для всего кроки; напротивъ, онъ находится въ полной зависимости отъ большаго или меньшаго числа подробностей на снимаемомъ участкѣ. *На кроки должны быть обозначены всѣ снятые контуры*, причемъ избѣгаютъ излишнихъ подробностей, напр., при съемкѣ проселочной дороги пикеты достаточно брать на срединѣ ея. *На каждой страницѣ кроки должны помѣститъ одну* или нѣсколько *станцій* со всѣми снятыми съ нихъ контурами, но *нельзя размѣщать часть контура на одной страницѣ, а другую часть на слѣдующей.* На каждой страницѣ нужно обозначить послѣднюю станцію предыдущей страницы и тѣ изъ пикетовъ, вблизи которыхъ проведены горизонтали, продолжающіяся на слѣдующей страницѣ. *Если съ базисной линіи виденъ одинъ какой-нибудь фасъ сооруженія на мѣстности и нужно будетъ изобразить его на планѣ, то остальныя стороны сооруженія должны быть сняты начальникомъ партіи при помощи имѣющейся у него карманной буссоли и рулетки или шагами, и всѣ сдѣланныя измѣренія должно записать на кроки* [2]).

---

[1]) Фр. слово croquis—очеркъ, эскизъ.

[2]) Образецъ такого кроки изучающіе могутъ видѣть на страницѣ 348.

§ 216. Порядокъ наблюденій инструментоьъ для опредѣленія относительнаго положенія станцій и пикетовъ слѣдующій: придя съ тахеометромъ *на начальную станцію* (0), устанавливаютъ его на ней надлежащимъ образомъ, т. е. 1) центрируютъ и приводятъ въ горизонтальное положеніе, затѣмъ 2) измѣряютъ высоту инструмента и 3) оріентируютъ лимбъ, т. е. смотря въ окуляръ буссоли, вращаютъ лимбъ грубымъ и микрометреннымъ движеніемъ настолько, чтобы сѣверный конецъ стрѣлки остановился на среднемъ штрихѣ шкалы объектива буссоли; далѣе 4) опредѣляютъ мѣсто нуля вертикальнаго круга, дѣлая наведенія трубы на хорошо видимый предметъ, напр., яблоко подъ крестомъ колокольни, при К. Пр. и Кр. Л. 5) вращаютъ алидаду до наведенія трубы на слѣдующую станцію (I), на которой предварительно по указанію начальника партіи выставлена рейка (иногда съ мѣткою высоты инструмента) и наводятъ нижнюю дальномѣрную нить на нулевой (или иной, подписанный цифрою) штрихъ рейки; послѣ этого *дѣлаютъ на рейкѣ* по верхней и средней нити *отсчеты* (разстоянія), 6) отсчеты на вертикальномъ и 7) горизонтальномъ кругахъ, 8) переводятъ трубу черезъ зенитъ, вновь наводятъ нижнюю нить сѣтки на тотъ же штрихъ рейки и вторично дѣлаютъ отсчеты на кругахъ.

На станціи I инструментъ центрируютъ, приводятъ въ горизонтальное положеніе и оріентируютъ лимбъ по буссоли; ослабляютъ нажимательный винтъ алидады и трубы, *визированіемъ на предыдущую станцію* (*O*) *опредѣляютъ обратный азимутъ линіи O, I*, дѣлаютъ отсчеты на рейкѣ, стоящей на станціи 0, и отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругу.. Послѣ этого визируютъ и дѣлаютъ отсчеты на станцію II, на которой начальникъ партіи уже поставилъ реечника. Далѣе дѣлаются направленія на рейки, выставляемыя на пикетахъ кругомъ станціи I по указанію начальника партіи. Вычислитель въ промежуткѣ времени между занесеніями чиселъ въ журналъ сличаетъ азимуты направленій, I, 0 и 0, I и по новымъ даннымъ опредѣляетъ опять для линіи I, 0 горизонтальное разстояніе и относительную высоту, которыя и сравниваетъ съ соотвѣтственными величинами, полученными на станціи 0.

Если разность азимутовъ направленій 0, I и I, 0 отличается отъ 180^0 или 200^g менѣе чѣмъ на $\frac{1^0}{2}$ или $0{,}50^g$, то она можетъ быть допущена. Разница же большая допускается только тогда, когда она происходитъ отъ дѣйствія на стрѣлку какой-нибудь возмущающей причины, иначе она указываетъ на существованіе грубой ошибки или въ оріентировкѣ инструмента, или въ отсчетѣ на горизонтальномъ лимбѣ.

Точно также берутся разницы и въ горизонтальномъ разстояніи и въ относительной высотѣ, которыя ни въ какомъ случаѣ не допускаются болѣе 1 саж. для разстояній и $dh = D.\alpha''. Sin\ 1''$ для высотъ.

Въ случаѣ недопускаемыхъ разницъ, провѣривъ на станціи I отсчеты при направленіи на станцію 0 и, окончивъ на ней (I) всѣ наблюденія, возвращаются на станцію 0 и провѣряютъ отсчеты при направленіи трубы на станцію I.

Указаннымъ путемъ продолжаютъ работу на II, III, IV и т. д. станціяхъ.

§ 217. **Составленіе плана.** Такъ какъ при составленіи плана ось тахеометрическаго хода или *базисная линія* большею частію *наносится по координатамъ*, то ихъ необходимо предварительно вычислить по разстояніямъ между станціями и азимутамъ сторонъ. По читаннымъ (измѣреннымъ) разстояніямъ и угламъ наклона x вычисляютъ горизонтальныя проложенія $d = kl.\ cos^2 x$. Читанные по лимбу азимуты замѣняютъ *исправленными азимутами* $\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180 - B$. B = разности читанныхъ азимутовъ назадъ и впередъ. Исправленіе необходимо потому, что азимуты получены на мѣстности приближенно, при оріентированіи лимба по буссоли. По совершеніи этого исправленія надо приступить къ вычисленію приращеній координатъ по формуламъ

$$\Delta x = d\ cos\alpha$$
$$\Delta y = d.\ Sin\alpha.$$

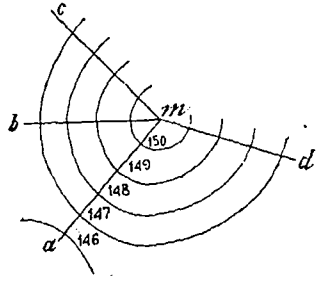
и самыхъ координатъ. Всѣ эти предварительныя вычисленія составляютъ то, что называется приготовленіемъ журнала для накладки.

§ 218. **Назначеніе горизонталей на планѣ по даннымъ альтитудамъ точекъ земной поверхности** производится слѣдующимъ образомъ. Положимъ, что имѣемъ альтитуду станціи m и альтитуды пикетовъ (эти альтитуды вычисляются по формуламъ, даннымъ въ § 210 и 211) и положимъ, что горизонтали получаются сѣченіемъ земной поверхности плоскостями, отстоящими на вертикальномъ разстояніи одной сажени другъ отъ друга. Пусть альтитуды станціи m и пикетовъ a, b, c, d выражаются числами:

m	150,6	сажен.
a	145,4	„
b	136,8	„
c	144,6	„
d	134,4	„

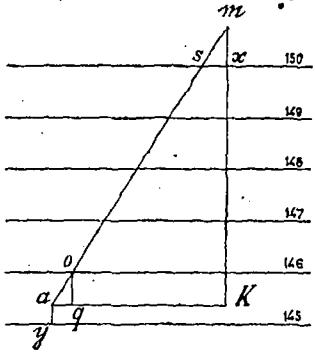
Эти числа нужно понимать такъ: точка m лежитъ выше 150-й горизонтали на 0,6 отвѣснаго разстоянія между

горизонталями, точка *a* лежитъ выше 145-й горизонтали на 0,4 того же отвѣснаго разстоянія между горизонталями и т. д.



Черт. 336.

Предлагаемый чертежъ 336 представляетъ собою относительное расположеніе точекъ *на планѣ*, которыхъ альтитуды въ горизонталяхъ были даны выше. Для того, чтобы на планѣ назначить точки пересѣченій горизонталями направленій *ma*, *mb*, *mc* и *md*, разсмотримъ одно изъ этихъ направленій, напр. *ma*, и построимъ по отмѣткамъ его концовъ *m* и *a* профиль по линіи *ma*. На профилѣ (черт. 337) пусть *mK* выражаетъ разность уровней между точками *m* и *a*, т. е. разность отмѣтокъ точекъ *a* и *m*; а *aK*—горизонтальное проложеніе линіи *ma* мѣстности [1]). Профиль построенъ на разлиневанной бумагѣ, на которой горизонтальныя линіи, обозначенныя чрезъ 150, 149,... 145, выражаютъ слѣды (въ вертикальной плоскости) горизонтальныхъ плоскостей сѣченій земной поверхности параллельно уровню воды (или условному горизонту); причемъ *mx* есть высота точки *m* надъ 150-ю горизонталью, т. е. 0,6; а *ay* высота точки *a* надъ 145-ю горизонталью, т. е. 0,4. Масштабъ для вертикальныхъ разстояній — произвольный, а для горизонтальныхъ—одинаковый съ масштабомъ плана. Опредѣлимъ теперь разстояніе 150-й горизонтали *на планѣ* отъ точки *m*, т. е. опредѣлимъ длину линіи *sx*, а также разстояніе *aq* или мѣсто 146-й горизонтали отъ точки *a*.



Черт. 337.

Нахожденіе разстояній *sx* и *aq* чертежа 337-го дѣлается, во избѣжаніе вычисленій, обыкновенно *графически*. Для этого употребляется графленая бумага (съ заранѣе начерченными *равноотстоящими другъ отъ друга* параллельными линіями, напр., профильная) и на ней по даннымъ *aK* и *mK* строится чертежъ 337-й, съ котораго *механически* и переносятся (проектируются) затѣмъ на планъ мѣста горизонталей. Для чего достаточно къ линіи *ma* плана приложить линію *Ka* профиля (совмѣщая точку *K* профиля съ точкою *m* плана и точку *a* профиля съ точкою *a* плана) и провести параллели черезъ точки *o* и *s* къ линіи *mK*, до встрѣчи съ ли-

[1]) Очевидно, что *aK* на чертежѣ 337 равна длинѣ *ma* на чертежѣ 336.

ніею *ma* плана [1]). Нахожденіе длины *sx* и *aq* можно сдѣлать и путемъ вычисленій, въ числахъ; изъ подобія треугольниковъ *smx* и *amK* имѣемъ:

$$\frac{mx}{mK} = \frac{sx}{aK}, \text{ откуда } sx = \frac{aK \cdot mx}{mK},$$

здѣсь *mx* есть высота точки *m* надъ 150-ю горизонталью и равна 0,6; *aK*—горизонтальное проложеніе разстоянія между точками *m* и *a*, которое берется съ плана, пусть оно = 50 саж., *mK* — разность уровненій между тѣми же точками и равно 150,6 — 145,4 = 5,2. Подставляя эти числа въ послѣднее равенство, получимъ:

$$sx = 5{,}8 \text{ саж.}$$

Откладываемъ *на планъ* (черт. 336) отъ точки *m* по линіи *ma* величину 5,8 получимъ мѣсто 150-й горизонтали; назначимъ теперь мѣсто 146 горизонтали, а для этого снова обращаемся къ предыдущему 337 чертежу и изъ подобныхъ треугольниковъ *aoq* и *amK* пишемъ:

$aq : aK = oq : mK$, откуда $aq = \frac{aK \cdot oq}{mK}$.

Здѣсь $aK = 50$ с., $mK = 5{,}2$, а oq — есть дополненіе высоты пикета *a* до 146-й горизонтали и равно 0,6. Подставляя эти величины въ послѣднее равенство, получаемъ $aq = 5{,}8$ с. и откладываемъ эту длину *на планъ* отъ точки *a* по *am* (черт. 336), получаемъ мѣсто 146 горизонтали.

Принимая во вниманіе, что уголъ наклоненія линіи *ma* постояненъ, для полученія на планѣ по линіи *ma* промежуточныхъ горизонталей 149, 148, 147 нужно разстояніе между 150 и 146 горизонталями раздѣлить на 4 равныя части. Точно также назначимъ мѣста горизонталей по направленію линій *mb*, *mc*, *md* (черт. 336). Соединивъ послѣдовательно на планѣ прямыми линіями мѣста, означенныя одинаковыми нумерами горизонталей на линіяхъ *ma*, *mb*, *mc* и *md*, получимъ на планѣ изображеніе горизонталями возвышенности около точки *m*. Разумѣется горизонтали въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онѣ пересѣкаютъ данное на планѣ направленіе, немного округляются отъ руки.

§ 219. Приспособленія для вычисленія превышеній точекъ мѣстности. Изъ предыдущаго § слѣдуетъ, что для выраженія на планѣ неровностей мѣстности горизонталями — необходимо, предварительно передъ проведеніемъ горизонталей, опредѣлить отмѣтки основныхъ точекъ, станцій и пикетовъ.

---

[1]) Вообще, чтобы *на планъ*, на линіи *ma* найти слѣдъ (мѣсто), напр., 149-й горизонтали достаточно черезъ концы *m* и *a* этой линіи на планѣ провести двѣ параллели, — одну *вверхъ* отъ *m* и другую — *внизъ* отъ *a*, на первой отложить (150,6 — 149) = 1,6, а на второй — (149 — 145,4) = 3,6 и концы перпендикуляровъ (параллелей) соединить, тамъ гдѣ эта линія соединенія пересѣчетъ линію *ma* плана, тамъ и будетъ мѣсто 149-й горизонтали. См. также замѣчаніе на стр. 311 *о проведеніи горизонталей*.

Вычисленіе альтитудъ (отмѣтокъ) производится по указаннымъ выше формуламъ. Къ этому еще прибавимъ, что вычисленіе по формуламъ должно производиться непремѣнно или вечеромъ того дня, когда сдѣланы наблюденія, или тотчасъ же въ полѣ послѣ наблюденій, ибо самое *проведеніе на планъ горизонталей* (во избѣжаніе неправильнаго соединенія точекъ, имѣющихъ одинаковыя альтитуды) *должно быть произведено, соображаясь съ кроки или, еще лучше, въ полѣ на самой мѣстности.*

Въ формулы, по которымъ производятся вычисленія альтитудъ, входитъ членъ $D tg\alpha$; вычисленіе его для основныхъ точекъ производится или по четырехзначнымъ логариѳмамъ, или по *таблицѣ высотъ;* но такъ какъ логариѳмическое вычисленіе для большого числа пикетовъ (не требующихъ той же точности, что и основныя точки) *неудобно* по своей продолжительности, то на практикѣ избѣгаютъ вычисленія члена $D tg\alpha$ по логариѳмамъ и для этой цѣли употребляютъ, или особую діаграмму, называемую масштабомъ горизонталей, а также *масштабомъ высотъ*, или *логариѳмическую линейку*, или наконецъ просто для угловъ наклона до 3^0 допускаютъ, что $D . tg\alpha' = D . Sin\alpha = D . \alpha . Sin 1' = D . \alpha . \frac{1}{3438}$. Напр., при $D = 17{,}2$ саж. и $\alpha = 1^0 2'$, находятъ, *простымъ умноженіемъ* искомое $u = D . tg\alpha$ въ видѣ $17{,}2 \times 62 \times \frac{1}{3438} = 0{,}31$ саж.

Таблица высотъ вычисляется обыкновенно по логариѳмамъ для разстояній отъ 100 до 900 саж. и для угловъ наклона отъ $0^0 1'$ до $0^0 10'$ черезъ каждую минуту, а отъ $0^0 10'$ до 10^0 черезъ каждыя десять минутъ. Для разстояній и угловъ, непомѣщенныхъ въ таблицѣ, величина u находится простымъ интерполированіемъ, полагая измѣненіе u пропорціональнымъ измѣненіямъ D и α. Такъ для $D = 417$ саж. и угла $\alpha = 5^0 16',5$ находятъ u по частямъ, а именно, примѣняясь къ таблицѣ, послѣдовательно отыскиваютъ:

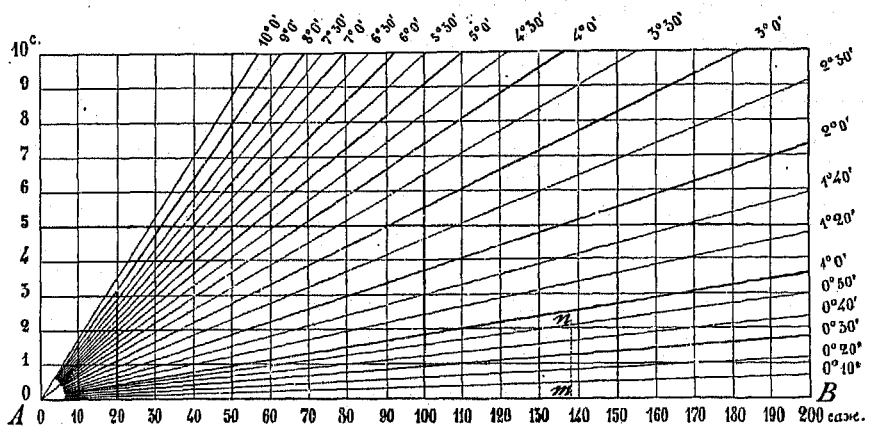
u для	400	саж. и	$\alpha = 5^0 10'$,	оно будетъ:			36,17
„ „	10	„ „	$\alpha = 5^0 10'$	„	„		0,904 [1]
„ „	7	„ „	$\alpha = 5^0 10'$	„	„		0,633 [2]
„ „	400	„ „	$\alpha = 0^0 6'$	„	„		0,70
„ „	10	„ „	$\alpha = 0^0 6'$	„	„		0,017
„ „	7	„ „	$\alpha = 0^0 6'$	„	„		0,012
„ „	400	„ „	$\alpha = 0^0 0{,}5'$	„	„		0,06
„ „	10	„ „	$\alpha = 0^0 0{,}5'$	„	„		0,002
					Сумма		38,498
					или		38,50

[1]) Уменьшая табличное u въ 10 разъ.
[2]) „ „ „ u въ 100 разъ.

ТАБЛИЦА ВЫСОТЪ [1]).

Углы наклоненія. \ Разстоянія въ саж.	100	200	300	400	500	600	700	800	900
	Высоты въ саженяхъ.								
0° 1′	0,03	—	—	0,12	—	—	0,20	—	—
2	0,06	—	—	0,23	—	—	0,41	—	—
3	0,09	—	—	0,35	—	—	0,61	—	—
4	0,12	—	—	0,47	—	—	0,81	—	—
0° 5′	0,15	—	—	0,58	—	—	1,02	—	—
6	0,17	—	—	0,70	—	—	1,22	—	—
5° 0′	8,74	17,50	26,25	35,00	43,74	52,49	61,24	69,99	73,74
10	9,04	18,09	27,13	36,17	46,21	54,26	63,29	72,33	81,37

Таблица высотъ можетъ быть рекомендована только ради контроля вычисленныхъ логариѳмически величинъ *u*, такъ какъ по таблицѣ высотъ, какъ мы сейчасъ видѣли, вычисленіе величины *u* довольно продолжительно и неособенно точно. Для пикетовъ превышеніе *u* достаточно знать точно до десятыхъ долей сажени, для чего вполнѣ можетъ служить масштабъ высотъ или еще лучше логариѳмическая линейка, напр., системы швейцарскаго профессора Вильда, изготовляемая механикомъ Керномъ въ Аагау (въ Швейцаріи).



Черт. 338.

Масштабъ высотъ [2]) строится слѣдующимъ образомъ: возьмемъ линію *AB* длиною въ *n* какихъ-нибудь единицъ, напр., дюймовъ (черт. 338); въ концѣ каждаго дюйма возста-

[1]) Помѣщаемъ ту *часть таблицы*, которая нужна для примѣра.
[2]) Верхушка чертежа срѣзана линіей, параллельной основанію *AB*.

вимъ перпендикуляры; на проведенномъ въ концѣ n-го дюйма перпендикулярѣ отложимъ величины, вычисленныя по формулѣ $u = Dtg\alpha$, для $D = 10$ дюймовъ и α послѣдовательно $= 1^0$, 2^0, 3^0 и т. д. Для бо́льшаго удобства употребленія масштаба и для большей точности, на послѣднемъ перпендикулярѣ откладываются выраженія $Dtg\alpha$, увеличенныя въ 5, 10 и т. д. разъ; такъ, если будемъ увеличивать u въ 5 разъ, то откладываются выраженія $5 . 10\, tg\, 1^0$; $5 . 10\, tg\, 2^0$; $5 . 10\, tg\, 3^0$.....; если u будемъ увеличивать въ 10 разъ, то — $10 . 10\, tg\, 1^0$; $10 . 10\, tg\, 2^0$; $10 . 10\, tg\, 3^0$..... На чертежѣ 338 они увеличены въ 10 разъ. На масштабѣ точки отложенія высотъ подписываются при послѣднемъ перпендикулярѣ, соотвѣтственно числами 1^0, 2^0, 3^0... Промежутки между 0 и 1, и 1 и 2 градусами дѣлятъ на 6 частей, вслѣдствіе чего каждая часть будетъ соотвѣтствовать $10'$, а между 2^0 и 3^0, 3^0 и 4^0,..... промежутки дѣлятся пополамъ, такъ что каждая часть соотвѣтствуетъ $\frac{1^0}{2}$. Соотвѣтственно масштабу плана по линіи AB подписываются горизонтальныя разстоянія. На лѣвомъ перпендикулярѣ откладываются вертикальныя разстоянія, также увеличенныя, при томъ въ *то же число разъ*, что $Dtg\alpha$, т. е., вмѣсто 1, 2, 3.... единицъ, берутъ 10, 20, 30...., и черезъ точки отложенія, отстоящія на равномъ разстояніи другъ отъ друга, къ основанію AB масштаба проводятся параллели. Чтобы по такому масштабу получить $Dtg\alpha$, при $D = 137$ с. и $\alpha = 0^0\ 50'$, находятъ на линіи AB, въ разстояніи 137 саж., отъ нулевой точки A, точку m, поднимаются по перпендикуляру и помѣщаютъ остріе карандаша на линію, соотвѣтствующую $0^0\ 50'$, въ точку n; тогда mn даетъ $Dtg\alpha$, увеличенное въ 5,10 и т. д. разъ (смотря по тому, во сколько разъ увеличены u при построеніи масштаба); во избѣжаніе дѣленія построенныя высоты подписываются уже уменьшенными. Подпись высотъ располагается слѣва у масштаба, при параллеляхъ основанію AB [1]).

Во избѣжаніе вычисленій выраженія $d = a . cos^2\alpha$ возможно построить для него также діаграмму, сходную съ масштабомъ высотъ: стоитъ только положить

$$cos^2\alpha = cos\, x,$$

тогда и выраженіе для d приметъ видъ:

$$d = a . cos^2\alpha = a . cos\ x.$$

Давая x значенія, равныя 0^0, 1^0, 2^0,..... можно изъ точки A (черт. 338) провести соотвѣтственные наклонные къ AB лучи и, беря каждый разъ въ растворъ циркуля наклонное

---

[1]) Рекомендуется изучающимъ вычертить указанную діаграмму въ масштабѣ въ 10 разъ крупнѣе приведеннаго на чертежѣ 338.

(прочитанное по рейкѣ) разстояніе, *откладывать его отъ точки A по наклонному лучу съ подписью, соотвѣтствующей читанному углу наклона* α (ибо на діаграммѣ, вмѣсто угловъ x, — подписаны углы α), а затѣмъ, освобождая ножку циркуля, стоящую въ A, проводить этой ножкой дугу круга, касательную къ вертикали, проходящей черезъ A, тогда растворъ циркуля и будетъ давать горизонтальное проложеніе наклоннаго разстоянія, читаннаго по рейкѣ, или, что то же самое, отложивъ наклонное разстояніе An спуститься по вертикали идущей черезъ конецъ n до встрѣчи ея съ AB въ точкѣ m. Линія Am — будетъ искомымъ горизонтальнымъ проложеніемъ. Самое построеніе діаграммы рекомендуется дѣлать, пользуясь величинами tgx, вычисленіе же угловъ x, соотвѣтствующихъ α, производить не по формулѣ $cos^2\alpha = cosx$, а по уравненію

$$1 - cos^2\alpha = 1. - cos.x$$

или

$$2\ Sin^2 x/_2 = Sin^2\alpha,$$

откуда

$$Sin\ \frac{x}{2} = \frac{Sin\alpha}{\sqrt{2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (x)$$

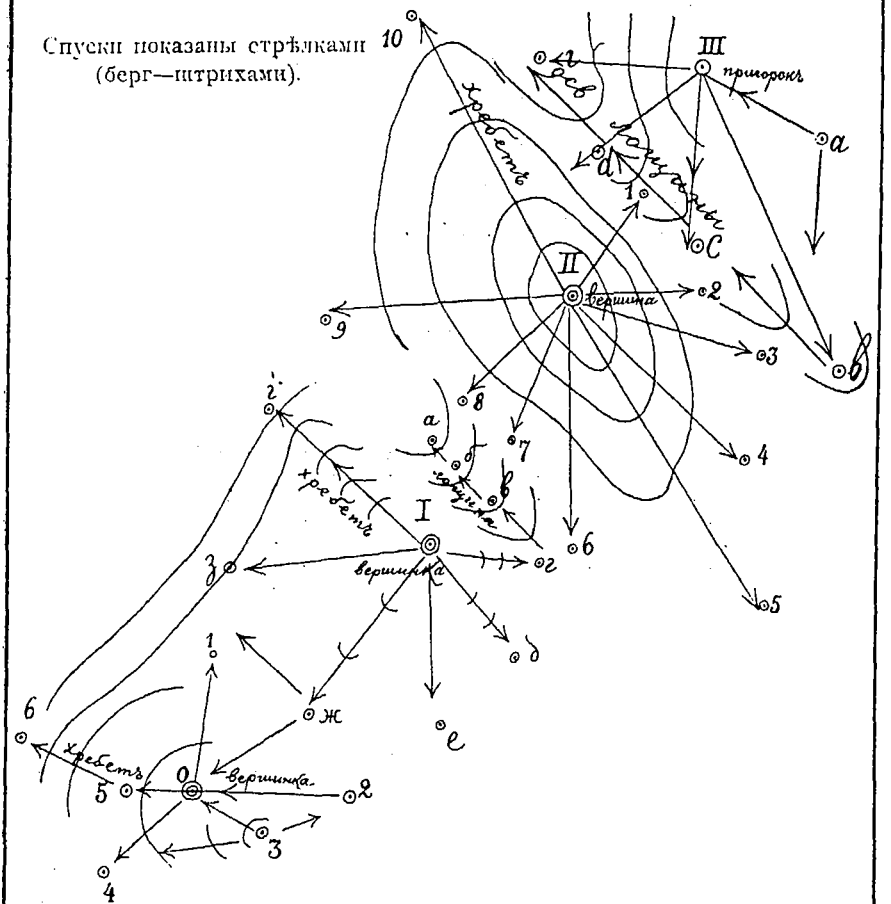
при $\alpha = 1^0$	$x = 1^0 25'$	$tgx = 0{,}0247$	. . . . .		
2	$2^0 50$	494	. . . . .		
3	$4^0 14$	742	при $\alpha = 10^0$	$x = 14^0 06$.	$tgx = 0{,}2513$
4	$5^0 39$	990	. . . . .		
5^0	$7^0 04'$	0,1240	15^0	$21^0 05$	0,3857
6	$8^0 29$	0,1491	20	$27^0 59$	0,5315
			30	$41^0 25$	0,8819

§ 220. Задачи, рѣшаемыя по плану съ горизонталями. По плану съ горизонталями можно рѣшать цѣлый рядъ задачъ; мы остановимъ наше вниманіе лишь на нѣкоторыхъ изъ нихъ, имѣющихъ значеніе преимущественно на практикѣ.

Задача 1-я. Опредѣлить уголъ наклона линіи мѣстности, заданной по плану двумя точками. При рѣшеніи этой задачи необходимо обратить вниманіе, какія именно горизонтали пересѣкаетъ заданная линія: такъ, если всѣ горизонтали *равно удалены* другъ отъ друга, т. е. каждыя двѣ сосѣднія горизонтали отсѣкаютъ отъ прямой одинаковые промежутки, то заданная по плану прямая имѣетъ одинъ и тотъ же уголъ наклона на всемъ своемъ протяженіи, если же промежутки между горизонталями *не* равны, то заданная прямая можетъ быть разбита на нѣсколько отрѣзковъ, изъ которыхъ каждый имѣетъ свой уголъ наклоненія. Вслѣдствіе этого можно сказать, что задача о нахожденіи угла наклона данной линіи на планѣ сводится къ разсмотрѣнію рѣшенія того случая, когда объ заданныя точки

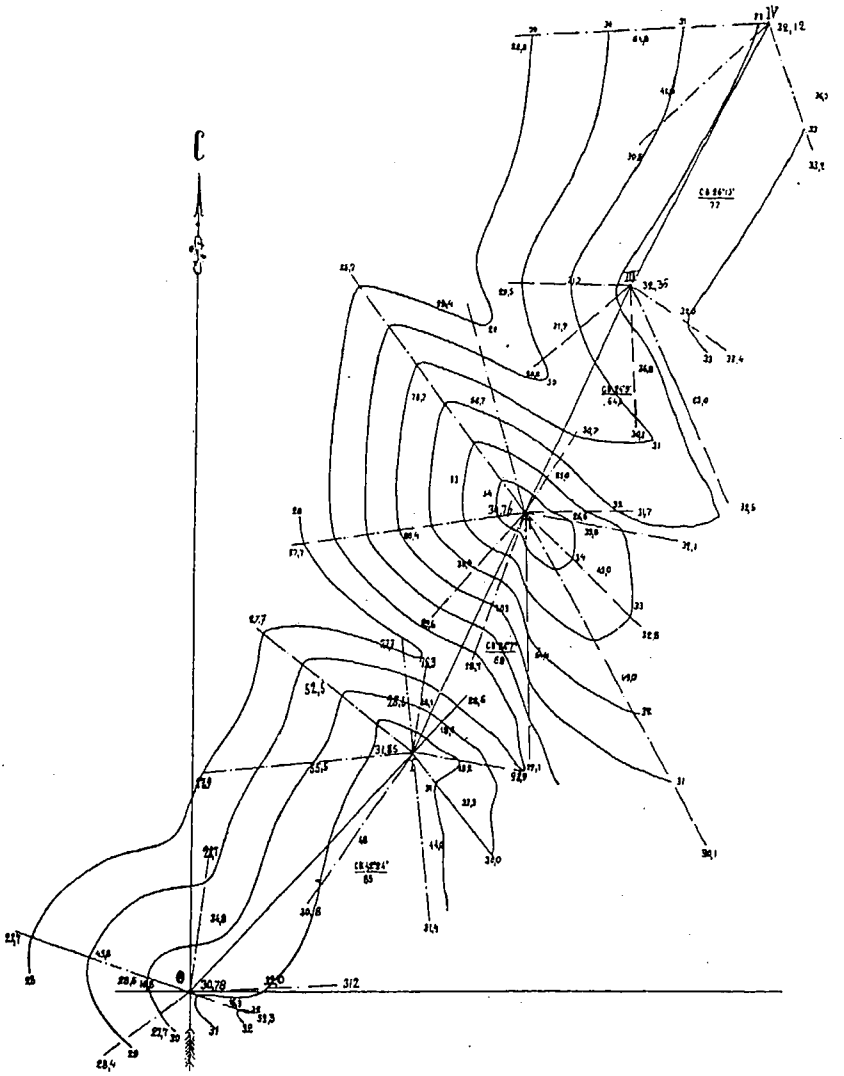
Полевой кроки.

Спуски показаны стрѣлками (берг—штрихами).



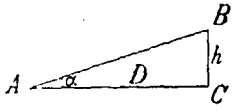
Черт. 338а.

Планъ тахеометрической съемки.



Масштабъ
въ дюймѣ 20 саж.

Черт. 338b.



Черт. 339.

лежатъ на двухъ сосѣднихъ между собою горизонталяхъ. Прежде всего опредѣлимъ по масштабу плана длину D заданной по плану прямой AC (черт. 339), т. е. заложеніе наклонной прямой AB. Отвѣсное разстояніе $h=BC$ между горизонтальными сѣченіями (или иначе между горизонталями) должно быть или дано, или опредѣлено изъ надписей горизонталей по плану (см. напр. черт. 336). Изъ чертежа видно, что

$$Cotg\alpha=\frac{D}{h}.$$

Чтобы опредѣлить по этому котангенсу соотвѣтствующій ему уголъ, не прибѣгая къ логариѳмическимъ таблицамъ, употребляютъ *масштабъ заложеній* (или иначе *шкалу заложеній*),—который обыкновенно строится на планѣ, напримѣръ, по таблицѣ заложеній, соотвѣтственно избранному h. Если въ формулѣ $Cotg\alpha=\frac{D}{h}$ сдѣлаемъ $h=1$, а α равнымъ послѣдовательно:

1°, 2°, 3°, 4°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35°, 40° и 45°, то вычисленіе даетъ слѣдующую таблицу заложеній D:

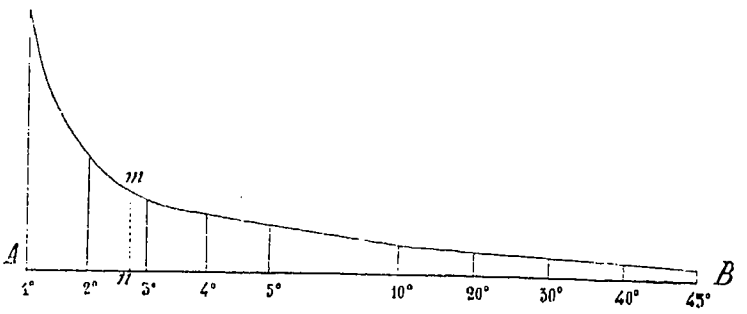
Таблица заложеній при $h=1$ саж.

Углы накл.	1°	2°	3°	4°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Заложеніе D въ саж.	57,3	28,7	19,1	14,3	11,5	5,7	3,8	2,8	2,2	1,8	1,5	1,2	1,0

Такая таблица можетъ быть вычислена для различныхъ значеній h; изъ нея можетъ быть получено какъ заложеніе D по данному углу α, такъ и наоборотъ: по данному заложенію D легко отыщется искомый уголъ наклона α.

Масштабъ заложеній или, иначе, *масштабъ крутостей* строится такъ: на прямой AB (чер. 340) откладываются произвольные, но равные между собою по длинѣ, промежутки, и изъ точекъ отложенія возставляютъ перпендикуляры, на нихъ *въ масштабѣ плана* наносятъ вычисленныя заложенія D. Наконецъ, соединивъ концы перпендикуляровъ кривою и подписавъ у подошвъ ихъ числа градусовъ которымъ они соотвѣтствуютъ, получимъ требуемый мас-

штабъ заложеній [1]). Чтобы по такому масштабу опредѣлить въ произвольномъ мѣстѣ плана уголъ наклоненія, измѣряютъ циркулемъ по плану заложеніе D, узнаютъ отвѣсное разстояніе h и дѣлятъ D на h; напр., при $h=1$ заложеніе $D=16{,}7$ саж.; тогда, взявъ по масштабу плана



Черт. 340.

16,7 саж., опредѣляютъ то мѣсто масштаба заложеній, которое равно этому растворенію циркуля; пусть оно будетъ mn. Такъ какъ mn отстоитъ отъ заложенія въ 2^0 примѣрно на $^3/_4$ всего разстоянія между заложеніями для 2^0 и 3^0, то искомый уголъ наклоненія покатости есть $2^3/_4{}^0$. Если D соотвѣтствуетъ не двумъ сосѣднимъ горизонталямъ, то разумѣется его необходимо дѣлить не на h, а на nh, гдѣ n число промежутковъ между равно отстоящими горизонталями, пришедшихся по длинѣ D.

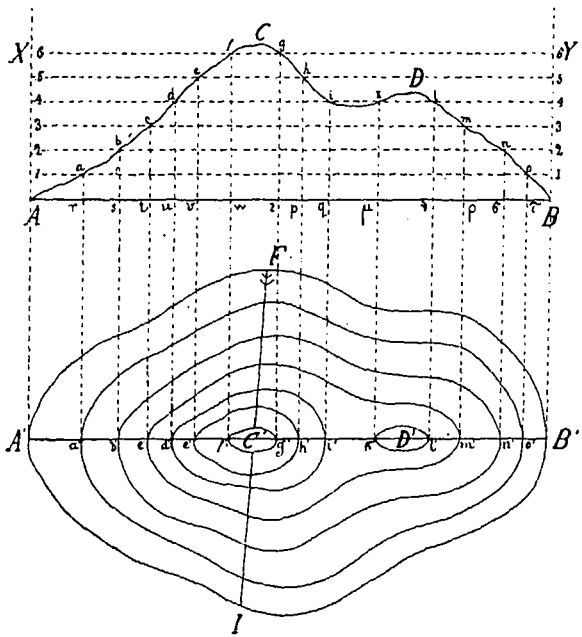
Такъ какъ масштабъ крутостей измѣняется съ измѣненіемъ h и съ измѣненіемъ масштаба плана, то для опредѣленія угла наклоненія по плану съ горизонталями необходимо, чтобы на каждомъ такомъ планѣ былъ начертанъ и масштабъ крутостей.

Задача 2-я. По плану съ горизонталями требуется вычертить профиль мѣстности, т. е. ея разрѣзъ вертикальною плоскостью по направленію линіи $A'B'$ (черт. 341).

Цифрами 1, 2, 3.....6 на чертежѣ обозначены номера горизонталей, образовавшихся отъ сѣченія мѣстности горизонтальными плоскостями, счетъ которыхъ начинается отъ низшей точки A' или B'. Пусть эти сѣкущія плоскости отстоятъ другъ отъ друга на отвѣсномъ разстояніи h, которое для рѣшенія задачи должно быть дано. Проведемъ на

[1]) Заложенія можно было бы для угловъ, не превышающихъ 15^0 нанести просто вдоль прямой AB, но для большей наглядности ихъ откладываютъ на перпендикулярахъ. Если точность масштаба не велика, то концы этихъ перпендикуляровъ можно соединить вмѣсто кривой прямою, но то и другое будетъ равносильно допущенію пропорціональности измѣненія $\cot g$ измѣненію угла, и тогда промежутки на прямой AB можно брать произвольными и не равными между собою.

бумагѣ прямую AB (черт. 341), на которой отложимъ послѣдовательно длины $Ar = A'a'$, $As = A'b'$, $At = A'c'$, ... $AB = A'B'$, въ какомъ-либо масштабѣ, напримѣръ, масштабѣ плана; далѣе изъ точекъ отложенія r, s, t, u, v, w, . . . μ, ν, ρ, σ, τ возставимъ перпендикуляры и нанесемъ на перпендикулярѣ ra высоту h, на перпендикулярѣ sb высоту

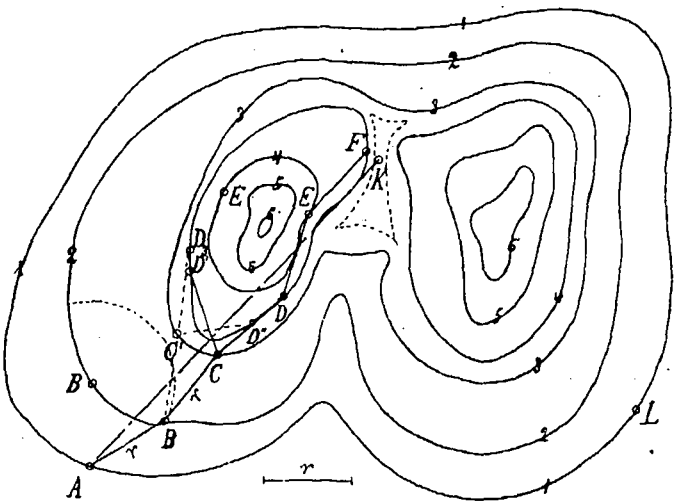


Черт. 341.

$2h$, на $tc — 3h$, на $ud — 4h$, на перпендикулярахъ wf и zg — по $6h$ (ибо точки f' и g' лежатъ на одной горизонтали), и такъ поступаемъ далѣе, откладывая всѣ высоты на перпендикулярахъ, напр., въ масштабѣ въ 10 разъ крупнѣе масштаба плана. Очевидно, что точки A, a, b, c, d,... C, g,. ...k, D, l, m,... B изображаютъ точки мѣстности, а потому, соединивъ ихъ прямыми, получимъ профиль мѣстности по линіи $A'B'$. Подобнымъ же образомъ можно построить профиль по прямой IF или ломанной $A'C'F$ или $IC'B'$.

Задача 3-я. По плану съ горизонталями требуется спроектировать кратчайшую линію даннаго уклона между двумя данными пунктами, т. е. провести ее такъ, чтобы ея уклонъ вездѣ равнялся заданной величинѣ, напримѣръ, 0,008 и нигдѣ не пришлось бы дѣлать при этомъ выемокъ и насыпей. Пусть черт. 342 представляетъ часть плана съ двумя данными точками A и K, которыя нужно соединить линіей даннаго уклона. По масштабу плана беремъ циркулемъ заложеніе D для угла α, для котораго

$tg = 0{,}008$, т. е. $D = h : 0{,}008 = 125\ h$ (см. также § 198), и, поставивъ одну его ножку въ точку A, описываемъ другою ножкою дугу, пересѣкающую слѣдующую, вторую горизонталь въ двухъ точкахъ B' и B. Направленіе по линіи AB *выгоднѣе*, чѣмъ по AB', ибо AB ближе подходитъ къ прямой линіи AK, соединяющей A съ K. Далѣе изъ точки B засѣкаютъ третью горизонталь тѣмъ же радіусомъ r равнымъ заложенію D въ C' и C, выбравъ точку C, лежащую нѣсколько ближе къ K, получаютъ дальнѣйшее направленіе линіи заданнаго уклона. Подобнымъ же образомъ изъ точекъ C (или C') можно засѣчь четвертую горизонталь въ



Черт. 342.

точкахъ D и D' (или D'' и D_3), и за окончательное направленіе взять CD. Наконецъ, послѣднее колѣно заданной линіи будетъ EF.

Очевидно, что рѣшеніе задачи не всегда возможно; такъ, если бы за первое колѣно требуемой линіи приняли не $AB = r$, а AB', то изъ B' (на чертежѣ точка B' лежитъ лѣвѣе точки B) нельзя было бы засѣчь третью горизонталь радіусомъ $r = D$, ибо r, равное D, меньше *кратчайшаго* разстоянія по плану между двумя сосѣдними горизонталями (считаемаго по нормали къ нимъ въ точкѣ B'). Задача также была бы невозможна, если бы r оказался болѣе наибольшаго отрѣза между горизонталями. Если бы заданная линія была осью дороги, то разумѣется дорогу желательно имѣть всегда съ меньшимъ числомъ поворотовъ и съ возможно меньшимъ уклономъ, не превышающимъ *предѣльнаго*, (не упуская, однако, изъ вида, что линія должна быть кратчайшею), а потому 1-й случай является болѣе благо-

пріятнымъ, чѣмъ второй, ибо тогда неизбѣжны высѣмки [1]). При проектированіи дороги отрѣзки между горизонталями *не* должны быть менѣе вычисленнаго заложенія *D*.

Надо указать, между прочимъ, и на то, что при проложеніи дороги на мѣстности нужно въ нѣкоторыхъ мѣстахъ ея сдѣлать достаточно длинныя горизонтальныя площадки, служащія для отдыха. Предварительно эти площадки назначаются на планѣ.

Задача 4-я. По данному плану съ горизонталями (черт. 343) *опредѣлить площадь бассейна водотека* (*тальвега*) *MON для точки N пересѣченія его линіею ANB даннаго направленія.*

Бассейномъ рѣки, ручья или оврага для данной ихъ точки или иначе *водосборною площадью* принято называть ту площадь, съ которой *вода*, образующаяся отъ атмосферныхъ осадковъ (дождя, снѣга, таянія льда), или вообще верхняя вода, согласно условіямъ рельефа (по расположенію скатовъ) должна *вся скатиться* въ избранную рѣчку, балку или оврагъ (водотекъ), притомъ *выше* (по теченію) *даннаго мѣста N ихъ пересѣченія* указанной линіею *ANB и* затѣмъ *пройти* черезъ это мѣсто пересѣченія.

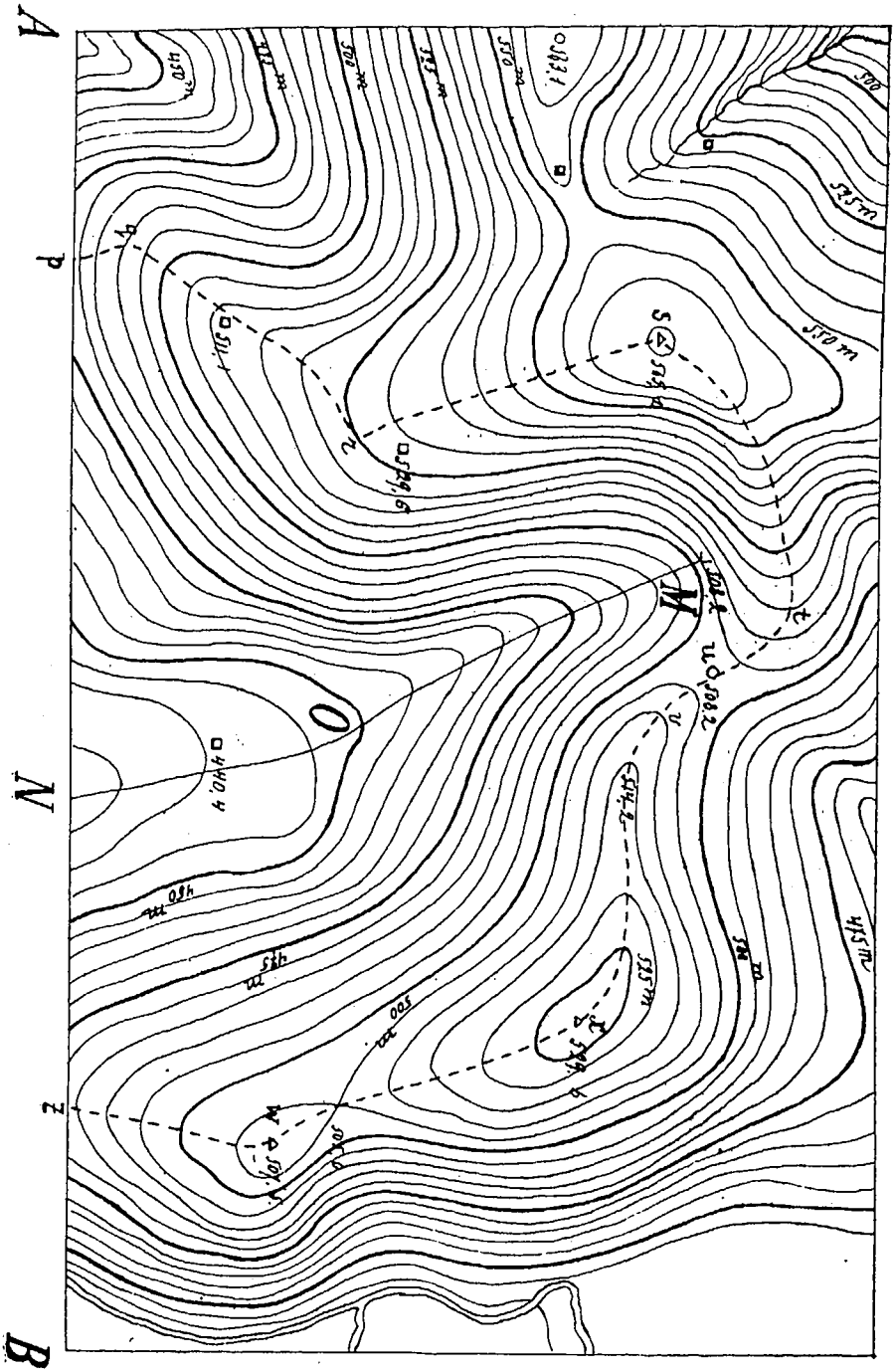
При опредѣленіи площади бассейна долины *MON* мы прежде всего обращаемъ наше вниманіе на повышенныя точки, окружающія заданный тальвегъ, а именно вершины *s* (565,1), *x* (529,6) и *w* (507,5) и сѣдловины *u* (503,5) и 505,0 (между *x* и *w*). Отъ этихъ повышенныхъ точекъ по направленію къ оси *MON* образуются скаты, являющіеся щеками интересующей насъ долины. Границею щекъ, несущихъ воду въ долину, служитъ *водораздѣльная* линія или хребтовая линія. Избравъ вершину *s* за исходную точку границы бассейна, мы приводимъ хребтовыя линіи *sr*, *rq*, *qp* съ западной части и *st* и *tu* — съ сѣвера. Отъ сѣдловины *u* поднимаемся до вершины *x* — на юго-востокъ и съ нея спускаемся къ сѣдловинѣ 505,0 на юго-востокъ. Отсюда поднимаемся къ вершинѣ *w* (507,5); и къ югу отъ нея спускаемся по хребту *wz* до линіи *AB*. Площадь *pqrstuvxwzNp* можно принять за искомую водосборную площадь.

Правильность назначенія бассейновъ по картѣ зависитъ главнымъ образомъ отъ умѣнья быстро читать неровности мѣстности по горизонталямъ [2]).

---

[1]) Въ видѣ упражненія предлагается изъ точки *K* спуститься въ точку *L* линіею, наклоненною къ горизонту подъ угломъ $^1/_4{}^0$, а также начертить профиль спроектированной линіи *ABCDEF*.

[2]) Въ видѣ упражненія, въ цѣляхъ ознакомленія съ видомъ рельефа границъ водосборной площади, рекомендуется вычертить карандашомъ на клѣтчатой бумагѣ профиля линій *Npqvstuvxwz N* и *tMON*.



Черт. 343.

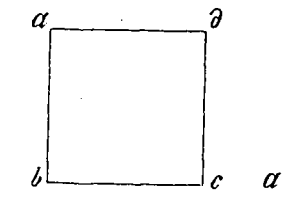
ГЛАВА VII.

Мензульная съемка.

§ 221. **Предварительныя понятія.** Въ предшествующихъ трехъ главахъ мы разсмотрѣли горизонтальную и вертикальную съемку, какъ методъ, въ основу котораго положено собираніе *цифровыхъ данныхъ* для линейныхъ и градусныхъ величинъ, а именно: длинъ линій, угловъ наклоненій, угловъ поворотовъ, азимутовъ, а также и для отмѣтокъ точекъ земной поверхности. Какъ неизбѣжное слѣдствіе такого пріема являлась необходимость въ *обработкѣ собраннаго матеріала*, и только послѣ ряда вычисленій являлась возможность построенія изображенія снятой мѣстности въ видѣ плана или профиля. Преимуществомъ такого способа съемки являлась возможность построенія *изображенія въ любомъ масштабѣ* и въ возможностм возстановленія границъ ранѣе существовавшаго (во время съемки) контура. Но рядомъ съ этимъ способомъ существуетъ и другой пріемъ съемки—графическій, устраняющій исключительное собираніе цифровыхъ данныхъ и дающій возможность по отношенію къ горизонтальной съемкѣ *избѣжать домашнихъ работъ въ видѣ вычисленій и накладки плана.* Главная особенность такой съемки состоитъ въ томъ, что горизонтальныя проекціи угловъ и линій, связанныхъ этими углами, получаются *графически,* путемъ вычерчиванія и вырисовки контуровъ по правиламъ построенія на бумагѣ фигуръ, подобныхъ даннымъ, однако безъ употребленія транспортира при нанесеніи угловъ на бумагу, т. е. планъ снимаемой мѣстности вычерчивается въ полѣ, *попутно, во время самой съемки,* и *является* непосредственнымъ слѣдствіемъ полевыхъ дѣйствій. Очевидно, что этотъ способъ съемки обладаетъ наглядностію и требуетъ отъ съемщика аккуратности и вѣрности глаза при вырисовкѣ изгибовъ контуровъ. Онъ позволяетъ почти тотчасъ же замѣтить сдѣланные промахи, такъ какъ мѣстность постоянно передъ глазами. Въ немъ отсутствуетъ

требованіе отъ съемщика навыка въ вычисленіяхъ и въ обращеніи съ чертежными инструментами, равно какъ и наличности знаній у съемщика пріемовъ, выработанныхъ теоріею и практикою въ составленіи плана и профиля по цифровымъ даннымъ; все это дѣлаетъ второй пріемъ съемки повидимому болѣе простымъ и легкимъ. Существеннымъ недостаткомъ второго способа является то обстоятельство, что *подлинный планъ* можно составить *только одинъ разъ* въ томъ масштабѣ, который заранѣе выбранъ. Такая съемка называется, какъ уже сказано, *графическою* или *мензульною*.

Послѣднее названіе происходитъ отъ инструмента, на которомъ чертится планъ въ полѣ; онъ имѣетъ видъ стола и называется *мензулой*[1]). Необходимою составною частію мензулы является хорошо выструганная гладкая *планшетная* доска. Мензульной или планшетной доскѣ придаютъ видъ квадрата (черт. 344) и на ней укрѣпляютъ листъ чистой планной бумаги. Нерѣдко и планъ, полученный мензульной съемкой, называютъ *планшетомъ*. Чтобы на мензульной доскѣ получить въ полѣ фигуру, подобную горизонтальной проекціи данной фигуры на мѣстности, необходимо:



Черт. 344.

1) приводить планшетъ въ горизонтальное положеніе,

2) устанавливать данную точку на планшетѣ надъ соотвѣтствующей ей точкой мѣстности и обратно,

3) разсматривать прямую линію на планѣ какъ слѣдъ пересѣченія планшета съ вертикальной плоскостью, проходящею черезъ линію мѣстности,

4) имѣть при мензулѣ приборъ, дозволяющій осуществлять вертикальную плоскость и умѣть совмѣщать эту плоскость съ линіею мѣстности,

5) умѣть отмѣчать линію пересѣченія планшета съ вертикальной плоскостью

и 6) умѣть линію на планшетѣ ставить въ одну отвѣсную плоскость съ линіею мѣстности.

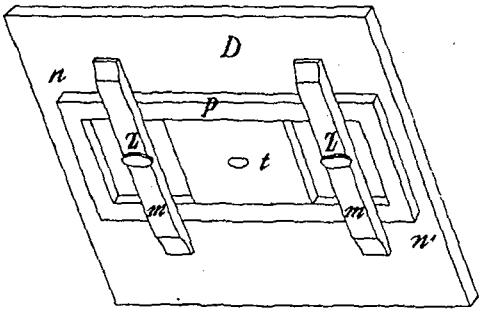
Совокупность послѣдовательнаго выполненія этихъ условій приведетъ насъ къ умѣнью поставить мензульную доску въ любомъ пунктѣ даннаго контура такъ, какъ будто планшетъ въ эту новую данную на мѣстности точку изъ начальной точки контура былъ передвинутъ въ горизонтальной плоскости *параллельно самому себѣ*. Пріемъ установки планшета въ такое положеніе, при которомъ линіи плана становятся въ соотвѣтственно параллельное положеніе линіямъ мѣстности, называется *ориентированіемъ* планшета.

---

[1]) Названіе взято съ латинскаго языка: *mensa*—столъ, *mensula*—столикъ.

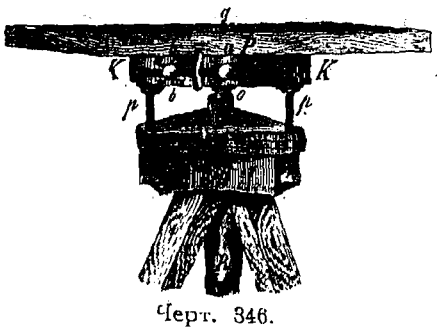
На умѣньи ориентировать планшетъ и основана графическая съемка.

§ 222. Устройство мензулы. Всякая мензула состоитъ изъ планшетной доски, подставки и штатива. По виду подставокъ мензулы сильно разнятся другъ отъ друга и часто по этимъ послѣднимъ носятъ свое названіе. Подставка связываетъ доску со штативомъ и предназначается какъ для болѣе быстраго и точнаго приведенія мензулы въ горизонтальное положеніе, такъ и для центрированія, т. е. для установки доски надъ данною точкою мѣстности. Существуетъ, напримѣръ, подставка въ видѣ втулки съ кругомъ; втулка надѣвается на шипъ (цапфу) штатива, а кругъ винтами снизу привертывается къ мензульной доскѣ, — это такъ называемая *малая блокъ-мензула*. Приведеніе ея доски въ горизонтальное положеніе дѣлается перестановкою ножекъ штатива. Иногда мюнхенскій штативъ мензулы съ круглою головою связываютъ съ планшетною доскою болѣе массивною подставкою, оканчивающеюся на верху шипомъ — цапфою, и тогда мензула называется *„большая блокъ-мензула“*. Распространенная въ Россіи мензула—мюнхенская, системы Рейссига, усовершенствованная нашимъ Военно-топографическимъ Отдѣломъ Главнаго Штаба[1]).



Черт. 345.

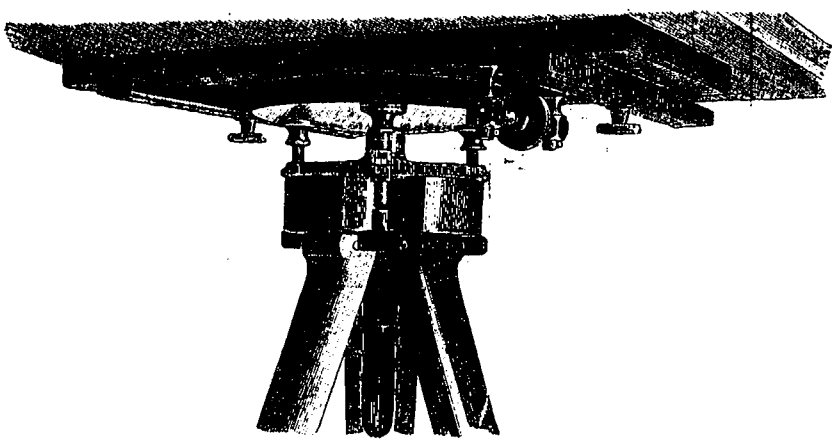
Верхняя доска (или планшетъ) у мюнхенской мензулы выклеена изъ сухого липоваго дерева со всѣми столярными предосторожностями, такъ чтобы она отъ сырости не коробилась. Верхняя поверхность доски представляетъ плоскость. Съ обратной стороны въ доску *D* врѣзаны металлическія гнѣзда для винтовъ *s* двухъ планокъ *m* (черт. 345), которыми планшетъ соединяется съ рамою *npw* подставки.



Черт. 346.

[1]) Мюнхенская мензула въ своемъ первоначальномъ видѣ имѣла существенные недостатки, которые впослѣдствіи постепенно уничтожались въ механической мастерской нашего Главнаго Штаба подъ руководствомъ Рейссига, отчего она и стала извѣстна въ Россіи подъ именемъ мензулы Рейссига.

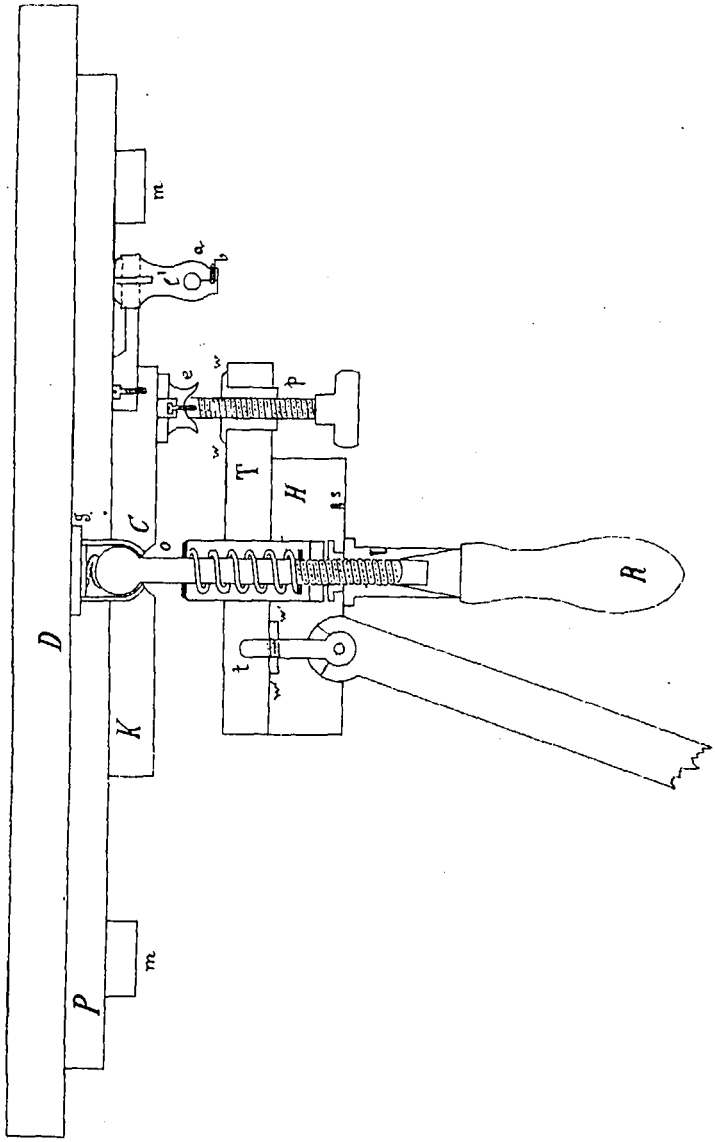
Мензула Военно-топографическаго Отдѣла Главнаго Штаба изображена въ перспективѣ на чертежахъ 346 и 347, а въ разрѣзѣ на чертежѣ 348. Подставка ея накладывается на голову *H* мюнхенскаго штатива и удерживается на ней отъ вращательнаго движенія тремя шипами. Сама подставка состоитъ изъ трехъ досокъ: 1) изъ доски *T*, имѣющей видъ равносторонняго треугольника съ округленными углами, чрезъ середину ея проходитъ металлическій цилиндръ *C*, а по краямъ три подъемныхъ винта *p*, 2) изъ накладывающейся на подъемные винты круглой доски *K* и 3) изъ прямоугольной доски *P*, накладывающейся на доску *K*. Винты *p* имѣютъ гнѣзда *a* въ доскѣ *T* и оканчиваются наверху шляпками *c*. На чертежѣ 347 доска *T* замѣнена тремя ме-



Черт. 347.

таллическими рукавами. Доска *K*, а вмѣстѣ съ ней и *P*, вращаются, скользя на верхнихъ концахъ подъемныхъ винтовъ *p* около вертикальной оси *o*; доски соединены между собою цилиндрикомъ съ гайкою *g* (черт. 348) при томъ такъ, что доска *P* можетъ еще сверхъ того самостоятельно поворачиваться на доскѣ *K*. Къ доскѣ *P* прикрѣплены клещи *a*, а къ кругу *K*—клещи *b* (черт. 346 и 349). Проходящимъ чрезъ эти клещи *микрометреннымъ* винтомъ съ двойной нарѣзкой *l*, и *l'* и грифомъ — шляпкою *M* (черт. 346, 347 и 348) собственно и можно сообщать медленное вращеніе доскѣ *P* на доскѣ *K*. Чрезъ средины досокъ *P*, *K* и цилиндръ *C* проходитъ *становой винтъ*, служащій вертикальною осью вращенія *O*; онъ представляетъ стержень, оканчивающійся наверху шарикомъ (яблокомъ), а внизу винтовой нарѣзкой, на которую навинчивается гайка *l'* съ рукояткою *R* (черт. 348). Становой винтъ служитъ для

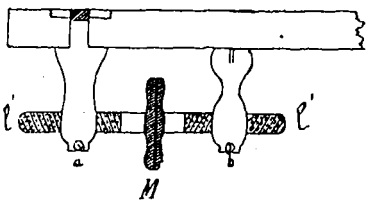
притягиванія на-крѣпко досокъ P и K къ верхней части e подъемныхъ винтовъ p, т. е. для прекращенія грубаго вращенія досокъ P и K около вертикальной оси. Шляпки e



Черт. 348.

устроены такъ, что могутъ наклоняться на концахъ подъемныхъ винтовъ, а чрезъ это доска K при всякомъ положеніи подъемныхъ винтовъ можетъ плотно къ нимъ прилегать.

Яблоко имѣетъ продольный прорѣзъ, въ который приходится горизонтальный шипъ верхняго цилиндра *C*. Въ цилиндрѣ помѣщается вокругъ станового винта спиральная пружина сжимающаяся подъ дѣйствіемъ подъемныхъ винтовъ. Между гайкою *g* и яблокомъ станового винта также имѣется небольшая спиральная пружина. На чертежѣ 349 отдѣльно показано устройство микрометреннаго винта *M*. Прямоугольная продолговатая доска *P* (черт. 348) иногда состоитъ изъ рамы *n n'*, въ срединѣ которой закрѣпляется доска *t* (черт. 345). Этой то частію рама *P* собственно и кладется на кругъ *K*. На доску *P* накладывается планшетъ *D* и закрѣпляется при ней посредствомъ деревянныхъ планокъ *m* проходящими чрезъ нихъ винтами *z* [1]).



Черт. 349.

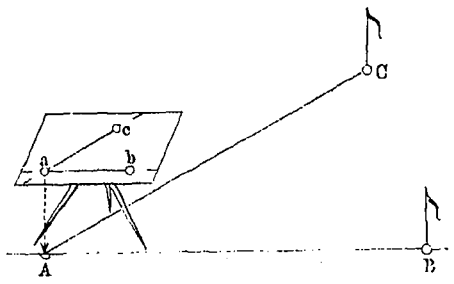
Вмѣсто деревянной подставки, состоящей изъ двухъ досокъ *T* и *K* (черт. 348), за послѣднее время стала встрѣчаться металлическая подставка; въ общемъ она напоминаетъ треножникъ теодолита на 3 подъемныхъ винтахъ привинчиваемый къ головѣ легкаго французскаго штатива становымъ винтомъ съ свободной спиральной пружиной, подтягиваемой къ головѣ штатива навертывающейся на становой винтъ гайкою, служащей точкой опоры для спирали.

На вертикальной оси треножника помѣщается мѣдный кругъ, къ которому привертывается тремя винтами мензульный планшетъ. Верхній кругъ подставки (а вмѣстѣ съ тѣмъ и мензульная доска) имѣетъ нажимательный винтъ и микрометренный винтъ съ цилиндрической пружиной (контръ-спиралью); Механикъ Герляхъ (согласно сдѣланнаго ему нами указанія) замѣняетъ этотъ микрометренный винтъ микрометреннымъ винтомъ съ двойной на рѣзкой и грифомъ по серединѣ (черт. 349), такъ какъ контръ-спираль, при значительной тяжести доски, легко сжимается и даетъ нежелательныя отклоненія оріентированному и установленному планшету. Благодаря солидности подставки и присутствія нажимательнаго винта мензула получаетъ большую устойчивость и не требуетъ при употребленіи постояннаго то отпусканія, то закрѣпленія станового винта.

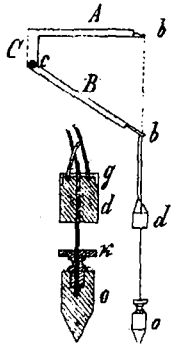
§ 223. Построеніе на мензулѣ горизонтальнаго проложенія угла и необходимыя принадлежности мензулы. Если представимъ себѣ, что мензульная доска приведена въ горизонтальное поло-

[1]) Если доска *P* сплошная, то каждая скоба *m* имѣетъ по два винта *z*.

женіе и находится надъ вершиною угла *CAB* (черт. 350) какой-либо точки мѣстности такъ, что вершина этого угла и точка, намѣченная на мензульной доскѣ, оклеенной планною бумагою, находятся на одной вертикальной линіи, а также вообразимъ себѣ отвѣсныя плоскости черезъ обѣ стороны угла на мѣстности, то эти вертикальныя плоскости оставятъ на мензулѣ слѣды въ видѣ прямыхъ *ca* и *ba*, пересѣкающихся въ намѣченной на мензулѣ точкѣ *a*. Очевидно эти пересѣкающіяся линіи дадутъ на мензулѣ (если линіи проведемъ напр. карандашемъ) графически горизонтальное проложеніе *cab* угла мѣстности *CAB*. Отсюда слѣдуетъ, что одна мензула не можетъ служить для съемки, а при ней должны находиться еще и слѣдующія принадлежности:



Черт. 350.

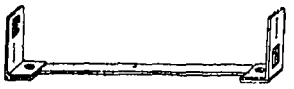


Черт. 351.

1) Уровень, устанавливаемый на доску описанный нами на стр. 91 настоящаго курса (черт. 114)

2) Приборъ для установки точки мѣстности и ея изображенія на мензулѣ на одну отвѣсную линію, или иначе—*вилка* съ отвѣсомъ (черт. 351).

3) Приборъ, позволяющій мысленно проводить отвѣсныя плоскости черезъ стороны угла мѣстности, проходящіе черезъ точку, намѣченную на мензулѣ, т. е. дающій возможность визировать вдоль сторонъ угла и чертить слѣды отвѣсныхъ плоскостей визированія, — это *алидада* (съ діоптрами)—черт. 352, или *кипрегель* (съ зрительною трубою) черт. 353.

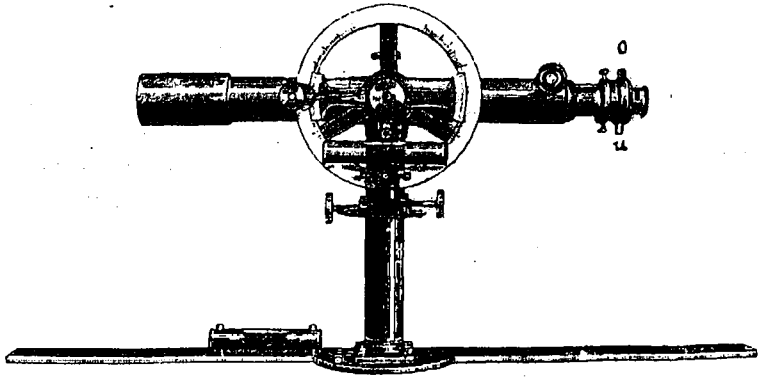

Черт 352.

4) Приборъ, съ помощью котораго ребро планшета *ab* можно было бы ставить по одному и тому же направленію относительно странъ свѣта въ любой точкѣ мѣстности. Такимъ приборомъ является *буссоль*. (См. черт. 359).

§ 224. Повѣрки мензулы. Отъ мензулы требуется выполненіе слѣдующихъ условій.

1) *Мензула должна быть устойчива*, т. е. послѣ закрѣпленія станового винта, разъ установленный планшетъ не долженъ измѣнять своего положенія при легкомъ прикосновеніи къ нему рукъ съемщика, или отъ передвиженія по нему принадлежностей мензулы. Это условіе повѣряется

такъ: убѣдившись простымъ осмотромъ, что винты a' (черт. 348) у головы H мюнхенскаго штатива, винтики b (черт. 346) у клещей микрометреннаго винта, хорошо закрѣплены, приводятъ планшетную доску въ горизонтальное положеніе подъемными винтами съ помощію уровня (см. стр. 91) кладутъ на нее визирный снарядъ, напр., алидаду, и, закрѣпивъ становой винтъ, визируютъ черезъ діоптры на какую-нибудь точку мѣстности, проводя на планшетѣ карандашомъ черту вдоль ребра линейки этого снаряда; потомъ *легкимъ нажимомъ пальца* сбоку, на уголъ доски, выводятъ ее немного изъ первоначальнаго положенія. Отстранивъ палецъ отъ доски и убѣдившись предварительно въ томъ, что ребро линейки визирнаго снаряда осталось у прочер-



Черт. 353.

ченной на планшетѣ линіи, *смотрятъ, не двинулся ли волосокъ визирнаго снаряда съ той точки мѣстности*, на которую было сдѣлано визированіе. Если нѣтъ, то условіе соблюдено. Если условіе провѣрено дважды—прикладываніемъ пальца съ обѣихъ сторонъ угла доски, то говорятъ, что мензула только *пружинитъ*, т. е. мензула достаточно устойчива; въ противномъ случаѣ надо обнаружить то мѣсто подставки или штатива, которое порождаетъ шатаніе, и въ случаѣ надобности поручить исправленіе механику.

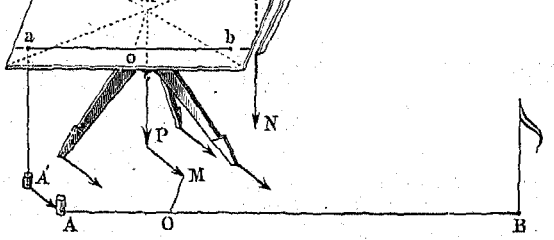
2) *Верхняя поверхность планшета должна быть плоскостью.* Это условіе повѣряется такъ: прикладываютъ къ поверхности доски по различнымъ направленіямъ ребро вывѣренной линейки; если оно каждый разъ плотно, *безъ просвѣтовъ*, прилегаетъ къ доскѣ, то условіе выполнено. Исправленіе поручается опытному столяру или механику.

3) *Верхняя плоскость планшета должна быть перпендикулярна къ вертикальной его оси вращенія.* Доску приводятъ при помощи вывѣреннаго уровня въ горизонтальное положеніе, затѣмъ постепенно вращаютъ планшетъ около

его вертикальной оси и наблюдаютъ,—не сходитъ ли пузырекъ уровня съ мѣста. Если нѣтъ, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ исправленіе поручается механику.

§ 225. Описаніе принадлежностей мензулы и ихъ повѣрки. I) *Уровень* служитъ, какъ извѣстно, для приведенія плоскости инструмента, въ настоящемъ случаѣ плоскости планшета, въ горизонтальное положеніе. При мензулѣ употребляется или круглый уровень, или одинъ цилиндрическій, или два цилиндрическихъ, сложенныхъ подъ прямымъ угломъ. Иногда уровень не составляетъ отдѣльной принадлежности мензулы, а приклѣпляется къ линейкѣ алидады или кипрегеля. (Употребленіе и повѣрки уровней,—см. §§ 80—86).

II. *Вилка*, состоитъ изъ трехъ планокъ A, B и C (черт. 351). Обѣ планки A и C составляютъ одно склеенное цѣлое, планка B вращается на шарнирѣ c, она длиннѣе планки A. Нить съ отвѣсомъ o закрѣпляется у нижней планки B; ея продолженіе bb проходитъ черезъ остріе b верхней планки A тогда, когда B отогнута, и планка A горизонтальна. Двойной отвѣсъ (съ противовѣсомъ d) гарантируетъ болѣе быструю установку нити въ отвѣсное положеніе при любой высотѣ мензулы. Вилка служитъ для *центрированія* мензулы [1]). Для этого предварительно центрируютъ мензулу и



Черт. 354.

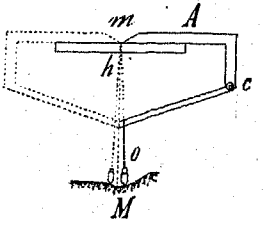
приводятъ ее въ горизонтальное положеніе *на глазъ* послѣ; чего вилку кладутъ на горизонтальную доску мензулы (на планшетъ), (черт. 354), прилаживая ее съ той стороны планшета, съ которой вилка ляжетъ большею частію планки A на планшетъ; ослабивъ затѣмъ винты s (черт. 345) у планокъ m планшета и удерживая остріе вилки у точки n (черт. 354) на планшетѣ, двигаютъ планшетъ по подставкѣ P (черт. 354) мензулы до тѣхъ поръ, пока шпицъ отвѣса вилки установится надъ точкою N мѣстности [2]). Проекти-

[1]) Центрировка дѣлается послѣ *приближеннаго ориентированія* (*см. дальше* §).

[2]) Если у края доски при точкѣ a вилку приложить неудобно, то изъ центра m опускаютъ перпендикуляръ mo на линію ab, строятъ на линіи AB отрѣзокъ $AO = ao$, а въ точкѣ O—перпендикуляръ (при помощи чертежнаго винкеля) $OM = om$ и центрируютъ m надъ M, передвигая мензулу изъ P въ M.

рованіе точки мѣстности *A* (черт. 350) на мензулу дѣлается такъ: установивъ мензулу горизонтально надъ точкою *A* мѣстности, кладутъ вилку на мензулу и двигаютъ вилку по доскѣ до тѣхъ поръ, пока шпицъ отвѣса *o* совпадетъ съ точкою *A* мѣстности; остріе *b* даетъ проекцію *a* точки *A* (черт. 350).

Отъ вилки нужно требовать, чтобы *при горизонтальномъ положеніи верхней планки A ея остріе b и шпицъ отвѣса O лежали на одной отвѣсной линіи.* Для провѣрки условія кладутъ вилку на мензулу *два раза* (черт. 355) *съ двухъ различныхъ сторонъ* и проектируютъ точку *m* два раза на землю. Если проекціи не совпадутъ въ одну точку, то вилка невѣрна. Второе положеніе вилки сдѣлано пунктиромъ на чертежѣ 355. При достаточно длинномъ брусѣ *B* у невѣрной вилки мѣняютъ мѣсто закрѣпленія отвѣса. Если брусъ *A* будетъ длиннѣе требуемой величины, то перемѣщаютъ мѣдную пластинку съ остріемъ *b* по нижней плоскости планки *A*.



Черт. 355.

Вилку употребляютъ, если мензульная съемка (черченіе плана въ полѣ) *ведется въ крупномъ масштабѣ,* тогда площадь круга нѣкотораго радіуса *r*, взятая на земной поверхности, перестаетъ на планшетѣ изображаться въ видѣ точки. И такъ какъ за точку *при графической съемкѣ* на планѣ можно принять длину въ $\frac{1}{200}$ долю дюйма, то понятно, что число саженъ въ радіусѣ *r* круга, исчезающаго на мензулѣ, (назовемъ его *кругомъ исчезновенія*) будетъ зависѣть отъ масштаба съемки. Если масштабъ съемки, напр., $\frac{1}{8400}$, т. е. въ 1 дюймѣ 100 саженъ, то $\frac{1}{200}$ дюйма на планшетѣ будетъ соотвѣтствовать 0,5 сажени на мѣстности, а для масштаба $\frac{1}{84}$ — 0,005 сажени. Въ первомъ случаѣ линіи мѣстности, меньшія 0,5 сажени, а во второмъ меньшія 0,005 на планшетѣ не рисуются. Обратно, каждая точка на планшетѣ въ первомъ случаѣ будетъ соотвѣтствовать на землѣ кругу исчезновенія, радіуса въ $\frac{1}{4}$ сажени (съ діаметромъ въ 0,5 сажени), а потому уклоненіе въ центрировкѣ на 0,5 сажени не будетъ сказываться на планшетѣ. Во второмъ же случаѣ уклоненія точекъ планшета отъ соотвѣтствующихъ имъ точекъ мѣстности, достигающія полудіаметра круга исчез-

новенія, т. е. $\frac{1}{2}$. 0,005 сажени, уже будутъ оказывать вліяніе на положеніе снимаемыхъ точекъ на мензульный листъ, а потому при масштабахъ въ 1 дюймѣ 10, 5, 2, 1 саженъ вилка должна употребляться; при масштабахъ 50,100 саженъ въ дюймѣ—вилка уже не употребляется.

III) *Алидада* или линейка со скошенными ребрами, длиною почти равная сторонѣ планшета съ находящимися на концахъ ея діоптрами (черт. 356), служитъ для визированія на точки мѣстности и проведенія на планшетѣ линій визированія. Мѣдная линейка при продолжительномъ употребленіи алидады маретъ бумагу, наклеенную на планшетѣ, а потому во избѣжаніе этого нижняя ея поверхность подклеивается бумажною или соломенною полоскою. Въ каждомъ изъ діоптровъ сдѣланъ какъ узкій, такъ и широкій прорѣзъ, вслѣдствіе чего каждый изъ нихъ можетъ быть употребляемъ и за глазной, и за предметный.



Черт. 356.

Для полученія на планшетѣ посредствомъ алидады направленія линіи визированія на предметъ мѣстности, нужно послѣ центрировки мензулы и приведенія доски ея въ горизонтальное положеніе *приложить скошенное ребро линейки алидады къ данной на планшетѣ точкѣ*, визировать черезъ діоптры на соотвѣтственную точку мѣстности—для чего *передвигать алидаду по мензулѣ*, слѣдя свободнымъ глазомъ за тѣмъ, чтобы скошенный край оставался *около данной точки*, а волосокъ предметнаго діоптра покрывалъ бы точку мѣстности и прочертить карандашемъ линію по скошенному ребру линейки.

Алидада должна удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1) *Нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью, а скошенныя ребра ея—прямыми линіями.* Эти условія повѣряются такъ же, какъ и въ простой чертежной линейкѣ.

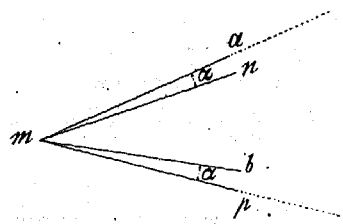
2) Если на линейкѣ алидады прикрѣпленъ цилиндрическій уровень, то требуется, чтобы ось уровня была параллельна нижней плоскости линейки.

3) *Коллимаціонныя плоскости діоптровъ должны быть перпендикулярны къ нижней плоскости линейки.* Повѣрка этого условія дѣлается такъ же, какъ и въ буссоли съ діоптрами (см. стр. 80 п. 7), т. е. съ помощію нити съ отвѣсомъ, для чего планшетъ приводится въ горизонтальное положеніе.

Обыкновенно провѣряютъ и другую коллимаціонную плоскость.

4) *Коллимаціонная плоскость должна или совпадать съ однимъ изъ скошенныхъ реберъ линейки, или быть ему параллельна.* Втыкаютъ въ доску на взаимномъ разстояніи, нѣсколько меньшимъ длины линейки алидады, двѣ тонкія иглы. Это дѣлается съ помощью чертежнаго прямоугольнаго треугольника, причемъ одинъ катетъ его прикладывается къ планшету, а иголки втыкаются по направленію другого катета. Къ воткнутымъ такимъ образомъ иголкамъ прикладываютъ ребро алидады; поворачивая осторожно доску, направляютъ движеніемъ доски одну изъ коллимаціонныхъ плоскостей алидады на точку отдаленнаго предмета и смотрятъ—покрываютъ ли обѣ иглы ту же точку предмета? Если да, то условіе выполнено. Строго говоря, это покрытіе будетъ выполнено только тогда, когда коллимаціонная плоскость проходитъ чрезъ ребро линейки (какъ у алидады, черт. 352), а не параллельна ему; но въ виду ничтожности разстоянія коллимаціонной плоскости отъ ребра линейки сравнительно съ разстояніемъ отъ мензулы до предмета, волосокъ діоптра будетъ покрывать ту же точку даже и тогда, когда коллимаціонная плоскость только параллельна ребру, а не совпадаетъ съ нимъ. Точно такъ же повѣряется и другая коллимаціонная плоскость.

Это условіе можно повѣрять, какъ сейчасъ увидимъ, не особенно строго, потому что оно совсѣмъ не имѣетъ вліянія на точность построенія угла на мензулѣ, а имѣетъ значеніе только при употребленіи на ней буссоли. Въ виду же того, что точность отсчетовъ по буссоли есть $^1/_4$ градуса, достаточно, если настоящее условіе будетъ выполнено съ точностью до $^1/_8{}^0$. Убѣдимся теперь пока въ томъ, что несоблюденіе настоящаго условія не вліяетъ на точность построенія на мензулѣ угла, а впослѣдствіи убѣдимся въ остальномъ. Дѣйствительно, пусть при точкѣ m (черт. 357) на планшетѣ долженъ быть уголъ amb, заключающійся между истинными направленіями на точки A и B мѣстности. Допустимъ, что плоскость визированія составляетъ со скошеннымъ ребромъ линейки нѣкоторый уголъ $\alpha = amn$, тогда вмѣсто линіи ma мы будемъ имѣть линію mn; точно такъ же вмѣсто линіи mb — линію mp. Изъ чертежа ясно видно, что *при употребленіи* во время визированія на точку B мѣстности *того же ребра линейки и той же коллимаціонной плоскости*, что и при визированіи на точку A, линія mp составитъ съ mb уголъ bmp, равный α. Слѣдовательно, начерченный на планшетѣ уголъ nmp равенъ дѣйствительно-

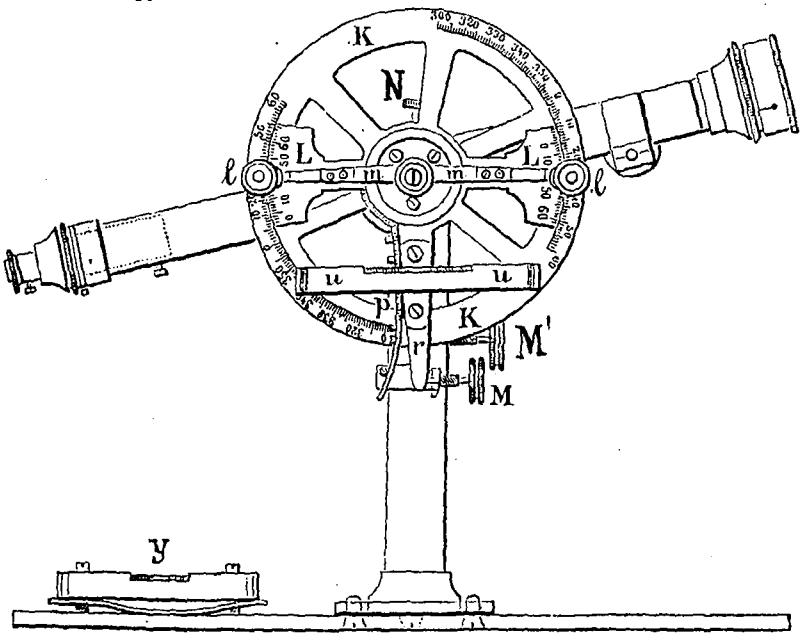


Черт. 357.

му углу *amb* (сличи § 61, стр. 67 — „Мѣсто индекса на алидадномъ кругѣ").

Итакъ, несоблюденіе настоящаго условія не имѣетъ значенія для величины угловъ, при прочерчиваніи по планшету линій по одному и тому же ребру линейки алидады; поэтому во все время продолженія съемки нужно употреблять одну и ту же коллимаціонную плоскость и одно и то же ребро.

IV. *Кипрегель Главнаго Штаба* [1]) (черт. 353 и 358). На мѣдной линейкѣ прикрѣпилена колонна съ горизонтальнымъ на ея верху цилиндромъ — гнѣздомъ оси вращенія трубы. Къ горизонтальной оси вращенія его трубы, (переводящейся черезъ зенитъ) прикрѣпленъ *полный вертикальный кругъ K, вращающійся вмѣстѣ съ трубою*. Грубое

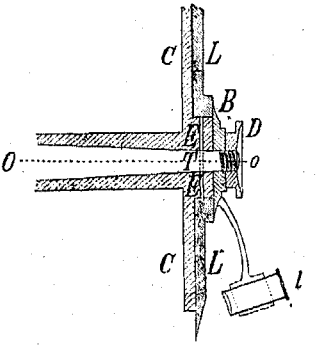


Черт. 358.

движеніе трубы и круга прекращается нажимательнымъ винтомъ *N*, а медленное движеніе сообщается микрометреннымъ винтомъ *M'*. На выступающій конецъ горизонтальной оси надѣта алидада *LL* вертикальнаго круга съ двумя верньерами на концахъ, причемъ отсчетами по двумъ верньерамъ уничтожается, какъ извѣстно, вліяніе эксцентрицитета алидады. Кольцо, которымъ алидада надѣта на горизонтальную ось, имѣетъ внизу рычагъ *r* съ плоскою пружиною *p*,

[1]) Или иначе *Кипрегель—высотомѣръ*.

нижніе концы которыхъ помѣщаются между двумя выступами по серединѣ колонны. Чрезъ одинъ изъ этихъ выступовъ проходитъ винтъ *M*, а въ другой выступъ упирается пружина *p*. Дѣйствіемъ этого винта можно поворачивать въ ту или другую сторону алидаду, а съ нею вмѣстѣ и прикрѣпленный къ ея рычагу уровень *ш*, чѣмъ и приводить пузырекъ этого послѣдняго на средину. *Кругъ раздѣленъ*, начиная отъ двухъ діаметрально противоположныхъ точекъ, подписанныхъ нулями, на градусы, подпись дѣленій идетъ *слѣва направо* и притомъ не по всему протяженію окружности, а только по дугѣ въ 60 градусовъ въ обѣ стороны отъ нулей, такъ же, какъ въ тахеометрѣ Герляха (сличи черт. 196 и 324) т. е. отъ 0^0 до 60^0 и отъ 300^0 до 360^0. Верньеры на концахъ алидады назначены такъ, чтобы, при параллельности оптической оси трубы съ осью уровня алидады, нули верньеровъ совмѣщались съ нулями вертикальнаго круга. Когда кругъ для наблюдателя, стоящаго при окулярѣ, находится вправо отъ трубы, то такое положеніе его называется кругомъ вправо и для краткости обозначается чрезъ *К. П.*; въ этомъ случаѣ отсчеты по верньерамъ будутъ для угловъ повышенія заключаться между 0^0 и 60^0, а для угловъ пониженія между 300^0 и 360^0. Если же кругъ помѣщается влѣво отъ трубы, что называется кругомъ лѣво и обозначается чрезъ *К. Л.*, то для угловъ повышенія отсчеты будутъ заключаться между 300^0 и 360^0, а для угловъ пониженія между 0^0 и 60^0. Въ центрѣ круга на той же горизонтальной оси трубы вращается рычажокъ *тт*, на концахъ котораго помѣщены лупы *ll* для отсчитыванія по верньерамъ. Въ окулярномъ колѣнѣ зрительной трубы помѣщается обыкновенно дальномѣръ Эртеля (см. стр. 119—126); на черт. 353 винты дальномѣрной сѣтки обозначены черезъ *о* и *и*. При дальномѣрѣ кипрегеля должна быть рейка. Наконецъ, надо еще прибавить, что на линейкѣ кипрегеля прикрѣпляется иногда другой менѣе чувствительный уровень *У*, служащій для приведенія планшета въ горизонтальное положеніе. На той же линейкѣ гравируется масштабъ. Устройство кипрегеля можно также усмотрѣть изъ чертежа 359, представляющаго поперечный разрѣзъ горизонтальной оси вращенія трубы; изъ него видно, что вертикальный кругъ *C*, имѣя выступъ *E*, закрѣпленъ наглухо на горизонтальной оси *Oo*, стальнымъ стержнемъ *T*, проходящимъ насквозь черезъ ось и выступъ круга. Алидада *LL* съ



Черт. 359.

верньерами *надвинута* на выступъ *E* круга *C*; сверху она придерживается кольцомъ *B* съ лупами *ll* и гайкой *D* на концѣ горизонтальной оси, а снизу — упоромъ рычага *r* и пружины *p* въ выступы колонны (сличи черт. 358 и 193). Благодаря тому, что кругъ скрѣпленъ стержнемъ *T* съ осью *Oo* онъ вращается вмѣстѣ съ трубою, алидада же остается *неподвижною* во время вращенія круга. При переводѣ трубы черезъ зенитъ каждая точка круга описываетъ 180°, а потому, если *до перевода* черезъ зенитъ уголъ наклона заключался между 0° и 60°, то, послѣ перевода трубы черезъ зенитъ, онъ будетъ приходиться на части круга, подписанной отъ 300° до 360°, ибо кипрегель придется повернуть на 180° около вертикальной оси, т. е. переложить своими концами на доскѣ, для возможности вторичнаго визированія на тотъ же самый предметъ. Уровень *У* на линейкѣ кипрегеля служитъ для приведенія планшета въ горизонтальное положеніе, а уровень *uu* при алидадѣ вертикальнаго круга для опредѣленія угловъ наклоненія (повышенія или пониженія), а именно *для установки линіи нулей верньеровъ всегда въ одно и то же опредѣленное положеніе, соотвѣтствующее горизонтальной линіи, отъ которой считаются всѣ углы наклоненія.* Два уровня нужны для того, чтобы оба дѣйствія,—приведеніе доски въ горизонтальное положеніе и опредѣленіе угловъ наклоненія,—производились бы *независимо* другъ отъ друга, что выгодно и удобно при съемкѣ.

Въ кипрегелѣ Главнаго Штаба повѣряются слѣдующія условія:

1) *Нижняя поверхность линейки должна быть плоскостію, а скошенное ребро ея—прямою линіею.*

Повѣрка дѣлается такъ же, какъ и въ обыкновенной линейкѣ.

2) *Ось уровня У, прикрѣпленнаго къ линейкѣ кипрегеля, должна быть параллельна нижней плоскости линейки.*

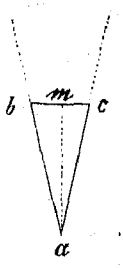
3) *Коллимаціонная плоскость трубы должна быть:* а) *перпендикулярна къ нижней плоскости линейки и* б) *параллельна скошенному ребру ея.*

4) *Визирная ось трубы должна быть параллельна оси уровня (uu) алидады при совмѣщеніи нулей верньеровъ алидады съ нулями вертикальнаго круга.*

Повѣрка уровня, прикрѣпленнаго къ линейкѣ, дѣлается такъ: ставятъ уровень на планшетную доску такимъ образомъ, чтобы его ось была параллельна прямой, проходящей черезъ два какихъ-либо подъемныхъ винта. Дѣйствуя этими двумя подъемными винтами, ставятъ пузурекъ уровня на середину трубки, проводятъ на планшетѣ карандашомъ по скошенному ребру линейки кипрегеля прямую и перекладываютъ около нея кипрегель противоположными

концами, т. е. вращаютъ его около вертикальной оси на 180°. Если послѣ перекладыванія пузырекъ отклонится отъ середины трубки, то передвигаютъ его на половину дуги отклоненія *исправительными винтами уровня.* Послѣ установки пузырька вновь приводятъ его подъемными винтами на середину трубки, и снова перекладываютъ кипрегель около прочерченной линіи на планшетѣ. Въ случаѣ отклоненія пузырька, повторяютъ вышеописанныя дѣйствія до тѣхъ поръ, пока пузырекъ уровня будетъ такъ же занимать середину трубки послѣ перекладыванія кипрегеля около начерченной на планшетѣ линіи, какъ и до его перекладыванія. Дѣйствія эти приходится повторять потому, что середина дуги отклоненія и середина пузырька оцѣниваются на глазъ.

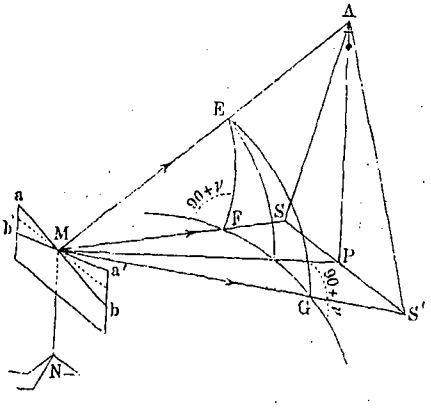
Условіе перпендикулярности коллимаціонной плоскости зрительной трубы къ нижней поверхности линейки распадаются на двѣ части: на *опредѣленіе коллимаціонной ошибки трубы кипрегеля,* т. е. на обнаруженіе неперпендикулярности визирной оси къ горизонтальной оси вращенія зрительной трубы и на провѣрку *параллельности горизонтальной оси вращенія къ нижней плоскости линейки.* Чтобы обнаружить, соблюдено ли условіе перпендикулярности осей визирной и горизонтальной вращенія, ставятъ кипрегель на планшетную доску и приводятъ его съ помощью только что вывѣреннаго уровня на линейкѣ въ горизонтальное положеніе; для чего ставятъ ось уровня въ направленіе сперва двухъ подъемныхъ винтовъ, дѣйствуя которыми устанавливаютъ середину пузырька на середину трубки, а затѣмъ по направленію одного третьяго подъемнаго винта и, дѣйствуя *однимъ* имъ, приводятъ пузырекъ уровня вновь на середину трубки. Если доска точно приведена въ горизонтальное положеніе, то при передвиженіи кипрегеля въ любомъ направленіи по планшету пузырекъ уровня будетъ *все время* оставаться на серединѣ трубки. Въ противномъ случаѣ дѣйствіе приведенія доски въ горизонтальное положеніе слѣдуетъ повторить. Само собою разумѣется, что только съ хорошо вывѣреннымъ уровнемъ У (черт. (358) можно точно привести доску въ горизонтальное положеніе.



Черт. 360.

Послѣ того какъ планшетъ приведенъ въ горизонтальное положеніе, назначаютъ на планшетѣ какую-либо точку *a* (черт. 360) и, приложивъ къ ней скошенное ребро линейки, визируютъ пересѣченіемъ нитей на какую либо хорошо (рѣзко) видимую въ трубку точку мѣстнаго отдаленнаго предмета (въ полѣ лучше всего на яблоко подъ крестомъ колокольни), по скошенному краю линейки прочерчиваютъ линію *ad* на планшетѣ, переводятъ трубу кипрегеля черезъ зенитъ, переставляютъ линейку кипрегеля противоположными концами на планшетѣ (*примѣрно* враща-

ютъ около вертикальной оси колоны *K* на 180°) и удерживая ребро линейки у той же точки *a* планшета, вновь визируютъ пересѣченіемъ нитей трубы на ту же точку мѣстности, вращая ребро линейки около точки *a*, по скошенному краю проводятъ линію *ac* на планшетѣ, уголъ *abc*[1]) дѣлятъ пополамъ и прикладываютъ ребро линейки къ линіи *am*, послѣ чего горизонтальными винтами сѣтки передвигаютъ ее настолько, чтобы пересѣченіе нитей покрывало избранную для визированія точку (сличи съ § 121). Если уголъ *bac* будетъ очень малъ, то проще переложить около линіи *ab* кипрегель, перевести трубу черезъ зенитъ и замѣтить на мѣстномъ предметѣ подлѣ первой точки визированія вторую и (на глазъ) разстояніе между ними раздѣлить пополамъ; послѣ этого пересѣченіе нитей передвинуть боковыми винтами сѣтки на середину между 1-ою и 2-ою точками визированія. Установку сѣтки повторяютъ до тѣхъ поръ, пока пересѣченіе нитей покроетъ два раза одну и ту же точку мѣстности въ то время какъ ребро кипрегеля будетъ совпадать съ одною и тою же линіею на планшетѣ до перевода трубы черезъ зенитъ и послѣ перевода. Другое условіе—параллельность горизонтальной оси трубы съ нижнею плоскостію линейки, при несоблюденіи котораго линія визированія описываетъ плоскость, наклонную къ нижней поверхности линейки, повѣряется такъ: убѣдившись въ строго горизонтальномъ положеніи доски, пересѣченіе нитей трубы направляютъ на *высокую* точку *A* (черт. 361) близкаго предмета (на край постройки), потомъ понижаютъ объективъ трубы, не сдвигая линейки кипрегеля и внизу того же предмета замѣчаютъ точку *S*, приходящуюся на пересѣченіи нитей. Затѣмъ переставляютъ кипрегеля на доскѣ на 180°, переводятъ трубу черезъ зенитъ, вновь направляютъ пересѣченіе нитей на ту же высокую точку *A* и, понижая трубу, замѣчаютъ точку *S'*, симметричную *S*. Линію *SS'* дѣлятъ пополамъ, затѣмъ, найдя внизу при колоннѣ *K* исправительный вертикальный винтъ (если онъ есть) измѣняютъ наклонъ горизонтальной оси настолько, чтобы крестъ нитей трубы,

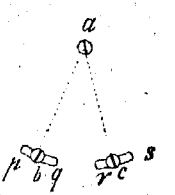


Черт. 361.

[1]) Который выражаетъ двойное вліяніе коллимаціонной ошибки на данное направленіе.

наведенный на точку A, при опусканіи трубы покрывалъ среднюю между S и S' точку P. При отсутствіи винта при колоннѣ, кипрегель исправляется механикомъ.

Параллельность коллимаціонной плоскости скошенному ребру провѣряется такъ: въ планшетѣ перпендикулярно (помощію чертежнаго треугольника) къ верхней плоскости мензульной доски вколачиваютъ двѣ тонкихъ иглы и выбираютъ какой-нибудь предметъ мѣстности возможно далекій. Къ иглamъ вплотную придвигаютъ скошенное ребро линейки кипрегеля, наводятъ движеніемъ доски крестъ нитей на точку удаленнаго предмета мѣстности и смотрятъ черезъ иглы,—приходятся ли онѣ на ту же точку. Если условіе не соблюдено и обѣ плоскости не сходятся въ точкѣ удаленнаго (на горизонтѣ) предмета, то колонну, а вмѣстѣ съ нею и коллимаціонную плоскость трубы, поворачиваютъ около вертикальной оси до тѣхъ поръ, пока крестъ нитей покроетъ ту же точку, что и иглы. Для поворачиванія колонны внизу сдѣлано три винта, изъ которыхъ одинъ a (черт. 362) неподвиженъ, а около двухъ другихъ b и c въ основаніи колонны сдѣланы дугообразные вырѣзы pq и rs по окружности радіуса $ab = ac$. Если вырѣзовъ нѣтъ, кипрегель отсылается для исправленія механику, или же условливаются всегда проводить направленія и оріентировать мензулу (см. 226) при одномъ и томъ же положеніи коллимаціонной плоскости или всё равно вертикальнаго круга, напр., при $K.\ П.$, такъ какъ тогда на мензулѣ величина горизонтальнаго угла abc не измѣнится, а лишь каждая изъ сторонъ его повернется и отодвинется въ одну и ту же сторону на одну и ту же величину (сличи черт. 357). Несоблюденіе 4-го условія въ кипрегелѣ Гл. Шт. можетъ происходить: 1) отъ движенія круга высотъ *С независимо* отъ движенія трубы и 2) отъ шатанія уровня u на алидадѣ, а слѣдовательно и отъ перемѣщенія его оси относительно линіи нулей верньеровъ. Ту точку вертикальнаго круга, съ которою надо совмѣщать нуль верньера для того, чтобы оптическая ось была параллельна оси уровня на алидадѣ, принято называть *мѣстомъ нуля* вертикальнаго круга и соотвѣтствующій ей отсчетъ на вертикальномъ кругѣ обозначать $M.\ O.$



Черт. 362.

Опредѣленіе мѣста нуля вертикальнаго круга въ кипрегелѣ Главнаго Штаба и измѣреніе угла наклона α дѣлается по формуламъ:

$$M.\ O. = \frac{К.П. + К.Л.}{2},$$

т. е. *мѣсто нуля равно полусуммѣ отсчетовъ при кругѣ право и кругѣ лѣво, причемъ къ отсчету меньшему* 60^0 *придается* 360^0 и передъ отсчетами по вертикальному кругу

пузырекъ уровня на алидадѣ ставится винтомъ M (черт. 358) на середину трубки;

$$\alpha = \frac{К.\,П. - К.\,Л.}{2},$$

т. е. *уголъ наклона равенъ кругу право минусъ кругъ лѣво, дѣленное пополамъ, причемъ къ отсчету меньшему* 60^0 *придается* 360^0

или $$\alpha = М.\,О. - К.\,Л.,$$

т. е. *уголъ наклона равенъ также мѣсту нуля минусъ кругъ лѣво,*

или $$\alpha = К.\,П. - М.\,О.,$$

т. е. *уголъ наклона опредѣляется какъ разность между кругомъ право и мѣстомъ нуля.*

Мѣсто нуля слѣдуетъ опредѣлять по нѣсколькимъ предметамъ, т. е. при различныхъ наклонахъ оптической оси въ горизонту; если оно не измѣнится въ предѣлахъ точности верньера, то кругъ и уровень неподвижны. Чтобы не вводить въ отсчеты по кругу поправки за мѣсто нуля [1]), поступаютъ такъ: найдя по отсчетамъ $К.\,П.$ и $К.\,Л.$ истинное значеніе угла наклона α, устанавливаютъ на него при $К.\,П.$ (или на $360^0 - \alpha$ при $К.\,Л.$) *микрометреннымъ винтомъ* $M.$ *алидады* нули верньеровъ, удерживая при этомъ крестъ нитей трубы на той точкѣ высокаго предмета, для которой α высчитанъ. Послѣ этого пузырекъ уровня алидады устанавливаютъ снова на середину трубки, дѣйствуя исправительными винтами у рычага (кипрегели работы Герляха), находящимися ниже уровня. Въ кипрегелѣ, представленномъ на чертежѣ 358-мъ (работы механиковъ Белау или Рихтера), установка уровня дѣлается такъ: 1) ослабляютъ на рычагѣ r винтъ (p), находящійся ниже уровня и имѣющій подъ шляпкою дугообразный прорѣзъ въ рычагѣ, 2) вращаютъ отъ руки уровень около винта, находящагося надъ нимъ, до тѣхъ поръ, пока его пузырекъ станетъ на средину трубки и, затѣмъ, 3) закрѣпляютъ винтъ (p).

Буссоль [2]). Она состоитъ изъ круглой коробки (черт. 363), діаметромъ около 5 дюйм., внутри которой имѣется высеребряное кольцо съ градуснымъ дѣленіемъ; на концахъ одного изъ діаметровъ ab кольца подписаны или нули, или нуль и 180^0. Въ первомъ случаѣ градусная подпись идетъ въ обѣ стороны отъ нулей до 90^0, а во второмъ — справа налѣво (противъ хода часовой стрѣлки) отъ 0^0 до 360^0, иначе, въ первомъ случаѣ имѣемъ румбическое кольцо, а во второмъ—азимутальное. Въ центрѣ кольца на днѣ коробки утверждается острый шпиль, на который вѣшается магнитная стрѣлка ns. Коробка закрывается крышкою со

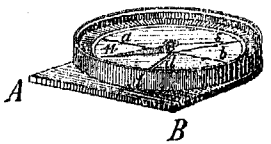
---

[1]) Т. е. чтобы отсчетъ на вертикальномъ кругѣ дѣйствительно былъ нуль, когда оптическая ось параллельна оси уровня алидады.

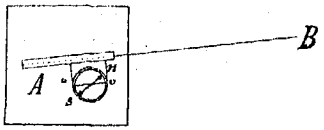
[2]) Итальянское слово bussola означаетъ коробка.

стекломъ, къ которому можетъ быть прижата магнитная стрѣлка своею шляпкою во время перенесенія буссоли съ мѣста на мѣсто. Это прижиманіе дѣлается такъ: одинъ конецъ рычага *dd* надѣтъ на шпиль подъ стрѣлкою, а другой нѣсколько согнутый конецъ проходитъ чрезъ боковое треугольное отверстіе кольца и выступаетъ снизу крышки наружу; это отверстіе сбоку крышки таково, что если повернуть ее около центра кольца, то крышка придавитъ согнутый конецъ рычага, вслѣдствіе чего конецъ его, обхватывающій шпиль, поднимется и прижметъ шляпку стрѣлки къ стеклу. Дно коробки продолжено въ одну сторону и ограничивается прямымъ краемъ *AB*, который долженъ быть параллеленъ нулевому діаметру *ab* кольца.

Мензульная буссоль служитъ: a) для опредѣленія румба или азимута линіи на мѣстности, b) для назначенія на мѣстности линіи подъ даннымъ румбомъ или азимутомъ и c) для приведенія линіи, начерченной на планшетѣ, въ отвѣсную плоскость съ магнитнымъ или географическимъ меридіаномъ, т. е. для оріентированія планшета.



Черт. 363.



Черт. 364.

Для опредѣленія румба или азимута линіи *AB* (черт. 364) мѣстности ставятъ мензулу надъ одной изъ конечныхъ точекъ линіи, напримѣръ *A*, центрируютъ ее, приводятъ доску въ горизонтальное положеніе и визируютъ по данной линіи; затѣмъ, приложивъ осторожно къ ребру линейки визирнаго снаряда (алидады или кипрегеля) буссоль, дѣлаютъ отсчетъ по сѣверному концу стрѣлки на кольцѣ буссоли; отсчетъ выразитъ искомый румбъ или азимутъ. Послѣ приложенія буссоли необходимо убѣдиться въ томъ, что линейка не сдвинулась съ мѣста, для чего достаточно повѣрить визированіе.

Чтобы при данной точкѣ *A* на мѣстности назначить линію съ извѣстнымъ румбомъ или азимутомъ, центрируютъ мензулу надъ этою точкою, приводятъ доску въ горизонтальное положеніе, кладутъ на нее кипрегель или алидаду и къ ребру линейки прикладываютъ буссоль, которую поворачиваютъ на доскѣ вмѣстѣ съ визирнымъ снарядомъ до тѣхъ поръ, пока конецъ стрѣлки будетъ показывать данный румбъ или азимутъ и наконецъ выставляютъ на мѣстности вѣху *B* по направленію линіи визированія.

Приведеніе линіи планшета въ отвѣсную плоскость съ магнитнымъ или географическимъ меридіаномъ, называемое

ориентированіемъ мензулы по меридіану, будетъ изложено въ слѣдующемъ за симъ параграфѣ, въ задачѣ объ ориентированіи мензулы вообще.

Предыдущія троякаго рода задачи на употребленіе мензульной буссоли требуютъ, чтобы кромѣ параллельности діаметра буссоли, проходящаго чрезъ нуль, съ прямолинейнымъ ея краемъ, коллимаціонная плоскость визирнаго снаряда была параллельна съ ребромъ линейки. А такъ какъ точность опредѣленія направленій буссолью, вслѣдствіе суточнаго измѣненія склоненія стрѣлки, есть $^1/_4$ градуса, то достаточно, если каждое изъ этихъ условій—параллельность діаметра буссоли съ ея прямолинейнымъ краемъ и параллельность коллимаціонной плоскости визирнаго снаряда съ ребромъ его линейки—будетъ выполнено съ точностью до $^1/_8$ градуса.

Отъ мензульной буссоли требуется выполненіе условій: 1) Отсутствія желѣза въ коробкѣ, 2) вѣрности дѣленій кольца, 3) отсутствія эксцентрицитета стрѣлки, 4) хорошей шлифовки агата, достаточной остроты шпиля и надлежащей степени намагниченія стрѣлки, 5) уравновѣшенности стрѣлки на шпилѣ, 6) совпаденія геометрической оси съ магнитной и наконецъ 7) *чтобы нулевой діаметръ градуснаго кольца былъ параллеленъ прямому краю буссоли.* Послѣднее условіе повѣряется такъ: поставя алидаду на горизонтальный планшетъ, направляютъ ея коллимаціонную плоскость на точку мѣстности, затѣмъ, приложивъ буссоль прямымъ краемъ къ ребру линейки алидады (кипрегеля) натягиваютъ волосъ по направленію нулевого діаметра градуснаго кольца и смотрятъ—проходитъ ли волосъ чрезъ ту же точку мѣстности, на которую сдѣлано визированіе діоптрами или трубою. Если нѣтъ, то вращеніемъ около центра кольца волосъ направляютъ на точку и дѣлаютъ на кольцѣ отсчетъ, который выразитъ величину погрѣшности; ее нужно принимать во вниманіе каждый разъ, при употребленіи буссоли. Можно также скошенный край кипрегеля, послѣ того какъ буссоль будетъ уложена на планшетъ, совмѣстить съ нулевымъ діаметромъ буссоли и визировать трубою.

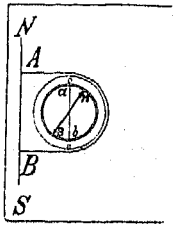
Если буссоль при мензулѣ нужна единственно только для ориентированія планшета по магнитному или истинному меридіану, то для этой цѣли достаточна такъ называемая ориентиръ-буссоль, изображенная на чертежѣ 365. Она состоитъ изъ прямоугольнаго ящика *ABCD*, закрываемаго стеклянною крышкою, при короткихъ сторонахъ котораго прикрѣплены двѣ дуги съ градуснымъ дѣленіемъ и съ центромъ, совпадающимъ съ мѣстомъ помѣщенія шпиля. Край *AB* буссоли долженъ быть параллеленъ діаметру *ba*, проходящему чрезъ нули.



Черт. 365.

Основныя задачи, рѣшаемыя мензулою на мѣстности.

§ 226. Оріентированіе мензулы, прямая и обратная засѣчки. 1. Оріентированіе [1]) мензулы. *Оріентировать* буквально *означаетъ* назначить (на планшетѣ) востокъ, а по нему и остальныя страны свѣта, и обратно, на мѣстности по плану найти востокъ, а слѣдовательно западъ, сѣверъ и югъ. Болѣе же широко подъ этимъ надо понимать: *установку планшета* въ любой точкѣ мѣстности *въ такое положеніе, при которомъ всѣ начерченныя на немъ линіи, принимаютъ положеніе параллельное соотвѣтственнымъ линіямъ мѣстности.* Вслѣдствіе этого планшетъ можно оріентировать или точно по данной на планшетѣ линіи, или приближенно по меридіану, посредствомъ буссоли. Разсмотримъ сперва второй случай. Чтобы оріентировать планшетъ по магнитному меридіану *NS* (черт. 366), положеніе котораго начерчено на планшетѣ въ видѣ прямой, приставляютъ къ этой линіи край *AB* буссоли и, ослабивъ становой винтъ мензулы, поворачиваютъ доску до тѣхъ поръ, пока ось свободно висящей на шпилѣ стрѣлки приметъ направленіе діаметра *ab*, проходящаго чрезъ нуль кольца, при этомъ поворачиваютъ доску сначала грубымъ движеніемъ, а потомъ, закрѣпивъ становой винтъ, дѣйствуютъ микрометреннымъ винтомъ подставки мензулы. Если для мѣста съемки извѣстно склоненіе магнитной стрѣлки, то планшетъ можно оріентировать по географическому меридіану; такъ, напр., если извѣстно, что склоненіе въ данномъ мѣстѣ восточное $2^0 8'$, то, приложивъ буссоль къ линіи *NS*, поворачиваютъ доску настолько, чтобы сѣверный конецъ стрѣлки отошелъ отъ нуля кольца вправо на $2^1/_8{}^0$, принимая 8 минутъ за $^1/_8$ градуса. Эта оріентировка по магнитному или географическому меридіану не можетъ имѣть большой точности, потому что суточное измѣненіе склоненія стрѣлки есть 15 и болѣе минутъ. Такая оріентировка планшета можетъ быть сдѣлана въ любой точкѣ стоянія мензулы на мѣстности, такъ какъ всѣ меридіаны можно принимать параллельными между собою (для небольшого снимаемаго участка).



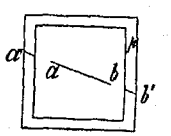
Черт. 366.

Второй, болѣе точный способъ оріентированія планшета по данной линіи. При этомъ различаютъ два случая: 1) когда мензула поставлена на одномъ изъ концовъ данной на мѣстности и уже изображенной на планшетѣ линіи, слѣдовательно допускающій центрировку мензулы и 2) когда

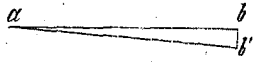
[1]) Названіе происходитъ отъ лат. слова oriens—востокъ.

мензула поставлена между конечными точками оріентировочной линіи, но на мензулѣ точка стоянія не дана. Въ первомъ случаѣ, если AB (черт. 369) есть данная на мѣстности линія, а ab—линія, ей соотвѣтствующая на планшетѣ, то, поставивъ мензулу надъ точкою A мѣстности, ослабляютъ становой винтъ и поворачиваютъ доску настолько, чтобы направленіе линіи ba совпадало приблизительно (наглазъ) съ направленіемъ AB. Затѣмъ центрируютъ планшетъ по возможности точно, приводятъ его въ горизонтальное положеніе, прикладываютъ ребро линейки визирнаго снаряда къ ab и поворачиваютъ доску сначала грубымъ движеніемъ, а потомъ, закрѣпивъ становой винтъ, микрометреннымъ настолько, чтобы линіи визированія проходили чрезъ точку мѣстности B. По совершеніи этого доска считается оріентированной.

Замѣчаніе. Оріентированіе мензулы по взятой на ея планшетѣ линіи производится тѣмъ съ большей точностью, чѣмъ длиннѣе эта линія на планшетѣ, такъ какъ чѣмъ длиннѣе линія оріентированія, тѣмъ точнѣе можно приложить къ ней ребро линейки визирнаго снаряда. На основаніи этого тѣ линіи, по которымъ имѣется въ виду оріентировать впослѣдствіи мензулу, при визированіи прочерчиваются на планшетѣ не только въ томъ его мѣстѣ, гдѣ того потребуетъ изображаемая точка, но и *за рамкою, на краяхъ планшета*. Такъ если предполагается оріентировать мензулу по линіи ab (черт. 367), то за рамкою на краяхъ планшета должны быть прочерчены еще двѣ линіи a' и b', служащія продолженіемъ линіи—ab; къ нимъ то собственно и прикладывается ребро линейки визирнаго снаряда при оріентированіи. Чтобы составить понятіе о томъ, насколько выигрываетъ точность оріентированія планшета отъ длины оріентировочной на планшетѣ линіи, допустимъ, что ab' (черт. 452) есть взятая на планшетѣ линія и что линейка, точно приложенная въ точкѣ a, уклоняется отъ точки b на величину bb'. Изъ чертежа имѣемъ $tg\,bab' = \frac{bb'}{ab'}$ при $bb' = {}^1/_{200}$ долѣ дюйма и $ab' = 15$ дюймамъ, уголъ bab' достигаетъ 1,2′; эту величину считаютъ за среднюю ошибку оріентированія мензулы по данной на ея планшетѣ линіи (средней величины въ 15 дюйм.).



Черт. 367.

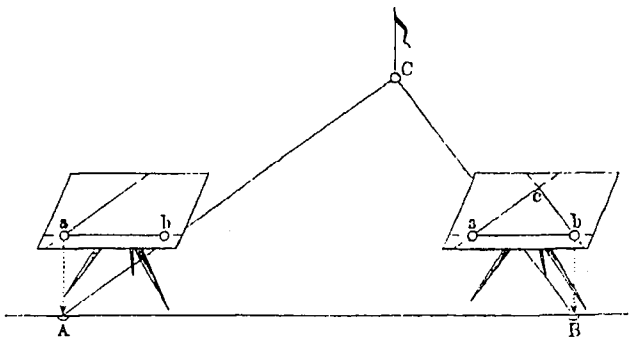


Черт. 368.

Когда съ мензулой надо встать гдѣ-либо на линіи AB между ея концами A и B, то приходится постепенно рядомъ попытокъ, убѣждаться въ томъ, что, избравъ на глазъ точку стоянія и оріентировавъ планшетъ по одному концу ли-

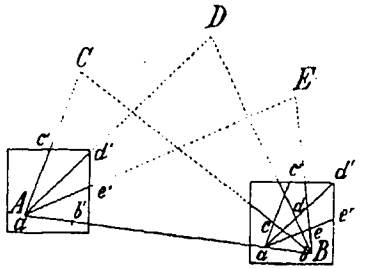
ніи мѣстности, напр., B, линія визированія (визируя въ противоположную сторону) не проходитъ черезъ другую точку A, а потому передвигать мензулу до тѣхъ поръ, пока плоскость визированія на A будетъ та же, что и на B. Ошибка отъ центрировки на глазъ можетъ имѣть вліяніе только при крупномъ масштабѣ, въ которомъ рѣдко производится мензульная съемка.

II. Опредѣленіе точки по двумъ даннымъ: *Первое рѣшеніе, становясь съ мензулою въ обѣихъ данныхъ точкахъ.*



Черт. 369.

Пусть A и B (черт. 369) суть двѣ данныя на мѣстности точки, положеніе которыхъ, соотвѣтственно въ a и b, дано на планшетѣ, ищется положеніе на планшетѣ третьей точки C мѣстности. Становимся съ мензулою сперва въ одну изъ данныхъ точекъ, напримѣръ, въ A, центрируемъ, приводимъ планшетъ въ горизонтальное положеніе и оріентируемъ его по линіи ab; затѣмъ визируемъ черезъ a на C и чертимъ на планшетѣ линію ac. Послѣ чего мензула переносится въ другую данную точку B, здѣсь такъ же, какъ и въ A, установимъ планшетъ и оріентируемъ его по линіи ba, а затѣмъ провизируемъ черезъ b на C и по ребру линейки кипрегеля прочертимъ линію bc. Эта линія пересѣчетъ линію ac въ точкѣ c и дастъ искомое изображеніе 3-й точки C мѣстности. Этотъ способъ рѣшенія *задачи принято называть засѣчкою впередъ;* имъ можно опредѣлить двумя постановками мензулы не только одну третью точку, но и нѣсколько: C, D E,... какъ изображено на чертежѣ 370.

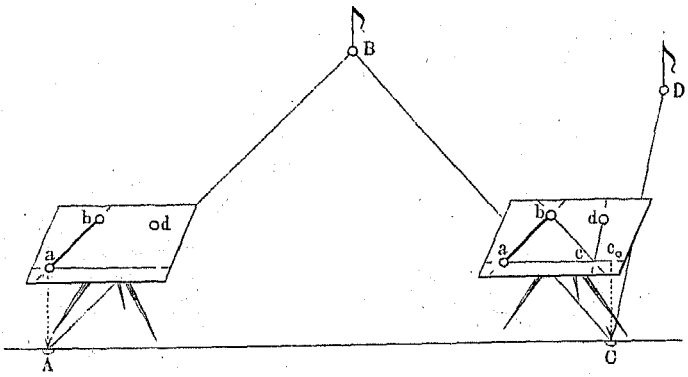


Черт. 370.

Способъ засѣчки впередъ можетъ служить также и для опредѣленія непреступныхъ разстояній, напримѣръ, DE или CD; при этомъ, если линія ab не дана на планшетѣ,

то выбравъ на мѣстности произвольную линію AB, измѣряютъ ее, наносятъ на планшетъ ея направленіе и откладываютъ ея длину ab по масштабу, а затѣмъ уже примѣняютъ только что описанный пріемъ засѣчекъ впередъ.

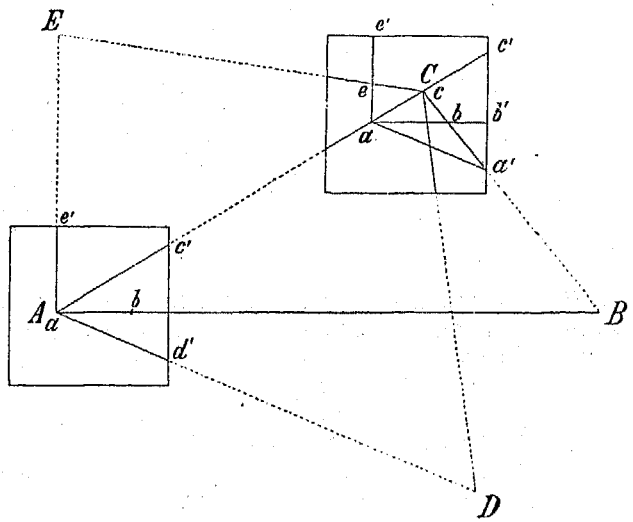
Второе рѣшеніе ,становясь съ мензулою въ одну изъ данныхъ точекъ и въ опредѣляемую точку (черт. 371). Перво-



Черт. 371.

начально мензула устанавливается въ одной изъ данныхъ точекъ, напр., A, и планшетъ оріентируется по данной на немъ линіи ab, послѣ чего визируютъ черезъ a на опредѣляемую точку C и прочерчиваютъ по ребру линейки линію ac_0. Затѣмъ мензулу переносятъ въ точку C, положеніе которой ищется на планшетѣ. Здѣсь назначаютъ на линіи ac_0 на глазъ точку c_0, изображающую приблизительно точку C мѣстности, планшетъ центрируютъ точкою c_0 надъ C, приводятъ планшетъ въ горизонтальное положеніе, оріентируются по линіи c_0a, прикладываютъ ребро линейки визирнаго снаряда къ b, визируютъ на B и засѣкаютъ линію ac_0 въ точкѣ c. Если c уклонится отъ c_0 на незначительную величину, близкую къ точности масштаба $\left(\frac{1}{200}\text{ доля дюйма,}\right)$ то считаютъ, что c соотвѣтствуетъ точки C мѣстности. Въ противномъ случаѣ, т. е. при значительномъ ея разстояніи отъ точки c_0, она не будетъ соотвѣтствовать точки C мѣстности и необходимо сдѣлать поправку; для чего опять центрируютъ мензулу по c и повторяютъ всѣ послѣдующія дѣйствія. Этотъ способъ опредѣленія точки называется *засѣчкою назадъ* или *обратною засѣчкою*. Онъ практикуется въ особенности тогда, когда одна изъ данныхъ точекъ есть естественный сигналъ, на который встать съ мензулою нельзя; напр., колокольня, конекъ дома и т. п., а также и тогда, когда на планшетѣ помимо 2-й данной точки b имѣются положенія и другихъ точекъ, напр., d. Тогда положе-

ніе точки d можетъ контролировать найденное положеніе c, для чего визируютъ черезъ d на D, и линія визированія должна на планшетѣ пройти черезъ точку c. Если бы требовалось опредѣлить нѣсколько точекъ мѣстности, то для быстроты работы одна изъ нихъ опредѣляется засѣчкою назадъ, а другія засѣчкою впередъ, пользуясь точкою вновь опредѣленною, какъ это сдѣлано на черт. 372.



Черт. 372.

Наивыгоднѣйшее пересѣченіе линій на планшетѣ (засѣчка) считается при углѣ между ними угломъ въ 90°; предѣльная же величена угла для засѣчки опредѣляется не менѣе какъ въ 30°, а слѣдовательно не болѣе $(180^0 - 30^0) = 150^0$.

§ 227. Задача Потенота [1]). (Опредѣленіе точки по тремъ даннымъ).

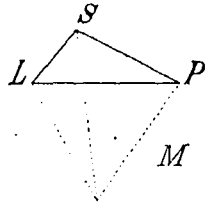
Условіе задачи. Задача Потенота состоитъ въ опредѣленіи четвертой точки по тремъ даннымъ и заключается въ слѣдующемъ:

По извѣстному на мензулѣ положенію l, p и s трехъ точекъ мѣстности L, P и S (лѣвой, правой и средней) требуется *опредѣлить на мензулѣ* положеніе m четвертой точки M мѣстности, *становясь* съ инструментомъ исключительно въ этой послѣдней. Покажемъ, что рѣшеніе этой задачи на мензулѣ возможно.

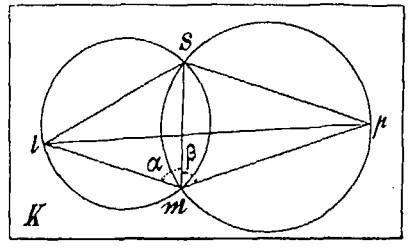
Изъ чертежа 373 легко видѣть, что на мѣстности положеніе 4-й точки M относительно трехъ данныхъ L, P и S

[1]) Въ первый разъ эта задача была предложена въ 1614 году голландскимъ геометромъ *Снелліусомъ*, а въ 1692 году французскимъ геометромъ *Потенотомъ* дано ея рѣшеніе въ болѣе удобномъ видѣ.

опредѣляется величинами двухъ угловъ $LMS = \alpha$ и $SMP = \beta$, и такъ какъ на планшетѣ получаются фигуры, подобныя даннымъ на мѣстности, то для рѣшенія задачи на мензульномъ листѣ необходимо найти такую точку m (черт. 374), въ которой бы углы $lms = \alpha$ и $smp = \beta$. Поэтому найдемъ сперва такую точку m_1, въ которой бы уголъ $lm_1s = \alpha$.



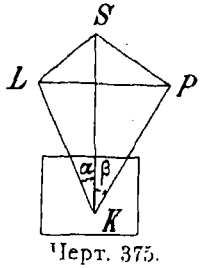
Черт. 373.



Черт. 374.

Такихъ точекъ будетъ безчисленное множество, такъ какъ всѣ онѣ лежатъ на окружности (черт. 374), проходящей черезъ l и s и вмѣщающей данный уголъ α. Если затѣмъ будемъ искать такую точку m_2 на мензулѣ, въ которой бы уголъ $sm_2p = \beta$, то и здѣсь придется строить окружность, проходящую черезъ s и p и вмѣщающую данный уголъ β. Очевидно, что въ пересѣченіи этихъ окружностей будетъ лежать искомая точка m, ибо при ней углы $lms = \alpha$ и $smp = \beta$; однако самыхъ *окружностей на мензулѣ не проводятъ*, а пользуются другими (излагаемыми ниже) пріемами; что касается до графическаго опредѣленія величины угловъ α и β, то эти углы легко построить при любой точкѣ K (черт. 374 и 375) на мензулѣ, визируя черезъ K на три данныя на мѣстности точки L, S и P. Такимъ образомъ изъ предыдущаго видно, что *рѣшеніе задачи Потенота на мензулѣ вполнѣ возможно* и для этого необходимо только знать углы α и β.

§ 228. О возможномъ положеніи искомой точки относительно трехъ данныхъ. Величины угловъ α и β (черт. 375) характеризуютъ точку K относительно 3-хъ данныхъ—L, S и P. Условившись при этомъ черезъ α обозначать всегда уголъ между направленіями (изъ точки стоянія) на данныя 2 точки,—лѣвую и среднюю, а черезъ β—всегда уголъ между направленіями на среднюю и правую точки, будемъ различать слѣдующія шесть возможныхъ положеній четвертой точки относительно трехъ данныхъ: лѣвой, средней и правой.



Черт. 375.

1) Точка M_1 лежитъ внѣ круга, проходящаго черезъ L, S и P противъ стороны LP (черт. 376).

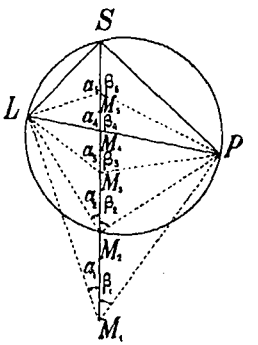
2) Точка M_2 лежитъ на окружности проходящей черезъ три данныя точки L, S и P. Въ этомъ случаѣ задача не опредѣленна, ибо на той же окружности существуетъ безчисленное множество точекъ, въ которыхъ углы $LMS = \alpha$ и $SMP = \beta$.

3) Точка M_3 лежитъ внутри круга LPS, противъ стороны LP, но внѣ треугольника LSP.

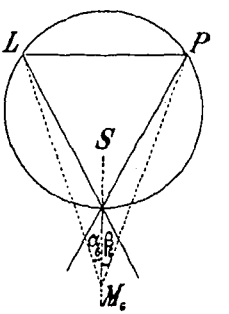
4) Точка M_4 лежитъ на сторонѣ LP треугольника LPS.

5) Точка M_5 лежитъ внутри треугольника LSP.

6) Точка M_6 лежитъ внѣ круга LSP, между продолженными сторонами LS и PS треугольника LSP (черт. 376bis).



Черт. 376.



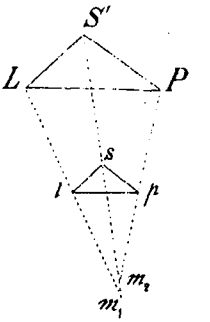
Черт. 376bis.

§ 229. Непосредственное и посредственное рѣшеніе задачи Потенота. Кромѣ Снелліуса и Потенота ту же задачу объ опредѣленіи четвертой точки по тремъ даннымъ рѣшали и многіе другіе знаменитые геометры и ученые; рѣшенія ихъ можно разбить на двѣ группы; 1-я группа—рѣшенія точныя *„непосредственныя“*, когда искомая точка съ одного разу (послѣ *однократнаго* совершенія извѣстнаго пріема) получается на мензулѣ; 2-я группа — рѣшенія приближенныя, когда точка не съ одного разу, а *послѣ многократнаго* повторенія извѣстнаго пріема, получается на мензулѣ,—т. е. когда для опредѣленія точки приходится нѣсколько разъ продѣлывать одинъ и тотъ же пріемъ, послѣдовательно приближаясь къ истинному ея положенію. Такого рода рѣшенія называютъ рѣшеніями *„по приближенію“*.

Изъ непосредственныхъ рѣшеній разсмотримъ *способъ Боненбергера* и *Бесселя*, а изъ рѣшеній по приближенію—1) *Лемана* и 2) *Боненбергера*.

Въ основаніи всѣхъ рѣшеній задачи Потенота на мензулѣ лежитъ слѣдующая лемма.

Если мензула въ точкѣ стоянія M оріентирована, т. е. если дано, что $ls \parallel LS$; $sp \parallel SP$ и $lp \parallel LP$ (черт. 377), *то три линіи визированія на мензулѣ* (черезъ l на L, черезъ p на P и черезъ s на S) *пересѣкутся въ одной точкѣ m* [1]).



Черт. 377.

Пусть крайнія линіи визированія пересѣкаютъ въ двухъ точкахъ m_1 и m_2 линію средняго визированія, тогда вслѣдствіе параллельности $ls \parallel LS$ и $ps \parallel PS$ имѣемъ: $m_1ls \infty m_1LS$ и $m_2ps \infty m_2PS$, откуда

$$\frac{m_1S}{m_1s} = \frac{LS}{ls} \text{ и } \frac{m_2S}{m_2s} = \frac{PS}{ps}, \quad \ldots\ldots\ldots (1),$$

а вслѣдствіе того, что на мензулѣ дана фигура, подобная данной на мѣстности, т. е. $lsp \infty LSP$, имѣемъ:

$$\frac{SL}{ls} = \frac{PS}{ps}. \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Изъ равенствъ (1) и (2) слѣдуетъ:

$$\frac{m_2S}{m_2s} = \frac{m_1S}{m_1s} \text{ или}$$

$$\frac{m_2S - m_2s}{m_2s} = \frac{m_1S - m_1s}{m_1s} \quad \ldots\ldots\ldots (3);$$

такъ какъ $m_2S - m_2s = Ss = m_1S - m_1s$, то изъ послѣдней (3) пропорціи слѣдуетъ, что

$$m_2s = m_1s,$$

чего конечно быть не можетъ.

Слѣдовательно, если мензула строго оріентирована, на ней двухъ точекъ m_1 и m_2 быть не можетъ.

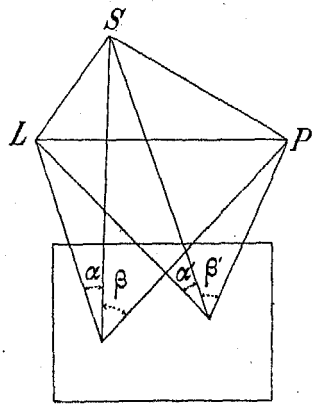
Итакъ, если мензула оріентирована, три линіи визированія пересѣкаются въ одной точкѣ. Если же мензула не оріентирована, то линіи визированія при пересѣченіи даютъ болѣе одной точки на мензулѣ, т. е. получается такъ называемая *фигура* (треугольникъ) *погрѣшностей*.

Всѣ рѣшенія основаны также на допущеніи, что гдѣ бы на мензулѣ (т. е. при любой точкѣ планшета) ни строили углы α и β, величины ихъ останутся тѣ же самыя, т. е. $\alpha = \alpha'$, $\beta = \beta'$ (черт. 378).

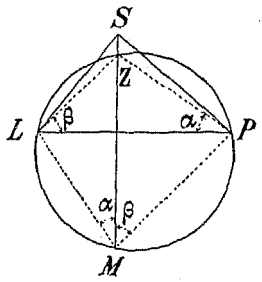
Способъ Боненбергера и Бесселя. Вообразимъ, что черезъ лѣвую точку L (черт. 379), правую P и черезъ искомую точку стоянія M проведена окружность; соединимъ точку S съ M, линія SM въ пересѣченіи съ окружностью дастъ точку Z. По соединеніи точекъ Z и M съ точками L и P изъ чертежа найдемъ (черт. 379), что $\alpha = LMS = LPZ$ и $\beta = PMS = PLZ$, потому что половина дуги LZ служитъ мѣрою угловъ LMS и LPZ, а углы PMS и PLZ измѣряются половиною дуги PZ. Отсюда можно сдѣлать *обратное заключеніе*,

[1]) Точка m на мензулѣ представитъ точку M на мѣстности.

а именно: если на мензулѣ при линіи lp построимъ углы α и β такъ чтобы при лѣвой точкѣ l линіи lp былъ правый уголъ β, а при правой точкѣ p линіи lp былъ лѣвый уголъ



Черт 378.

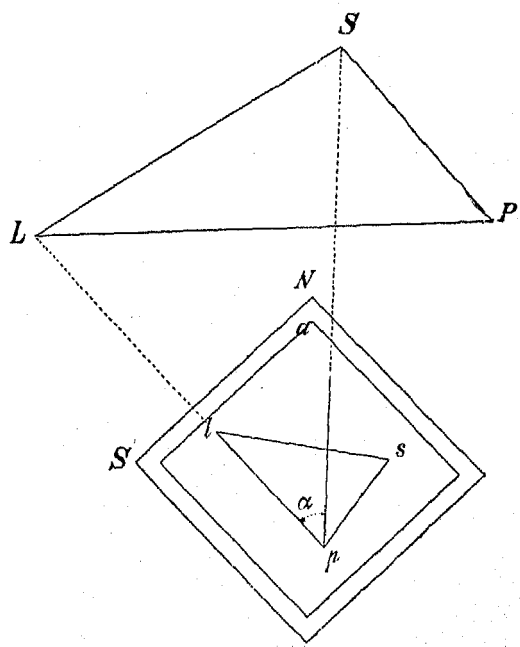


Черт. 379.

α, то отъ построенія угловъ получимъ такъ называемую *„вспомогательную"* точку z. *Соединивъ z съ s, найдемъ линію zsm, на которой должна лежать точка m,* и тогда останется, согласно только что изложенной леммы, оріентировать мензулу линіею sz, на планшетѣ по линіи SM мѣстности, а затѣмъ продолживъ sz, визированіемъ съ lна L (или съ p на P) опредѣлить точку m на мензулѣ обратной засѣчкой.

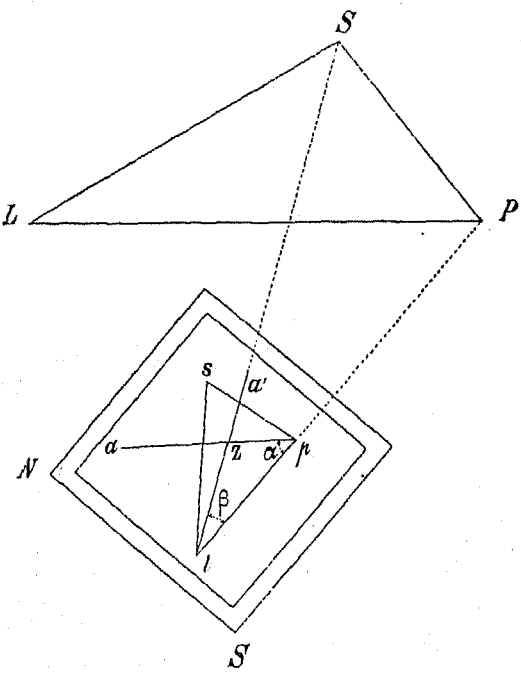
Линію SZ принято называть оріентировочною линіею.

Такимъ образомъ *все рѣшеніе задачи объ опредѣленіи 4-й точки сводится къ нахожденію оріентировочной линіи на мензулѣ.*



Черт. 380.

Все вышесказанное достигается слѣдующимъ образомъ: сначала строимъ лѣвый уголъ α при правой точкѣ p линіи lp — вверхъ (черт. 380).



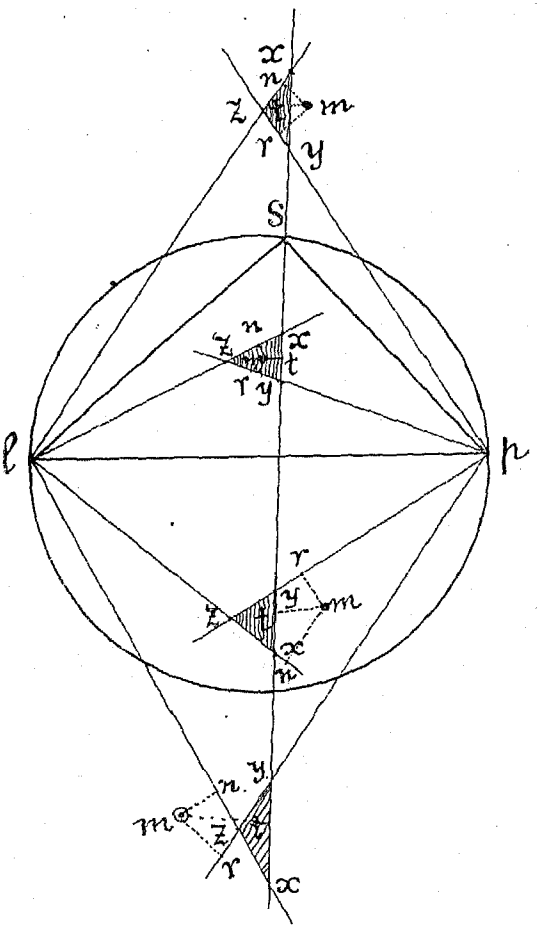
Черт. 381.

1) *Устанавливаемъ мензулу точкою p надъ точкою стоянія M*, 2) *оріентируемъ планшетъ линіею pl по линіи ML мѣстности, т. е. прикладываемъ алидаду къ линіи pl и направляемъ волосъ предметнаго діоптра (или крестъ нитей кипрегеля) на точку L мѣстности, сперва грубымъ вращеніемъ мензульной доски, а затѣмъ болѣе точно микрометреннымъ винтомъ*, 3) *вращаемъ скошенный край алидады около точки p, визируемъ черезъ точку p на точку S и по скошенному краю алидады проводимъ линію pa* (черт. 380).

Затѣмъ при лѣвой точкѣ l строимъ правый уголъ β, т. е. 4) *устанавливаемъ мензулу точкою l надъ M* (черт. 381) 5) *алидаду прикладываемъ къ линіи lp и мензульную доску вращаемъ до тѣхъ поръ, пока волосъ предметнаго діоптра (или крестъ нитей) покроетъ точку P* и затѣмъ 6) *визируемъ черезъ l снова на S и проводимъ линію la'* (черт. 381). *Въ пересѣченіи линій pa и la' получимъ вспомогательный пунктъ z.* На чертежахъ 380 и 381 черезъ *NS* обозначено направленіе меридіана). Чтобы, имѣя точку z, а слѣдовательно и линію zsm на мензулѣ, получить на этой послѣдней точку m, необходимо 7) *мензулу линіею zs оріентировать по линіи SM мѣстности*, т. е., *приложивъ скошенное ребро визирнаго снаряда къ линіи zs, вращать доску до тѣхъ поръ, пока крестъ нитей кипрегеля покроетъ точку S мѣстности*, 8) *по закрѣпленіи становаго винта, по планшету продолжить линію sz* и затѣмъ уже 9) *провести направленія pm и lm, т. е. визировать черезъ p на P и черезъ l на L, чертя по скошенному краю алидады карандашемъ* (черт. 377).

Способъ Лемана относится къ *посредственнымъ* рѣшеніямъ задачи Потенота и основанъ на томъ, что если мен-

зула (въ точкѣ стоянія съ нею) *не оріентирована* (или оріентирована приближенно, на глазъ), то на планшетѣ, при визированіи черезъ три точки на мензулѣ соотвѣтственно на три точки мѣстности, получается *треугольникъ погрѣшностей* [1]) (черт. 382), относительно котораго и *намѣчается искомая* точка *m*.



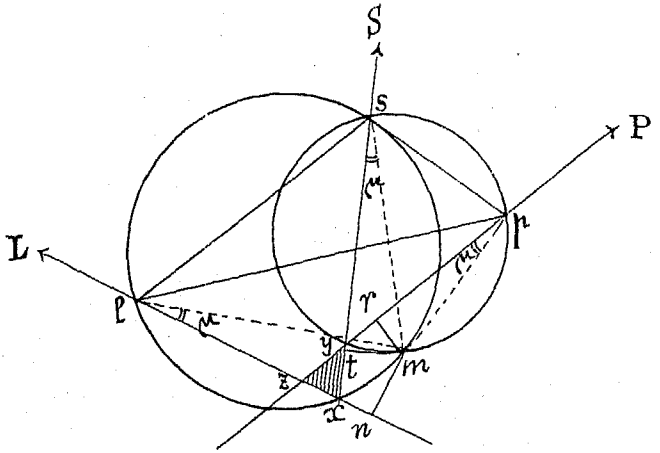
Черт. 382.

Условимся визированіе на среднюю точку мѣстности *S* черезъ среднюю точку *s* на мензулѣ, при приближенномъ оріентированіи мензулы, называть *линіею среднею визированія* и прежде всего покажемъ, что *искомая точка m лежитъ въ разстояніяхъ отъ сторонъ треугольника погрѣшностей, прямо пропорціональныхъ разстояніямъ точки M отъ точекъ мѣстности L, P и S* или, что то же самое, *точки m* отъ точекъ *l*, *p* и *s* на мензулѣ.

Пусть вслѣдствіе ошибки въ оріентированіи на уголъ μ получился треугольникъ погрѣшностей *xyz* (черт. 383). Такъ какъ искомая точка *m* лежитъ въ пересѣченіи двухъ окружностей, вмѣщающихъ—одна уголъ α, а другая—уголъ β, то первая окружность, проходящая черезъ точки *s* и *l*, должна пройти черезъ вершину *x* треугольника погрѣшностей *xyz*, а вторая—черезъ точки *s*, *p* и вершину *y* треугольника погрѣшностей *xyz*, такъ какъ уголъ $lxs = \alpha$, а уголъ $syp = \beta$. Опустивъ перпендикуляры *mn*, *mt* и *mr* изъ точки *m* на стороны треугольника погрѣшностей (или ихъ про-

[1]) *см. начало* § 229.

долженіе) и соединяя точку m съ данными s, l и p, легко усмотрѣть, что прямоугольные треугольники nlm, stm и mr-



Черт. 383.

подобны, такъ какъ имѣютъ по равному острому углу μ, и изъ подобія ихъ слѣдуетъ, что

$$Sin\ \mu = \frac{mn}{ml} = \frac{mt}{ms} = \frac{mr}{mp}$$

или

$$mn : mt : mr = ml : ms : mp.$$

Но такъ какъ

$$ml : ms : mp = ML : MS : MP,$$

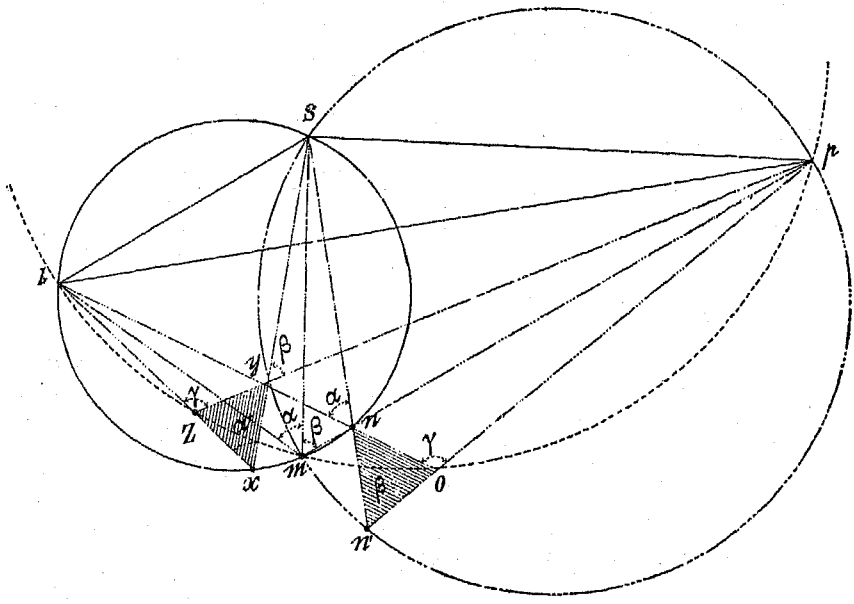
то

$$mn : mt : mr = ML : MS : MP.$$

Что же касается положенія точки m относительно треугольника погрѣшностей, то 1) *точка m лежитъ внутри треугольника погрѣшностей xyz, когда точка M находится внутри* $\triangle$-ка LSP (черт. 382) 2) *точка m лежитъ внѣ треугольника погрѣшностей xyz, но по одну сторону съ нимъ относительно линіи средняго визированія, когда точка M находится внѣ окружности, проходящей черезъ L, S и P, противъ одной изъ сторонъ, напр., LP. Во всѣхъ же остальныхъ (кромѣ указанныхъ) случаяхъ точка m лежитъ внѣ треугольника погрѣшностей, но за то по одну сторону съ нимъ относительно линіи средняго визированія* (черт. 382).

Способъ Боненбергера. Способъ Боненбергера состоитъ въ томъ, что если намъ будутъ даны 3 точки мѣстности L, S и P и соотвѣтствующее ихъ взаимное положеніе на мензулѣ l, s и p, то можно опредѣлить 4-ю точку M стоянія съ мензулой слѣдующимъ образомъ: *ориентировать мензулу приближенно на глазъ* и, визируя черезъ точки l,

s и p мензулы на соотвѣтствующія точки L, S и P мѣстности, получить треугольникъ погрѣшностей $nn'o$ (черт. 384), въ которомъ при точкѣ n будетъ уголъ $\alpha = lns$, а при точкѣ n' уголъ $\beta = sn'p$. Затѣмъ *съ помощью микрометреннаго винта выводимъ мензулу изъ ея первоначальнаго положенія*, сдѣлавъ два—три оборота винтомъ, и, такимъ же образомъ, вновь визируя черезъ точки l, s и p мензулы на точки L, S и P мѣстности, получимъ новый треугольникъ погрѣшностей xyz, въ которомъ при точкѣ x будетъ уголъ α (lxs) и при точкѣ y—уголъ β (syp). Если теперь проведемъ три окружности: 1) одну вмѣщающую уголъ α, черезъ точки l и s, то она пройдетъ черезъ точки n и x, потому что при нихъ лежитъ уголъ α, опирающійся на хорду ls; 2) окружность, вмѣщающую уголъ β, черезъ точки s и p; она пройдетъ черезъ точки n' и y, потому что при нихъ лежитъ уголъ β, опирающійся на хорду sp и 3) наконецъ проведемъ 3-ю окружность черезъ точки l, p и o, вмѣщающую уголъ $lop = \gamma = \alpha + \beta$ (изъ треугольника $nn'o$ видимъ,

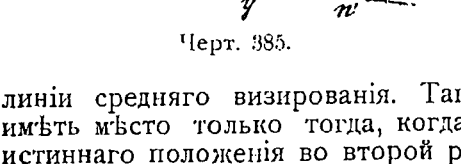


Черт. 384.

что уголъ lop, какъ внѣшній, равенъ суммѣ двухъ угловъ $n'no = \alpha$ и $nn'o = \beta$); эта окружность пройдетъ черезъ точку z, при которой лежитъ уголъ $lzp = \alpha + \beta$ и опирающійся такъ же, какъ и γ, на хорду lp. Эти три окружности должны пройти черезъ искомую нами точку, какъ вмѣщающія углы $lns = \alpha$, $smp = \beta$ и $lmp = \gamma$, т. е. пересѣчься въ искомой нами точкѣ. На мензулѣ вмѣсто проведенія 3-хъ выше-

описанныхъ окружностей проводятъ прямыя линіи: первую—черезъ точки *n* и *x*, вторую—черезъ *n'* и *y* (и въ случаѣ надобности 3-ю—черезъ *o* и *z*); пересѣченіе этихъ трехъ линій и дастъ *приближенно искомую точку m*.

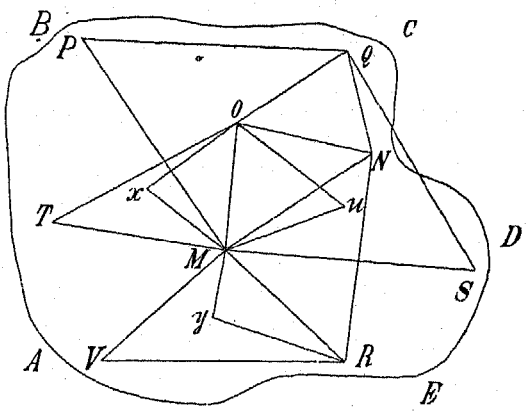
Ориентированіе планшета *вновь дѣлается* по линіи *ms*. Если точка *m* опредѣлилась хорошо, то третьяго треугольника погрѣшностей не получится, а если треугольникъ погрѣшностей окажется опять на лицо, то весь пріемъ снова повторяется. Если для полученія второго треугольника погрѣшностей вращеніе мензульной доски около ея вертикальной оси было сдѣлано движеніемъ, уклоняющимъ линіи мензулы отъ истиннаго ихъ положенія въ сторону, противоположную, сравнительно съ положеніемъ мензулы при полученіи перваго треугольника погрѣшностей, то *оба* треугольника будутъ обращены вершинами *o* и *z*, въ разныя стороны *отъ линіи sm—средняго визированія* (черт. 384). Но можетъ случиться, что *z* и *o* лягутъ по одну сторону отъ линіи средняго визированія (черт. 385); тогда искомая точка *m* ляжетъ по другую сторону отъ линіи средняго визированія. Такое расположеніе будетъ имѣть мѣсто только тогда, когда уклоненіе мензулы отъ истиннаго положенія во второй разъ произошло въ ту же сторону, что и въ первый разъ. Если оріентировать мензулу не на глазъ, а *по буссоли*, то при этомъ иногда совсѣмъ не получается треугольника погрѣшностей, и искомая точка опредѣляется сразу пересѣченіемъ трехъ линій визированія.



Черт. 385.

§ 230. Мензульная съемка, основанная на составленіи геометрической сѣти. Если данный участокъ покрытъ цѣлымъ рядомъ контуровъ, то производить мензульную съемку, примѣняя непосредственно обыкновенные четыре способа (обхода, засѣчекъ, полярный, промѣровъ съ вѣхи на вѣху), постепенно переходя отъ одного изъ нихъ, напримѣръ, центральнаго контура къ другимъ, не принявъ во вниманіе общаго очертанія участка, невыгодно, такъ какъ при примыканіи снимаемыхъ границъ послѣдующихъ контуровъ къ границамъ предшествующихъ, окажется, что контуры, снятые подъ конецъ работы, не займутъ на планшетѣ относительно контуровъ, снятыхъ въ началѣ, того положенія, какое они имѣютъ въ дѣйствительности, а болѣе или менѣе уклонятся въ сторону *вслѣдствіе накопленія неизбѣжныхъ погрѣшностей измѣреній*. Для возможнаго устраненія этого накопленія погрѣшностей, передъ производствомъ съемки контуровъ опредѣляютъ на снимаемомъ участкѣ *ABCDEA* (черт. 386) взаимное положеніе такъ называемыхъ *основныхъ*

или *опорныхъ точекъ*, *при возможно маломъ числѣ установокъ инструмента и при возможно большихъ между ними разстояніяхъ, какія только допускаетъ сила зрѣнія визирнаго снаряда.* Допустимъ, что эти точки выбраны такъ, что изъ каждой видно *не менѣе* двухъ другихъ, тогда, соединяя ихъ по три, получимъ на мѣстности *сѣть треугольниковъ или тріангуляцію* [1]). Точки *O*, *M*, *N*,... будучи равномѣрно размѣщены по всему участку, послужатъ не только основаніемъ для съемки контуровъ, но и средствомъ постояннаго контроля надъ сдѣланными вновь опредѣленіями положеній точекъ контуровъ (по положенію основныхъ точекъ). Необходимость предварительнаго опредѣленія опорныхъ пунктовъ подтверждается также и основнымъ правиломъ съемки, высказаннымъ какъ въ главѣ предварительныхъ понятій, такъ и въ IV главѣ § 141, стр. 171, что порядокъ производства съемки долженъ быть таковъ, чтобы работа постепенно переходила отъ *общаго къ частному* (см.—„О съемкѣ контуровъ въ общей связи“).



Черт. 386.

Тріангуляція бываетъ: *тригонометрическая* и *геометрическая*. Когда опредѣленіе относительнаго положенія пунктовъ тріангуляціи производится *вычисленіемъ*, т. е. *тригонометрическимъ рѣшеніемъ* треугольниковъ по числовымъ величинамъ: 1) одной изъ сторонъ треугольниковъ и 2) по измѣреннымъ угламъ всѣхъ треугольниковъ сѣти съ цѣлью отысканія числовыхъ величинъ *координатъ* всѣхъ вершинъ треугольниковъ, тогда сѣть наз. *тригонометрическою*; если же опредѣленіе пунктовъ сѣти дѣлается графически, т. е. *геометрическимъ построеніемъ* на бумагѣ треугольниковъ, подобныхъ воображаемымъ на мѣстности, и результатомъ является только чертежъ, то такая тріангуляція называется *геометрическою*. При съемкахъ геометрическую сѣть составляютъ или независимо отъ сѣти *тригонометрической*, или

[1]) Названіе тріангуляціи происходитъ отъ латинскаго слова triangulus—треугольникъ. Тріангуляція была предложена въ 1615 году голландцемъ Снелліусомъ, которымъ предложена задача Потенота.

же основываютъ ее на этой послѣдней. Геометрическая сѣть тогда не основывается на тригонометрической сѣти, когда въ данной мѣстности не имѣется на лицо этой послѣдней; обыкновенно же, тригонометрическая сѣть кладется въ основаніе геометрической сѣти.

Разсмотримъ здѣсь составленіе и пользованіе исключительно геометрическою сѣтью; составленіе же тригонометрической сѣти разсмотримъ въ слѣдующей главѣ.

Составленіе геометрической сѣти заключается въ выполненіи слѣдующихъ отдѣльныхъ дѣйствій: 1) обзоръ или *рекогносцировка* мѣстности, 2) выборъ и обозначеніе пунктовъ сѣти сигналами (вѣхами), 3) выборъ и измѣреніе базиса и 4) наконецъ, нанесеніе пунктовъ сѣти на планшетъ, т. е. построеніе сѣти.

Выборъ точекъ сѣти. Чтобы пункты сѣти удовлетворяли своему назначенію, ихъ выбираютъ на возвышенныхъ и открытыхъ мѣстахъ, заранѣе замѣченныхъ при осмотрѣ—рекогносцировкѣ мѣстности, при томъ такъ, чтобы съ каждаго изъ нихъ было видно возможно большее число другихъ (не менѣе двухъ). Чтобы удобнѣе было ими пользоваться, какъ *опорными* при съемкѣ, ихъ стараются выбрать на такихъ мѣстахъ, *гдѣ сходятся нѣсколько контуровъ*, а также при пересѣченіи дорогъ или на рѣзко обозначившихся ихъ изгибахъ, при сліяніи ручьевъ и т. п. При выборѣ точекъ сѣти не слѣдуетъ упускать изъ виду, что положеніе ихъ на планшетѣ будетъ опредѣлено засѣчками, а потому необходимо наблюдать, чтобы стороны воображаемыхъ треугольниковъ, пересѣченіями которыхъ онѣ опредѣляются, не образовали бы слишкомъ острыхъ или тупыхъ угловъ. Засѣчка считается надежною, если она сдѣлана, какъ сказано выше, подъ углами не менѣе 30^0 и не болѣе 150^0. Наконецъ, при выборѣ пунктовъ сѣти надо помнить, что для возможнаго избѣжанія накопленія неизбѣжныхъ погрѣшностей, опредѣленіе пунктовъ должно быть произведено при возможно меньшемъ числѣ постановокъ инструмента.

Взаимное разстояніе между избираемыми на мѣстности пунктами сѣти зависитъ какъ отъ характера мѣстности, такъ и отъ масштаба съемки: чѣмъ болѣе на мѣстности снимаемыхъ контуровъ и чѣмъ они мельче, тѣмъ менѣе стороны треугольниковъ сѣти. Точно такъ же, чѣмъ мельче масштабъ, тѣмъ длиннѣе должны быть стороны треугольниковъ; вообще же *желательно, чтобы стороны треугольниковъ на планшетѣ представлялись линіями не короче двухъ дюймовъ, а число пунктовъ сѣти должно быть таково, чтобы на каждые четыре квадратныхъ дюйма плана приходилось въ среднемъ не менѣе одного пункта.*

Обозначеніе точекъ сѣти. Если на избранныхъ пунктахъ нѣтъ естественныхъ сигналовъ: колоколенъ, башенъ,

верстовыхъ столбовъ, отдѣльныхъ деревьевъ и т. п., то ставятъ на нихъ большія вѣхи, вышиною отъ $1^1/_2$ до 3 саженъ. Для лучшей видимости вѣхъ на ихъ верхушки набиваютъ флаги, навязываютъ хворостъ или солому, также прибиваютъ дощечку, а иногда и двѣ, сложенныя накрестъ и т. п., разнообразя эти значки для того, чтобы можно было различать издали одну вѣху отъ другой.

Выборъ базиса и его длина. Для возможности опредѣленія на бумагѣ относительнаго положенія пунктовъ сѣти *засѣчками измѣряется на мѣстности одна изъ сторонъ* треугольниковъ, напр., *MO* (черт. 38б), которая называется тогда *базисомъ* или *основаніемъ* сѣти. Мѣсто для базиса избирается одновременно съ выборомъ мѣстъ для пунктовъ сѣти, причемъ наблюдается, чтобы онъ находился по возможности на срединѣ снимаемаго участка и на почвѣ ровной, не пересѣкаемой препятствіями—оврагами, рѣками, болотами. *Средина участка есть наиболѣе выгодное мѣсто для базиса* потому, что, при опредѣленіи положенія пунктовъ относительно базиса, неизбѣжныя погрѣшности не будутъ накопляться и вліять *въ одну какую-нибудь сторону*, а будутъ *равномѣрно* распредѣляться по всѣмъ направленіямъ; вслѣдствіе этого можно разсчитывать и на болѣе точное опредѣленіе положенія пунктовъ сѣти, при которомъ *нанесенное на планшетъ положеніе пунктовъ возможно ближе будетъ подходить къ ихъ истинному положенію.*

Длина базиса обусловливается масштабомъ съемки и размѣрами снимаемаго участка. Такъ, если при нанесеніи пунктовъ сѣти на бумагу существуетъ пока только одна погрѣшность—отъ неточнаго нанесенія на планшетъ длины базиса, то базисъ длиною, напр., въ 300 саж. нанесенный въ масштабѣ $\frac{1}{8400}$ (точность котораго $\frac{1}{200}$ дюйма $= 0{,}5$ саж.) будетъ ошибоченъ на 0,5 саж., т. е. онъ будетъ короче или длиннѣе на 0,5 сажени, слѣдовательно будетъ имѣть абсолютную ошибку 0,5 саж., а относительную (на единицу длины) $-\frac{0{,}5}{300} = \frac{1}{600}$. Тотъ же базисъ, нанесенный въ масштабѣ $\frac{1}{4200}$, будетъ имѣть абсолютную ошибку 0,25 саж., а относительную $\frac{0{,}25}{300} = \frac{1}{1200}$, т. е. *точность нанесенія базиса на бумагу возрастаетъ съ увеличеніемъ масштаба.* Ошибка же въ опредѣленіи точки N стороны MN по базису MO *будетъ болѣе* ошибки въ базисѣ (0,5 или 0,25 саж.) въ отношеніи $MN : MO$, т. е.—чѣмъ больше размѣры сторонъ $\triangle$-овъ, тѣмъ длиннѣе долженъ быть базисъ.

Измѣреніе базиса. Когда мѣсто для базиса выбрано, то его предварительно провѣшиваютъ; послѣ этого *измѣряютъ базисъ стальною лентою* (въ крайнемъ случаѣ цѣпью) *не менѣе трехъ разъ*. Среднее ариѳметическое изъ результатовъ

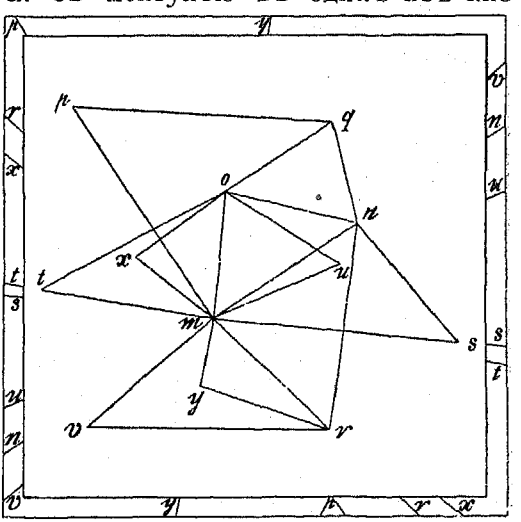
измѣренія, приведенное (по измѣренному углу наклоненія) къ горизонту, принимается за длину базиса. Такъ какъ для базиса избирается мѣсто благопріятное для измѣренія, то среднее ариѳметическое не должно отличаться отъ отдѣльныхъ результатовъ измѣренія болѣе чѣмъ на $\frac{1}{1000}$ долю его длины; въ противномъ случаѣ результатъ, дающій большую разницу, долженъ быть отброшенъ и замѣненъ новымъ измѣреніемъ. Такъ, если при измѣреніи базиса получены результаты: 357,3; 355,8; 357,7; то среднее ариѳметическое изъ перваго и третьяго измѣренія будетъ $= 357{,}5$. Разность $357{,}5 - 355{,}8 = 1{,}7$ составляетъ $\frac{1{,}7}{357{,}5} = \frac{1}{210}$ долю; а потому второй результатъ долженъ быть отброшенъ. Пусть новое измѣреніе базиса дало 357,2; вслѣдствіе чего среднее изъ 357,3, 357,2 и 357,7 будетъ 357,4, оно и выражаетъ вѣроятную величину базиса.

Нанесеніе пунктовъ сѣти на планшетъ. Передъ нанесеніемъ пунктовъ сѣти на мензульный листъ, на немъ строятъ рамку, въ видѣ квадрата, такихъ размѣровъ, чтобы за сторонами этого квадрата оставалось до краевъ доски, по крайней мѣрѣ, по одному дюйму *для прочерчиванія концовъ линій, служащихъ для ориентированія планшета.*

Построеніе квадрата на листѣ планшета можно произвести такъ: проведя съ угла на уголъ доски двѣ діагонали *ac* и *bd* (черт. 344) откладываютъ на одной изъ нихъ, отъ точки ея пересѣченія длину, вычисленную по формулѣ $^1/_2\, ac = {}^1/_2\, ab\sqrt{2}$, гдѣ *ab* есть данная сторона квадрата. Затѣмъ, принимая послѣдовательно точки *a* и *c* за центры, описываютъ по обѣимъ сторонамъ отъ линіи *ac* дуги радіусомъ *ab*. Соединеніе пересѣченій этихъ дугъ съ точками *a* и *c* дастъ искомый квадратъ *abcd*, который можетъ быть повѣренъ тѣмъ, что обѣ его діагонали должны быть равны между собою. Если *ab* должно быть равно 5 дюймамъ, то $^1/_2\, ac = 3{,}54$ дюйма. Передъ нанесеніемъ пунктовъ *сѣти* необходимо также рѣшить слѣдующій вопросъ: *помѣстится ли данный участокъ внутри построеннаго квадрата (рамки) или нѣтъ?* Для рѣшенія его надо знать длину наибольшаго протяженія по снимаемому участку, а это можетъ быть извѣстно или по имѣющейся у съемщика подъ руками картѣ, или за отсутствіемъ ея, по оцѣнкѣ этой длины на-глазъ при выборѣ пунктовъ сѣти на мѣстности. Пусть обнаружилось, что наибольшее протяженіе по участку $= 6$ верстамъ $=$ $= 3000$ саж. Если сторона рамки $= 20$ дюймамъ, то при масштабѣ $\frac{1}{8400}$, въ которомъ, допустимъ, должна быть произведена съемка, это составитъ 2000 саж. или 4 версты, и такъ какъ можетъ случиться, что наибольшая длина участка расположится при съемкѣ по направленію стороны ква-

драта, то, сравнивая послѣднее число съ наибольшимъ протяженіемъ участка (6 верстъ), видимъ, что нашъ участокъ при указанномъ масштабѣ не можетъ помѣститься на одномъ планшетѣ. И такъ, при нанесеніи пунктовъ сѣти на планшетъ, могутъ быть два случая: 1) когда участокъ помѣщается въ масштабѣ съемки на одномъ планшетѣ и 2) когда онъ не помѣщается.

Сначала разсмотримъ *нанесеніе пунктовъ сѣти въ томъ случаѣ, когда данный участокъ помѣщается на одномъ планшетѣ*. Положимъ, что, намѣчая пункты на участкѣ *ABCDE* (черт. 386), при рекогносцировкѣ имѣлось въ виду: 1) принять линію *MO* за базисъ, 2) опредѣлить съ его концовъ пункты *N*, *u*, *T* и *x*; затѣмъ 3) опредѣлить обратной засѣчкой по *O* и *N* точку *Q*, и провѣрить это опредѣленіе обратной засѣчкой по пунктамъ *T* и *u*; 4) съ *Q* и *M* опредѣлить пункты *P* и *S*, 5) пунктъ *R* опредѣлить по *M* и *N* и провѣрить этотъ послѣдній обратной засѣчкой по видимымъ съ него пунктамъ *Q*, *u* и *S*, 6) съ пунктовъ *M* и *R* опредѣлить пункты *V* и *y* и, наконецъ, 7) перейдя съ мензулою на пунктъ *T*, провѣрить его по пунктамъ *P*, *Q*, *x* и *R*, послѣ чего съ того же пункта провѣрить опредѣленіе пунктовъ *V* и *y*. Дѣйствовать такимъ путемъ предполагалось съ цѣлью, чтобы не только опредѣлить всѣ пункты сѣти, но еще и провѣрить полученное на планшетѣ взаимное ихъ положеніе. Исполненіе составленнаго проекта начинаютъ съ того, что становятся съ мензулою въ одинъ изъ концовъ базиса, напр., *M*, вынувъ сперва, *если этого требуетъ масштабъ съемки*, вѣху, стоящую въ этомъ пунктѣ, хотя лучше вѣхи ставить нѣсколько наклонно (см. стр. 333, черт. 332) и не вынимать разъ установленныя вѣхи. Въ точкѣ *M* приводятъ мензулу въ горизонтальное положеніе сперва на глазъ, оріентируютъ *по буссоли* какую-нибудь сторону рамки (по магнитному или, если извѣстно склоненіе магнитной стрѣлки, то по истинному меридіану) и назначаютъ на мензулѣ точку *m* (черт. 387), соотвѣтствующую точкѣ стоянія *M*, съ такимъ разсчетомъ, чтобы весь сни-



Черт. 387.

маемый участокъ могъ помѣститься внутри начерченнаго на планшетѣ квадрата. Затѣмъ мензулу точно центрируютъ точкою *m*, приводятъ по уровню планшетъ въ горизонтальное положеніе и снова оріентируютъ по меридіану. Послѣ этого прекращаютъ грубое вращеніе доски закрѣпленіемъ станового винта подставки мензулы. Убѣдившись въ неподвижности планшета, прикладываютъ ребро линейки визирнаго снаряда къ *m* и визируютъ на другой конецъ *o* базиса; при этомъ по линейкѣ прочерчиваютъ линію какъ на краяхъ планшета, такъ и внутри рамки такой длины, чтобы на ней можно было отложить по масштабу съемки измѣренный базисъ. Отложивъ длину базиса *mo*, визируютъ на всѣ видимыя изъ *M* точки *P*, *X*, *T*, *V*, *Y*, *R*, *S*, *U* и *N* и проводятъ на планшетѣ линіи: *mp*, *mx*, *mt*, *mv*, *my*, *mr*, *ms*, *mu*, и *mn*. Покончивъ всѣ визированія съ точки *M*, снова повѣряютъ оріентировку планшета по базису. Если она вѣрна, то это удостовѣритъ, что планшетъ не измѣнилъ своего положенія во время визированій; въ противномъ случаѣ всѣ прочерченныя съ этой точки направленія должны быть провѣрены и, если надо, исправлены. Далѣе мензулу снимаютъ съ точки *M* и переносятъ ее на другой конецъ базиса въ точку *O*. Здѣсь вновь мензулу центрируютъ надъ *O*, доску приводятъ въ горизонтальное положеніе и оріентируютъ линіею *om* по вѣхѣ *M*, т. е. по линіи *OM*. Послѣ этого закрѣпляютъ доску и, *провѣривъ снова отложенную длину mo базиса MO*, дѣлаютъ визированія на вѣхи *U*, *N*, *T* и *X*, засѣкая направленія, сдѣланныя на эти точки изъ *M*. Вслѣдствіе чего на планшетѣ получаются точки *u*, *n*, *t* и *x*; при этомъ наблюдаютъ, чтобы засѣчки не были слишкомъ остры или тупы. Изъ точки *O* прочерчиваютъ визированіе на новую точку *Q*. Убѣдившись провѣркою оріентировки въ томъ, что планшетъ сохранилъ данное ему вначалѣ положеніе, снимаютъ мензулу, и переносятъ инструментъ въ одну изъ точекъ съ наиболѣе благопріятной засѣчкой, сдѣланной съ концовъ базиса, напр., *N*. Въ точкѣ *N* мензулу центрируютъ точкою *n* и оріентируютъ по *no;* послѣ этого положеніе точки *n* провѣряютъ обратной засѣчкой съ точки *m* базиса, т. е. удерживая скошенный край линейки кипрегеля у точки *m* и визируя на *M*. Убѣдившись въ вѣрности опредѣленія точки *n*, провѣряютъ положеніе точекъ *t*, *x* и *u*, для чего послѣдовательно прикладываютъ край линейки кипрегеля къ *n* и *t*, къ *n* и *x*, къ *n* и *u*, и смотрятъ покрываетъ ли крестъ нитей трубы вершины вѣхъ *T*, *X*, *U*. Въ случаѣ, если точка *n* оказалась бы не вѣрно засѣченной съ концовъ базиса, то необходимо вновь вернуться въ точки *O* и *M* для новаго опредѣленія точки *N*. Изъ точки *N* переходятъ въ точку *Q*. Назначивъ на направленіи *oq* примѣрное положеніе точки *q*, устанавливаютъ мензулу надъ *Q* надлежащимъ

образомъ, оріентируютъ ее по направленію *qo* и получаютъ точку *q* обратною засѣчкою чрезъ *n* на *N*. Прежде чѣмъ приступить къ визированію съ этой точки на вновь открывшіяся, надо провѣрить ея опредѣленія на планшетѣ, равно какъ и точекъ *t*, *x*, *u* и *n*. Для этого прикладываютъ ребро линейки визирнаго снаряда послѣдовательно къ точкамъ: *q* и *t*, *q* и *x*, *q* и *u*, *q* и *n* и смотрятъ,—проходитъ ли коллимаціонная плоскость чрезъ *T*, *X*, *U* и *N*; при этомъ могутъ быть такіе случаи: 1) коллимаціонная плоскость проходитъ послѣдовательно чрезъ всѣ эти вѣхи, 2) коллимаціонная плоскость проходитъ чрезъ нѣкоторыя точки, напримѣръ, *T*, *U* и *N*, а чрезъ другія, напримѣръ, черезъ *X* не проходитъ и 3) коллимаціонная плоскость не проходитъ ни чрезъ одну изъ предыдущихъ вѣхъ. Въ первомъ случаѣ можно почти съ достовѣрностью утверждать, что какъ *q*, такъ и *t*, *x*, *u* и *n* опредѣлены вѣрно. Во второмъ случаѣ слѣдуетъ сдѣлать весьма вѣроятное предположеніе, что точка *x* невѣрно нанесена на планшетъ; и имѣя это въ виду, надо будетъ опредѣлить ее съ другихъ точекъ, на которыя будемъ становиться съ мензулою (напр., *Q* и *R*). Наконецъ, причиною появленія третьяго случая можетъ быть: или невѣрное оріентированіе планшета въ *Q*, или невѣрное опредѣленіе самой точки *q*. Если повѣрка оріентированія не приводитъ къ благопріятному результату, то невѣрность могла произойти отъ невѣрнаго проведенія направленія *oq*. Тогда, возвратившись съ мензулою въ *o*, провѣряютъ направленія *oq* и *on*. При невѣрности направленія *oq*, проводятъ новое, переходятъ опять въ *Q*, снова оріентируются по *qo* и снова опредѣляютъ *q* чрезъ *n*. Если же въ *O* окажется, что оба направленія *oq* и *on* вѣрны или направленіе *oq* вѣрно, а *on* невѣрно, то оба эти обстоятельства даютъ возможность предполагать невѣрность опредѣленія точки *n*. Перейдя опять изъ *O* въ *Q*, опредѣляютъ *q* уже не по *n*, а по другой какой-нибудь точкѣ, напримѣръ, по *u*. Опредѣливъ такимъ образомъ *q* и, провѣривъ ее по другимъ точкамъ, засѣкаютъ направленія *mp* и *ms*, а также, если надо, и направленіе *on*. Послѣ этого, вновь повѣривъ оріентированіе, снимаютъ мензулу съ *Q* и переносятъ ее въ *R*, гдѣ, установивъ ее надлежащимъ образомъ, опредѣляютъ *r* обратною засѣчкою чрезъ *n*, провѣряютъ ее на всѣ видимыя съ нея точки *T*, *P*, *X*, *N*, *S* и опредѣляютъ новыя точки *y* и *v*. Въ заключеніе для повѣрки, главнымъ образомъ, точекъ *y* и *v* переносятъ мензулу въ *T* и провѣряютъ окончательно всѣ видимые пункты.

Такимъ образомъ *обходятъ съ мензулою всѣ пункты съемки*, а черезъ это на планшетѣ они не только будутъ опредѣлены, но и провѣрены.

Къ сказанному о нанесеніи тріангуляціи нужно добавить: 1) предположенный распорядокъ работы можетъ

подвергнуться во время ея хода нѣкоторому измѣненію, если при опредѣленіи точекъ обнаружится, что нѣкоторыя изъ нихъ получаются подъ острыми или тупыми углами, или встрѣтятся какія-либо невѣрности;

2) для послѣдующей постановки инструмента нужно брать точку, дальше отстоящую отъ предыдущей, чрезъ что уменьшается число станцій, а слѣдовательно и накопленіе неизбѣжныхъ погрѣшностей;

3) такъ какъ каждый пунктъ тріангуляціи можетъ опредѣляться пересѣченіемъ болѣе, чѣмъ двухъ направленій, то, для избѣжанія накопленія слишкомъ большого числа прочерченныхъ за рамкою направленій, достаточно дѣлать эти продолженія только съ нѣкоторыхъ изъ пунктовъ, съ которыхъ получается болѣе благопріятная засѣчка;

4) вставъ съ мензулою на какой-нибудь пунктъ сѣти и оріентировать планшетъ, нужно прежде всего провѣрить на планшетѣ точку стоянія по имѣющимся на планшетѣ пунктамъ и уже только послѣ этого приступить къ опредѣленію новыхъ точекъ;

5) каждую точку на планшетѣ, послѣ ея провѣрки, накалываютъ круглою наколкою съ зачерненіемъ образовавшагося углубленія остріемъ карандаша, затѣмъ, стеревъ резиною пересѣченіе линій ея опредѣляющихъ, обводятъ точку маленькимъ треугольникомъ или кружкомъ.

Когда *снимаемый участокъ не помѣщается на одномъ планшетѣ*, то нанесеніе составленной на мѣстности сѣти производится по двумъ способамъ.

Въ первомъ способѣ это нанесеніе дѣлается въ томъ же масштабѣ, который предположенъ и для съемки подробностей. Самыя дѣйствія состоятъ въ слѣдующемъ: съ измѣреннаго базиса, выбраннаго въ срединѣ участка, наносятъ на первый планшетъ тѣ точки мѣстности, которыя на немъ помѣстятся, и при томъ въ той послѣдовательности, какъ предположено: затѣмъ *точки, лежащія вблизи стороны рамки, переносятся на слѣдующіе планшеты и, принявъ за новый базисъ или разстояніе между двумя перенесенными пунктами, или разстояніе вновь измѣренное*, продолжаютъ нанесеніе сѣти на этомъ второмъ планшетѣ [1]). Поступая такимъ же образомъ далѣе, получаютъ всю сѣть на нѣсколькихъ планшетахъ, на которыхъ послѣ этого и производится съемка подробностей. По окончаніи нанесенія на каждомъ планшетѣ пунктовъ сѣти, производится на немъ съемка подробностей и иллюминовка контуровъ планшета, послѣ чего, еще *не срѣзая листа съ доски*, съемщикъ измѣряетъ на немъ всѣ тѣ величины, которыя опредѣляютъ положенія переносимыхъ пунктовъ, и записываетъ ихъ; за симъ, по

---

[1]) Перенесеніе дѣлается помощію координатъ, взятыхъ относительно рамки.

срѣзкѣ съ доски листа, покрытаго съемкой, и наклейки на нее чистой бумаги, строятъ въ ней квадратъ, равный квадрату перваго планшета, и наносятъ точки по сдѣланнымъ записямъ. Такая предосторожность необходима потому что, по срѣзкѣ бумаги съ доски, она сядетъ, вслѣдствіе чего, и измѣнится какъ относительное расположеніе пунктовъ сѣти между собою, такъ и положеніе ихъ относительно сторонъ рамки [1]).

Второй способъ нанесенія пунктовъ тріангуляціи участка, *не* помѣщающагося въ заданномъ масштабѣ на одномъ мензульномъ листѣ, основанъ на такомъ *измѣненіи заданнаго масштаба*, чтобы весь участокъ расположился на одномъ планшетѣ.

Самое нанесеніе сѣти въ этомъ масштабѣ производится такъ же, какъ и прежде, т. е. начавъ съ нанесенія на планшетъ базиса, постепеннымъ переходомъ изъ одной точки въ другую съ мензулою получаютъ засѣчками всѣ пункты тріангуляціи на одномъ листѣ.

Уменьшать масштабъ общей сѣти дозволяется не болѣе какъ въ 3 раза, ибо при перенесеніи пунктовъ съ общаго планшета на частные во столько же разъ будутъ увеличены и неизбѣжныя погрѣшности измѣренія линій на планѣ, и тріангуляція не достигнетъ цѣли—дать вѣрныя опорныя точки для съемки подробностей. Положеніе перенесенныхъ пунктовъ сѣти необходимо провѣрить на мѣстности.

Если однако снимаемый участокъ настолько великъ, что требуется большое уменьшеніе масштаба общей сѣти, то это затрудненіе обходится тѣмъ, что, уменьшивъ масштабъ сѣти все-таки не болѣе какъ въ 3 раза, снимаютъ ее на нѣсколькихъ планшетахъ, которые затѣмъ и разбиваются на частные для съемки.

§ **231. Съемка контуровъ мензулою.** Когда тріангуляція составлена и нанесена на планшетъ, тогда приступаютъ къ съемкѣ контуровъ. При этомъ, смотря по условіямъ, представляемымъ мѣстностью, и удобствамъ, употребляютъ тотъ или другой изъ четырехъ способовъ, описанныхъ на стр. 159—167.

Способъ засѣчекъ весьма часто употребляется при мензульной съемкѣ въ открытой мѣстности.

Способъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху можно рекомендовать, между прочимъ, и съ цѣлію контроля сдѣланныхъ засѣчекъ и, конечно, въ мѣстности открытой. Этимъ способомъ (въ связи съ методомъ координатъ) нерѣдко поручаютъ помощнику снять селеніе, рѣчной берегъ и т. п. относительно оси, положеніе которой дано на мензулѣ.

---

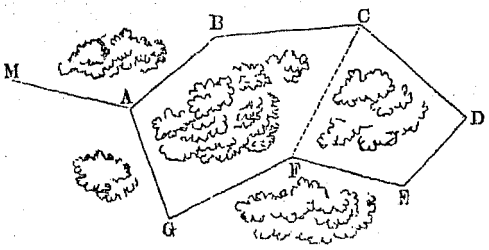
[1]) Интересующимся способами перенесенія пунктовъ сѣти съ одного планшета на другой рекомендуется просмотрѣть эту статью въ части II *Курса Низшей Геодезіи Н. Смирнова* или часть I *Курса Низшей Геодезіи А. Бикъ*, или Топографія—*В. Витковскаго*.

Съемка полярнымъ способомъ производится изъ одной точки стоянія и состоитъ въ нанесеніи на планшетъ направленій на главнѣйшіе изгибы контура и въ отложеніи на этихъ направленіяхъ ихъ длинъ.

Этотъ способъ имѣетъ особое значеніе въ открытой мѣстности или при съемкѣ лужаекъ въ лѣсу въ томъ случаѣ, когда съемщикъ располагаетъ кипрегелемъ-*дальномѣромъ* съ рейкою. Очевидно, что онъ выгоденъ по отношенію къ быстротѣ съемки.

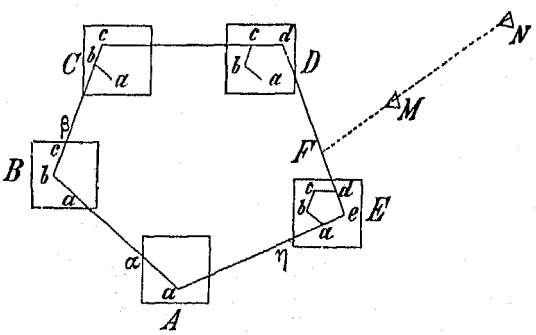
Полярный способъ хотя тоже требуетъ мѣстности открытой, но имѣетъ преимущество предъ способомъ засѣчекъ, состоящее въ томъ, что нерѣдко рѣшаетъ вопросъ *одною постановкою мензулы.*

Способъ обхода употребляется для съемки лѣса, кустарника, дороги или ручья, пролегающихъ въ лѣсу, и вообще контура закрытаго (черт. 388). Онъ основанъ на томъ, что съемщикъ, слѣдуя по контуру, опредѣляетъ положеніе каждой послѣдующей точки стоянія мензулы *направленіемъ и промѣромъ отъ точки предыдущей.*



Черт. 388.

Положимъ, что для съемки контура кустарника положеніе точки *A* (черт. 389) на планшетѣ дано, пусть оно—*a*; если же этотъ контуръ долженъ быть снятъ отдѣльно, независимо отъ другихъ, то точка *a* выбирается на планшетѣ съемщикомъ такъ, чтобы весь контуръ по соображенію могъ помѣститься на планшетѣ. Вставъ съ мензулою въ эту точку, съемщикъ оріентируетъ планшетъ или по имѣющимся на немъ точкамъ, или въ крайнемъ случаѣ по буссоли, визируютъ вдоль границы контура на вѣху *B* и прочерчиваетъ линію *aa*. Затѣмъ снимаютъ мензулу, ставитъ въ *A* вѣху, измѣряетъ цѣпью линію *AB* и методомъ координатъ снимаетъ точки изгиба контура, причемъ ведетъ абрисъ. Придя въ *B*, съем-

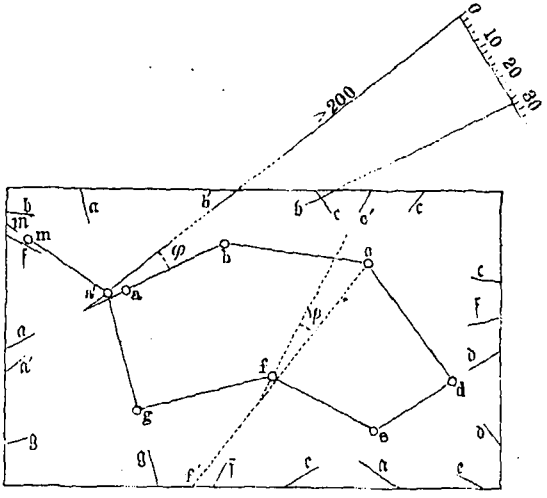


Черт. 389.

щикъ откладываетъ на планшетѣ, по масштабу, длину *ab* линіи *AB*, устанавливаетъ мензулу въ *B* надлежащимъ образомъ, оріентируетъ планшетъ снова на *A*, визируетъ *вдоль границъ контура на вновь избранную точку C*, прочерчиваетъ линію *bβ*, снявъ мензулу, ставитъ на *B* вѣху и промѣряетъ *BC*, опуская на нее перпендикуляры изъ главныхъ изгибовъ контура. Поступая такимъ же образомъ, съемщикъ доходитъ до *E*, гдѣ, поставя мензулу и оріентировавъ планшетъ по *cd* по вѣхѣ *D*, визируетъ чрезъ *e* на *A* и прочерчиваетъ линію *eη*. Послѣ этого измѣряетъ *EA* и откладываетъ ее по масштабу на *eη*.

Если бы съемка производилась съ совершенною точностью, то направленіе *eη* должно было бы проходить чрезъ начальную точку *a*, и конецъ линіи *EA*, взятой по масштабу, долженъ былъ бы совпасть съ *a; но вслѣдствіе неизбѣжныхъ погрѣшностей*, сдѣланныхъ при построеніи угловъ на планшетѣ, а также при измѣреніи линій и при нанесеніи ихъ на планшетъ, конечная точка обхода въ большинствѣ случаевъ не совпадетъ съ начальною. Разстояніе ея отъ этой послѣдней, представляющее *невязку фигуры*, уничтожается по способу параллельныхъ линій, изложенному въ § 151, стр. 187 и 188, однако, предварительно убѣдившись въ томъ, что полученная невязка можетъ быть допущена; въ противномъ случаѣ надо обнаружить тотъ уголъ или ту сторону многоугольника, въ которыхъ слѣдуетъ предполагать грубую ошибку. За высшій предѣлъ невязки принимается при этомъ способѣ $\frac{1}{100}$ периметра.

Для устраненія значительнаго накопленія погрѣшностей нужно заботиться о полученіи длинныхъ линій оріентированія, для чего прочерчивать направленія набудущія точки стоянія и за сторонами рамки планшета (черт. 390); далѣе, если съ какой-нибудь точки стоянія, напр., *c*, видѣнъ другой пунктъ, напр., *f*, то проводятъ на мензулѣ діагональ



Черт. 390.

cf (или *fc'*), повѣряя положеніе точки *f* по *c*. Если также видѣнъ одинъ, или, еще лучше, нѣсколько пунктовъ тріангуляціи, то необходимо провѣрять точку стоянія обратной засѣчкой или *вновь опредѣлять ее по тремъ даннымъ* и, уничтоживъ оказавшуюся при этомъ допускаемую невязку, продолжать обходъ; наконецъ, для устраненія накопленія погрѣшностей въ одну сторону, полезно обходить первую половину контура такъ, чтобы онъ былъ вправо, а потомъ вернувшись къ той же начальной точкѣ обхода, обходить другую половину, держа контуръ влѣво. Вообще при употребленіи этого способа нужно пользоваться всѣмъ, что можетъ уменьшить накопленіе погрѣшностей, ибо ошибка въ положеніи какой-нибудь точки передается при этомъ способѣ цѣликомъ на точки послѣдующія.

Нельзя также пренебрегать и повѣркою по створамъ предметовъ. Это производится такъ: положимъ, что *M* и *N* суть данныя на планшетѣ (черт. 389) точки; тогда при измѣреніи на мѣстности линіи *DE* замѣчаютъ разстояніе точки *F*, лежащей на створѣ предметовъ *M* и *N* и сравниваютъ эту длину съ соотвѣтственною по планшету, что и послужитъ повѣркою.

Разсмотримъ пріемъ увязки фигуры, рекомендуемый нѣмецкими практиками. Такъ какъ измѣреніе сторонъ обойденнаго полигона всегда возможно довести до такого совершенства, при которомъ неизбѣжныя ошибки измѣренія линій окажутся значительно меньше точности масштаба съемки, то невязку въ фигурѣ обойденнаго полигона можно разсматривать, какъ накопленіе только однѣхъ неизбѣжныхъ погрѣшностей, сопровождающихъ построеніе угловъ на мензулѣ. Пусть, наприм., получалась невязка $a'a$ (черт. 390), вслѣдствіе чего, при оріентировкѣ мензулы по $a'g$ и визированіи на точку *B*, линія $a'b'$ уклонилась влѣво отъ *ab* на уголъ φ. Для уничтоженія невязки aa' или, что то же самое, угла φ, распредѣлимъ величину φ на *n* угловъ полигона, и исправимъ каждый, уменьшая его на величину $\varphi : n$. Это выполнится само собою, если мы сторону *ab* повернемъ вправо на $\varphi : n$, сторону *bc* — на 2 $\varphi : n$ и т. д., и наконецъ сторону ga' — на φ. Съ этою цѣлью, приложивъ сперва кипрегель къ линіи $a'b'$, провизируемъ на выставленную въ разстояніи 75—100 саженей (200 метровъ) отъ мензулы горизонтальную рейку, причемъ вращеніемъ планшета совмѣстимъ линію визированія съ нулемъ рейки. Послѣ чего переложимъ кипрегель къ линіи *ab* и, вновь визируя на рейку, сдѣлаемъ на ней отсчетъ ψ. Раздѣливъ затѣмъ ψ на *n*, мы снова вращаемъ доску до тѣхъ поръ, пока пересѣченіе нитей кипрегеля, приложеннаго къ *ab*, не придется на нуль рейки. Закрѣпивъ нажимательный (становой) винтъ мензулы, вращаемъ кипрегель около *a* до тѣхъ поръ, пока линія визированія не пройдетъ черезъ дѣленіе

рейки $\psi : n$, на вновь прочерченной линіи отложимъ длину ab, чрезъ что получится новое исправленное положеніе точки (b). Теперь приложимъ кипрегель къ линіи bc, вращеніемъ доски направимъ кипрегель на нуль рейки и доску закрѣпимъ, затѣмъ вращаемъ по доскѣ кипрегель около (b) и проводимъ новое направленіе bc, при условіи, что крестъ нитей кипрегеля при этомъ покрываетъ на рейкѣ дѣленіе $2\psi : n$. На вновь прочерченной линіи откладываемъ мѣру линіи bc и получаемъ новое исправленное положеніе точки (c). Такимъ же пріемомъ продолжаемъ передвигать слѣдующія точки полигона на планшетѣ до тѣхъ поръ, пока не получится точка (a), совпадающая съ точкою a. При этомъ пріемѣ не требуется строгой центрировки мензулы.

При измѣреніи линій на покатой мѣстности слѣдуетъ, при способѣ обхода, какъ и всегда, наносить ихъ горизонтальныя проложенія.

Когда отъ способа обхода не требуется высшая возможная точность, какъ, напр., въ лѣсныхъ съемкахъ (при отдѣленіи участковъ одинаковой породы, одинаковой густоты насажденія, одинаковаго возраста деревьевъ), тогда при съемкѣ границы *становятся съ мензулою черезъ вершину* многоугольника, оріентируя при этомъ планшетъ въ каждой точкѣ стоянія *по буссоли* и измѣряютъ послѣдовательно длины всѣхъ сторонъ полигона *попарно*, напр., AB и AF, CB и CD, ED и EF и т. д.

Относительно примѣнимости отдѣльныхъ изложенныхъ въ предыдущемъ способовъ съемки контуровъ надо сказать, что способы засѣчекъ и полярный должны по возможности предпочитаться способу обхода, потому что при двухъ первыхъ положеніе каждой точки опредѣляется совершенно независимо отъ предыдущихъ, тогда какъ при способѣ обхода на положеніе послѣдующей точки вліяетъ сумма неизбѣжныхъ погрѣшностей, вкравшихся въ опредѣленіе точекъ предыдущихъ. Кромѣ того, при способѣ засѣчекъ, получается горизонтальное проложеніе контура непосредственно, между тѣмъ способъ обхода требуетъ для этого введенія поправокъ во всѣ измѣренныя наклонныя линіи. Наконецъ, способъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху, какъ наиболѣе точный, простой, удобный и дозволяющій работать даже и въ менѣе благопріятную погоду, слѣдуетъ предпочитать всѣмъ остальнымъ.

Съемка контуровъ въ общей связи на данномъ участкѣ, на которомъ имѣется тріангуляція, производится всѣми предыдущими способами, постепеннымъ переходомъ отъ одного контура къ другому, однако, точки каждаго контура опредѣляются по точкамъ сѣти по возможности, *независимо* отъ точекъ другихъ контуровъ, *во избѣжаніе накопленія*

погрѣшностей [1]), причемъ иногда часть контура снимаютъ однимъ способомъ, а остальную часть его—другими способами, смотря по удобству и условіямъ, представляемымъ мѣстностью. На каждой точкѣ стоянія съемщикъ обязательно повѣряется на всѣ видимыя точки сѣти и вмѣстѣ съ тѣмъ располагаетъ свой ходъ съ инструментомъ такъ, чтобы можно было производить съемку вправо и влѣво и чтобы при меньшемъ числѣ переходовъ съ инструментомъ, то-есть, въ наименьшее время снять болѣе широкую полосу.

§ 232. Съемка мензулою на основаніи тригонометрической сѣти. Иногда на мѣстности, на которой составляется геометрическая сѣть, имѣется уже готовая, составленная тригонометрическая сѣть; тогда базисъ геометрической сѣти не измѣряется, и нанесеніе на планшетъ точекъ геометрической сѣти производится по предварительно наложеннымъ на него (по вычисленнымъ координатамъ) пунктамъ тригонометрической сѣти. Разстояніе между двумя изъ пунктовъ тригонометрической сѣти принимается за базисъ геометрической сѣти, самое же нанесеніе этой послѣдней ничѣмъ не отличается отъ изложеннаго въ предыдущемъ.

§ 233. Нанесеніе горизонталей при мензульной съемкѣ. Нерѣдко одновременно съ горизонтальною съемкою ведется на мензулѣ и назначеніе горизонталей.

Здѣсь всецѣло примѣнима статья о выраженіи неровностей мѣстности на планахъ, изложенная въ отдѣлѣ о тахеометрической съемкѣ, въ § 210, 211, 218 и 219.

Сперва опредѣляются высоты точекъ геометрической сѣти, а потомъ высоты станцій и, наконецъ, пикетовъ.

При опредѣленіи превышенія h одной точки надъ другой, по формулѣ $h = D\,tg\alpha$, гдѣ D—горизонтальное проложеніе разстоянія между точками и α—уголъ наклоненія, не слѣдуетъ забывать, что ошибка W въ h прямо пропорціональна D а потому слѣдуетъ заранѣе установить величину D для того, чтобы W не превосходило даннаго предѣла. Поэтому, если разстояніе D между точками геометрической сѣти значительно, напр., болѣе версты, то между точками сѣти назначаются *станціи* [2]), положеніе которыхъ на мензулѣ опредѣляется или обратною засѣчкою, или по задачѣ Потенота; послѣ чего, взявъ первый пикетъ у воды, сперва опредѣляютъ альтитуду первой станціи, а затѣмъ уже альтитуду перваго сигнала (см. черт. 331, стр. 332).

При незначительныхъ разстояніяхъ между точками геометрической сѣти (отъ 150 до 350 саженей) *одно-*

---

[1]) Для необходимой оріентировки и для засѣчекъ, а также для способа створовъ (промѣровъ), пользуются каждый разъ точками геометрической сѣти, расположенными вблизи контура.

[2]) Т. е. взаимное разстояніе между опорными пунктами (станціями и точками сѣти) уменьшается.

временно съ визированіемъ на точку сѣти (во время засѣчекъ) стремятся опредѣлить кипрегелемъ-высотомѣромъ и уголъ наклоненія вершины того сигнала, или той вѣхи, на которую дѣлается визированіе. Углы наклоненія и высота инструмента [1]) записываются въ особый журналъ на каждой точкѣ стоянія съ мензулой. Обыкновенно рекомендуется измѣрять углы наклоненія точекъ сѣти съ такимъ разсчетомъ, чтобы 1) наблюденія были *прямыми* и *обратными*, т. е. если, напр., измѣрялся уголъ наклоненія съ точки M на вершину сигнала точки O (черт. 386 и 387), то также былъ бы измѣренъ и уголъ наклона изъ точки O на вершину сигнала M, 2) съ каждой точки стоянія съ мензулой достаточно брать углы наклона на первую базисную точку M и на двѣ сосѣднія (съ точкой стоянія съ мензулой), 3) если первая M или вторая O базисныя вѣхи съ точки стоянія съ мензулой не видны, то слѣдуетъ ограничиваться такимъ подборомъ измѣренія угловъ наклоненія, чтобы образовался замкнутый многоугольникъ, для сторонъ котораго измѣрены прямые и обратные углы наклоненія. Напримѣръ: 1) изъ M на O, N, u, S, R, y, V, T, x, P, 2) изъ O на M, x, T, N, 3) изъ Q на O, N и S, 4) изъ N на Q, R, V, y, M, 5) изъ S на Q и M, 6) изъ R на M, N, y, 7) изъ V на M и R, 8) изъ T на M и O, 9) изъ P на M и Q.

При такомъ способѣ измѣренія угловъ можно образовать или отдѣльные треугольники MOT, MRV, OXM, YMR, OQN, MQS, или сомкнутый полигонъ $MOQNRVM$.

Для опредѣленія альтитудъ точекъ геометрической сѣти по формуламъ

$$h = Dtg\alpha + i - V \text{ (см. § 210 и 211).}$$
$$H' = H + h,$$

гдѣ h — превышеніе, i — высота инструмента, V — высота сигнала, H' — альтитуда подошвы сигнала и H — альтитуда точки стоянія съ инструментомъ, D — разстояніе, измѣренное на планшетѣ по масштабу циркулемъ (для базиса — измѣренное въ полѣ), конечно достаточно было бы однихъ прямыхъ наблюденій, но для контроля и для избѣжанія накопленія погрѣшностей дѣлаются избыточныя наблюденія. Такъ, если бы мы по первой указанной формулѣ вычислили превышенія точекъ: 1) O надъ M и обратно, 2) Q надъ O и обратно и т. д., и взяли бы изъ прямыхъ и обратныхъ наблюденій для каждой пары точекъ среднее ариѳметическое [2]), а затѣмъ взяли бы сумму превышеній (среднихъ ариѳметическихъ) въ замкнутомъ полигонѣ $MOQNRVM$, то она должна бы быть ноль (см. § 187). Въ дѣйствитель-

---

[1]) Отъ земли до горизонтальной оси вращенія кипрегеля.

[2]) Каждое обратное наблюденіе не должно разниться отъ прямого на величину γ большую $2W = 2d \cdot t \cdot Sin1' = (1/3438) \cdot 2d \cdot t$, гдѣ d есть разстояніе OM или OQ, а t — точность верньера (см. полный курсъ).

Мензульная (тахеометрическая) съемка съ нанесеніемъ горизонталей.

15 іюля 1900 года. ЖУРНАЛЪ НАБЛЮДЕНІЙ.

Названіе наблюдаемыхъ точекъ.	Отсчетъ а по рейкѣ	Отсчетъ на: Верт. кругѣ.	Отсчетъ на: Горизон. кругѣ [1]).	Мѣсто нуля.	Уголъ x наклон.	Горизонт. разстояніе $d = a\cos^2 x$.	Превышен. $U = d\,tgx$ при $(i = V)$.	Альтитуда: Станціи.	Альтитуда: Пикета.	Примѣчаніе.
	Станція №	0.			Высота инструмента:			i=0,67	саж.	
		Кр.	*Пр.*					10,00 с.		Длина V рейки =
Ст. I.	108	0°6′ 4′	328° 45′ 44′	— 359° 58′	+ 1°7′	108,25	+ 0,25		10,25	= 1,52 саж.
		Кр.	*Лѣв.*							
Ст. I.	108,5	359°50′ 52	328° 45 46							
1.*)	45	358°4 4	76° 32 33	—	+ 1°54′	45	+ 1,5	—	10,25	*) На верш. рейки i — V = — 0,85 саж.
2.	59	0°20 22	174° 13 15	—	+ 0°23′	59	— 0,4	—	9,60	
3.	63	359°10 12	283° 0 2	—	+ 0°47′	63	+ 0,8	—	10,80	

[1]) При мензульной съемкѣ графа (отсчетъ на горизонтальномъ кругѣ) остается *не заполненной*.

ности этого не будетъ; если величина r, на которую при небольшихъ углахъ α сумма будетъ отличаться отъ ноля, не превыситъ величины $2\Sigma W = 2\Sigma D \,.\, x''\,.\, Sin\ 1'' = x''\,.\, Sin\ 1''.\ 2P$ (гдѣ P—периметръ многоугольника), то погрѣшность r разлагается пропорціонально разстоянію [1]).

§ 234. Повѣрка мензульной съемки. При всѣхъ своихъ работахъ съемщикъ долженъ удостовѣряться въ правильномъ ихъ производствѣ. Хорошій результатъ повѣрки подбодряетъ съемщика къ производству болѣе затруднительной части работы, а неблагопріятный—обращаетъ своевременно вниманіе съемщика на существованіе недопускаемыхъ въ работѣ ошибокъ, которыя можно своевременно исправить и заставляетъ его относиться въ будущемъ къ съемкѣ съ большимъ тщаніемъ. Вслѣдствіе этого повѣрка съемки должна производиться не только по окончаніи, но и во время хода ея.

Повѣрка мензульной съемки въ мѣстности открытой состоитъ въ опредѣленіи на планшетѣ двухъ или нѣсколькихъ точекъ посредствомъ засѣчекъ съ данныхъ или, еще лучше, по тремъ даннымъ и въ *измѣреніи на мѣстности линій, соединяющихъ эти точки.* Промѣривъ каждую изъ этихъ линій и замѣтивъ на абрисѣ всѣ пересѣченія контуровъ, сравниваютъ полученныя измѣренія съ соотвѣтственными длинами на планшетѣ. Если полученныя при этомъ разницы не превышаютъ $\frac{1}{200}$ доли соотвѣтственной длины, то съемка считается удовлетворительною. Для болѣе же легкой, но менѣе обстоятельной, повѣрки ставятъ мензулу въ какомъ-нибудь хорошо опредѣленномъ на планшетѣ пунктѣ и визируютъ чрезъ него на дальномѣрную рейку, выставляемую въ различные пункты контуровъ. Уклоненіе прочерченной линіи визированія отъ соотвѣтственнаго пункта контура не должно превышать того же предѣла. Обыкновенно при повѣркѣ употребляютъ одновременно тотъ и другой пріемъ.

Повѣрка мензульной съемки въ мѣстности закрытой, какъ, напр., въ лѣсахъ, садахъ, селеніяхъ и т. п., состоитъ въ постановкѣ мензулы въ данный пунктъ и въ употребленіи способа обхода для опредѣленія имѣющихся на планшетѣ пунктовъ. Допускаемое уклоненіе есть $\frac{1}{100}$ пройденнаго хода.

---

[1]) См. 415 стр. *полнаго курса*, гдѣ указано, что $W = \frac{Dx Sin\ 1''}{cos^2\alpha} + \Delta lg\alpha$. При $\alpha = 0^0 - 3^0$, можно принять $W = Dx''\,.\, Sin\ 1''$, полагая что Δ слишкомъ малая величина, близкая къ нулю, по сравненію съ $D\,.\,x\,.\,Sin\ 1''$. $\frac{1}{cos^2\alpha}$ — ошибкой въ опредѣленіи угловъ, наклоненія.

§ 235. Достоинства и недостатки мензульной съемки. Важное достоинство мензульной съемки состоитъ въ томъ, что планъ снимаемаго участка получается тутъ же, при производствѣ самой работы, не требуя для своего составленія особаго времени; далѣе, достоинствомъ служитъ также и то, что изъ всѣхъ инструментовъ мензула, и въ особенности въ соединеніи съ дальномѣромъ, наиболѣе удобна для съемки въ томъ отношеніи, что не требуетъ отъ съемщика умѣнья производить вычисленіе, которымъ въ большей или меньшей степени сопровождается работа съ угломѣрнымъ инструментомъ.

Недостаткомъ мензулы нужно прежде всего считать: 1) малую точность, что видно изъ того, что предѣльная ошибка [1]) графическаго построенія ею угла мѣстности есть 7 минутъ [2]). Точность изображенія длины линіи на мензулѣ выражается дробью, которая не менѣе $\frac{1}{200}$, т. е. каждыя 200 саженъ на планшетѣ могутъ быть ошибочны на 1 сажень. Эти числовыя точности могутъ, вслѣдствіе накопленія погрѣшностей, еще увеличиться по мѣрѣ удаленія отъ базиса, такъ что на различныхъ мѣстахъ планшета онѣ различны. На точность также вліяетъ измѣняемость гигроскопическаго состоянія бумаги, происходящая отъ большей или меньшей влажности воздуха и посадки бумаги съ теченіемъ времени. Затѣмъ 2) къ недостаткамъ надо отнести то, что при перерисовываніи мензульнаго плана копіи получаются разъ отъ разу менѣе точныя. Это перерисовываніе можетъ быть допущено только при сохраненіи масштаба или при его уменьшеніи, а никакъ не при увеличеніи. Далѣе 3) необходимость употреблять при мензулѣ ея принадлежности, отдѣльныя отъ самаго инструмента, а также 4) большая громоздкость и вѣсъ сравнительно съ угломѣрными инструментами, транспортъ которыхъ гораздо удобнѣе, тоже не говорятъ въ пользу мензулы.

ГЛАВА VIII

Перерисовка плановъ [3]).

§ 236. Общее понятіе. Если для составленія карты была предпринята точная инструментальная, напр., мензульная

---

[1]) Т. е. наивысшая допускаемая ошибка.

[2]) Предѣльная ошибка равна утроенной средней ошибкѣ. Средняя ошибка въ построеніи направленія длиною въ 20 дюймовъ будетъ $tgx = 0{,}01$ дюйм. : 20 д. $= \frac{1}{2000}$ или x'. $Sin\ 1' = \frac{1}{2000}$, откуда $x' = \frac{1}{2000} \times$ $\times 3438$. Для угла ср. ошибка $y = x\sqrt{2}$, а предѣльная $3y = 3 . \sqrt{2} .$ $\frac{1}{2000} \times 3438 = 6{,}85 = 7'$.

[3]) См. Н. Смирновъ, ч. II или А. Бикъ, ч. 1—Курсъ Низшей Геодезіи.

съемка, то карта (или общій планъ) обыкновенно составляется въ болѣе мелкомъ масштабѣ. Для чего сперва на общемъ планѣ въ уменьшенномъ масштабѣ наносятъ точки сѣти, а затѣмъ уже каждый планшетъ перерисовывается въ уменьшенномъ видѣ на свое мѣсто. Хотя масштабъ на картѣ мѣняется, но онъ можетъ быть и сохраненъ, поэтому перерисовка можетъ быть произведена и съ сохраненіемъ оригинальнаго численнаго масштаба (уменьшенія), и съ измѣненіемъ его. При перерисовкѣ съ уменьшеніемъ масштаба работа сводится къ выбрасыванію подробностей и обобщенію контуровъ, т. е. къ сохраненію ихъ общаго вида и удаленію мелкихъ изгибовъ. При перерисовкѣ же съ сохраненіемъ масштаба, очертанія контуровъ не измѣняются.

§ 237. **Перерисовка безъ измѣненія масштаба** или *сводка чертежа* крайне проста; она дѣлается или съ помощью прозрачнаго коленкора (сводка на кальку), или съ помощью оконнаго стекла (которому придаютъ видъ наклоннаго стола—парты и нерѣдко называютъ копировальнымъ пультомъ), или съ помощію копировальной иглы (наколки).

а) *Перерисовка на кальку.* На перерисовываемомъ планѣ распрямляютъ кальку и прикрѣпляютъ ее вмѣстѣ съ нимъ къ столу кнопками; затѣмъ производятъ самую перерисовку, начиная ее съ рамки планшета или границы общей фигуры плана, притомъ прямо тушью и, если возможно, по линейкѣ. Послѣ этого уже приступаютъ къ перерисовкѣ деталей, *переходя постепенно отъ общихъ болѣе крупныхъ контуровъ къ частнымъ*, т. е. *къ мелкимъ*, составляющимъ крупные, дабы въ случаѣ нечаяннаго передвиженія кальки по плану, лучше можно было наложить ее на прежнее мѣсто и исправить происшедшую отъ этого невѣрность въ копированіи. Наконецъ, только по окончаніи перерисовки контуровъ дѣлается ихъ иллюминовка красками и подписываніе тушью. Для лучшей видимости, при употребленіи копіи на калькѣ, подъ нее подкладываютъ бѣлую бумагу.

b) *Перерисовка посредствомъ копировальнаго пульта.* Копировальный пультъ состоитъ изъ толстаго зеркальнаго стекла, вставленнаго въ раму, и поворачивающагося вмѣстѣ съ этою послѣдней около осей 2—3 шарнировъ. Снизу рамы дѣлаются подпорки или ножки, посредствомъ которыхъ можно наклонять стекло по мѣрѣ надобности. При копированіи кладутъ на стекло оригиналъ, а на него бумагу, и производятъ перерисовку въ томъ же порядкѣ, какъ и въ предыдущемъ способѣ. Для большей видимости рисунка оригинала пультъ ставятъ у окна и спускаютъ у окна штору или закрываютъ верхнюю часть оконной рамы ставнями до верхняго края рамы пульта. Копировальнымъ пультомъ

можно пользоваться и вечеромъ, причемъ источникъ свѣта (лампа, свѣча), помѣщается на полу.

c) *Перерисовка посредствомъ копировальной иглы* (наколки) состоитъ въ томъ, что всѣ вершины угловъ и поворотныя точки криволинейныхъ фигуръ контуровъ оригинала, переносятся помощью проколовъ, дѣлаемыхъ тонкою иглою, на бумагу, прикрѣпленную неподвижно *подъ оригиналомъ*. По окончаніи всего перенесенія оригиналъ снимается и наколотыя на копіи точки соединяются прямыми или кривыми линіями въ томъ порядкѣ, какъ онѣ идутъ на оригиналѣ. При этомъ способѣ копированія должно держать наколку возможно перпендикулярнѣе къ бумагѣ. Такимъ путемъ можно получить сразу нѣсколько копій, но однако не болѣе четырехъ, потому что въ противномъ случаѣ легко вкрадутся невѣрности въ длинахъ линій вслѣдствіе неперпендикулярности иглы къ плоскости бумаги. Этотъ способъ перерисовки хуже двухъ предыдущихъ тѣмъ, что черезъ накалываніе портится оригиналъ.

§ 238. Перерисовка съ измѣненіемъ масштаба. Здѣсь различаютъ два случая: измѣненіе линейное и измѣненіе по площади. Въ случаѣ линейнаго измѣненія, всѣ линіи копіи должны быть или болѣе, или менѣе (въ опредѣленное число разъ) соотвѣтственныхъ линій оригинала. Иногда же требуется, чтобы площадь копіи была вдвое, втрое, или вообще n разъ болѣе или менѣе площади оригинала. Въ обоихъ этихъ случаяхъ очевидно можно считать оба масштаба, какъ масштабъ оригинальнаго плана, такъ и масштабъ копіи заранѣе извѣстными, и если одинъ изъ нихъ не данъ прямо, то онъ всегда можетъ быть опредѣленъ изъ условія задачи; такъ, если масштабъ оригинала есть $\frac{1}{M}$ и если данное отношеніе длины линій копіи къ соотвѣтственнымъ линіямъ оригинала будемъ обозначать всегда черезъ $\frac{k}{o}$, то масштабъ $\frac{1}{m}$ копіи опредѣлится изъ пропорціи

$$k : o = \frac{1}{m} : \frac{1}{M},$$

откуда

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{M}\frac{k}{o};$$ напр., при $\frac{1}{M} = \frac{1}{8400}$ и $\frac{k}{o} = \frac{1}{5}$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{8400}\frac{1}{5} = \frac{1}{42000},$$

т. е. копія должна быть изготовлена въ верстовомъ масштабѣ. Очевидно, что случай перерисовки чертежа съ измѣненіемъ площади можетъ быть всегда сведенъ на случай линейнаго измѣненія. Дѣйствительно, площади подобныхъ фигуръ относятся между собою, какъ квадраты ихъ сход-

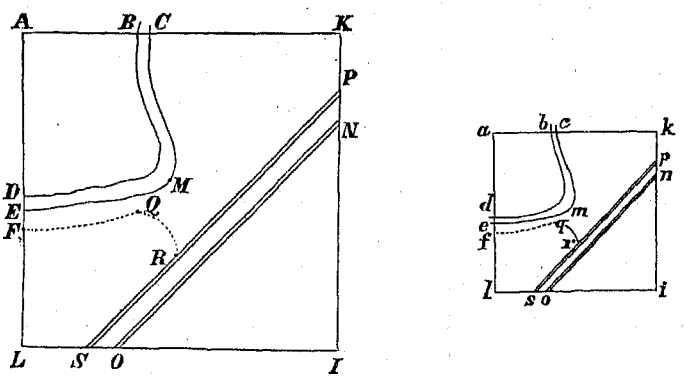
ственныхъ сторонъ, а потому, обозначивъ площади фигуръ копіи и оригинала черезъ p и P, а сходственныя ихъ стороны—черезъ a и A, имѣемъ

$$\frac{p}{P}=\frac{a^2}{A^2}=\left(\frac{k}{o}\right)^2.$$

Откуда $\frac{k}{o}=\sqrt{\frac{p}{P}}$ наприм. если дано $\frac{p}{P}=\frac{1}{5}$ то $\frac{k}{o}=\frac{1}{\sqrt{5}}=\frac{1}{2{,}24}$

Перерисовка съ измѣненіемъ масштаба оригинала производится двумя способами: или геометрически, или механически (особыми приборами, называемыми *пантографами*).

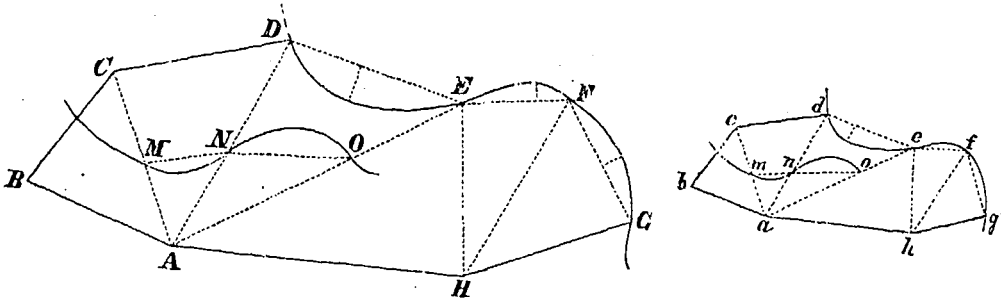
Въ *первомъ случаѣ* перерисовка дѣлается разбивкою оригинала и копіи или на квадраты, или на треугольники, отношеніе сторонъ которыхъ=данному отношенію длинъ линій копіи и оригинала. Длина сторонъ квадратовъ зависитъ отъ размѣровъ контуровъ, которые придется перерисовывать: чѣмъ они мельче, тѣмъ меньше и стороны квадратовъ; вообще же эти стороны должны быть таковы, чтобы чертежнику не трудно было дѣлать перерисовку на глазъ, руководствуясь небольшимъ числомъ точно перенесенныхъ на копію точекъ. Пусть, напр. *akil* (черт. 391) есть



Черт. 391.

квадратъ копіи, *AKIL*—квадратъ оригинала, то перерисовку начинаютъ съ того, что на сторонахъ квадрата копіи откладываютъ разстоянія: *ab*, *ac*... *ad*, *ae*, *af*... *kp*, *kn*... *ls*, *lo*..., представляющія на оригиналѣ разстоянія *AB*, *AC*... *AD*, *AE* *AF*,... *KP*, *KN*... *LS*, *LO*..., уменьшенныя въ заданное число разъ; затѣмъ засѣчками съ вершинъ квадрата или промѣрами по линіямъ контуровъ опредѣляютъ на копіи точки *m*, *q*, *r*,... соотвѣтствующія точкамъ *M*, *Q*, *R*... поворотовъ контуровъ. Наконецъ, точки копіи соединяютъ отъ руки въ той послѣдовательности, въ какой соединены соотвѣтствен-

ныя точки на оригиналѣ. Къ слѣдующему квадрату переходятъ не иначе, какъ окончивъ перенесеніе всѣхъ контуровъ предыдущаго квадрата. Если нельзя портить оригиналъ построеніемъ на немъ сѣти квадратовъ, то накладываютъ на него такую же сѣть, построенную только на калькѣ, которую прикрѣпляютъ къ оригиналу возможно надежнѣе. Когда перерисовкѣ подлежитъ отдѣльный многоугольникъ или длинный, растянутый криволинейный контуръ, то его можно разбивать на треугольники. Положимъ, что надо перерисовать фигуру *ABCDGN* (черт. 392), часть которой между точками *D* и *G* ограничена кривою линіею. Въ этомъ случаѣ на кривой оригинала выбираютъ двѣ точки



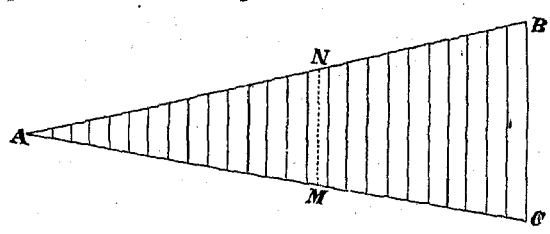
Черт. 392.

E и *F*, соединяютъ точки *D*, *E*, *F* и *G* прямыми линіями и разбиваютъ данную фигуру діагоналями на треугольники. Перерисовка *начинается съ одного изъ среднихъ треугольниковъ*, напримѣръ, *AEH*, *для того, чтобы уменьшить вліяніе накопленія въ одну сторону погрѣшностей построенія*.

Подобнымъ же образомъ наносятся и подробности внутри треугольниковъ оригинала, какъ напримѣръ, линіи *MNO*. *При увеличеніи* даннаго оригинала перерисовка можетъ сопровождаться значительными неточностями, которыя произойдутъ отъ увеличенія неизбѣжныхъ погрѣшностей перенесенія при томъ во столько разъ, во сколько линіи копіи болѣе линій оригинала. Поэтому при увеличеніи плана рекомендуется не перерисовка, а новое составленіе по тѣмъ числовымъ даннымъ, которыя на немъ имѣются (для чего мензульный планшетъ, а слѣдовательно и мензульная съемка, не пригодны).

§ 239. Приспособленія, употребляемыя для перерисовки плановъ въ данномъ линейномъ измѣненіи, при геометрическомъ способѣ. Эти приспособленія—діаграмма или пропорціональный циркуль. а) *Діаграмма* состоитъ изъ треугольника *ABC* (черт. 393), стороны котораго *BC* и *AC* находятся въ отношеніи *k* : *o* (линіи копіи къ линіи оригинала.). Сторона *AC* разбита на

части линіями, параллельными сторонѣ BC и отстоящими другъ отъ друга примѣрно на 0,1 дюйма. Чтобы уменьшить линію оригинала въ данномъ отношеніи $k : o$, берутъ линію оригинала въ циркуль и ставятъ

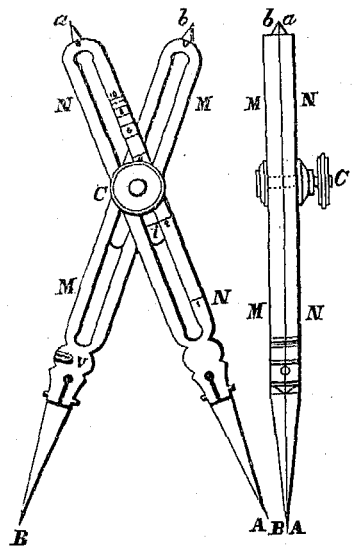


Черт. 393.

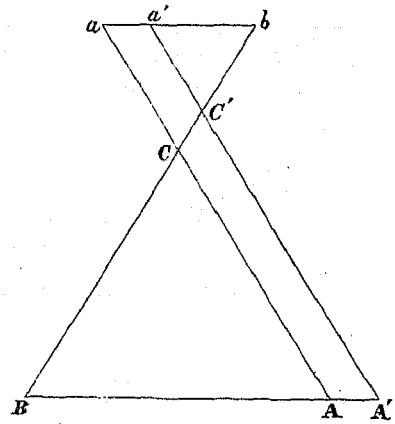
одну изъ его ножекъ въ точку A; тогда другая ножка, положимъ, помѣститься въ точкѣ M, послѣ этого повертываютъ циркуль около M и приближаютъ другую ножку къ M настолько, чтобы она остановилась въ точкѣ N, на линіи MN, параллельной BC. Раствореніе MN ножекъ циркуля очевидно представитъ длину AM, уменьшенную въ данное число разъ, такъ какъ отношеніе

$$\frac{MN}{AM} = \frac{BC}{AC} = \frac{k}{o}.$$

б) *Пропорціональный циркуль* [1]) состоитъ изъ двухъ равныхъ между собою ножекъ, въ видѣ пластинокъ M и N (черт. 394) съ продольными въ нихъ прорѣзами; ножки



Черт. 394.



Черт. 395.

---

1) Пропорціональный циркуль изобрѣтенъ *Ю. Бюрги* (род. въ 1552 г., ум. въ 1632 г.).

вращаются около общей оси C, снабженной навинчивающеюся на нее гайкою и сканчиваются остріями A, B, a и b. Ось C можетъ быть передвигаема вдоль прорѣзовъ, если только предварительно сдвинуть вмѣстѣ ножки и ослабить гайку C оси. Чтобы во время этого передвиженія ножки циркуля не могли скользить одна вдоль другой, на ножкѣ M сдѣланъ небольшой выступъ V, а на ножкѣ N соотвѣтственное углубленіе.

Устройство и употребленіе пропорціональнаго циркуля основано на томъ геометрическомъ началѣ, что если для двухъ пересѣкающихся линій Aa и Bb (черт. 395) имѣемъ $AC=BC$ и $Ca=Cb$, то $CB:Cb=CA:Ca$, а потому треугольники ABC и abC подобны и отношеніе $Ca:CA=ab:AB=k:o$, т. е., если Ca составляетъ какую-нибудь опредѣленную долю отъ CA, напр., если отношеніе $Ca:CA$ равно данному отношенію $k:o$, то ту же долю будетъ составлять линія ab отъ AB, т. е. отношеніе $ab:AB$ тоже будетъ равно отношенію $k:o$. Передвинувъ точку пересѣченія изъ C въ C' такъ, чтобы $C'a'=C'b'$, будемъ имѣть:

$$C'a':C'A'=a'b:A'B$$

и отношеніе $a'b:A'B$ уже не будетъ равно предыдущему отношенію $k:o$, а какому-нибудь другому $k':o'$.

Такъ какъ отношеніе $CA:Ca$ должно быть равно данному отношенію $k:o$, то нужно знать то мѣсто на ножкахъ циркуля, на которое слѣдуетъ установить его ось C, чтобы раствореніе AB относилось къ растворенію ab, какъ $k:o$. Это достигается тѣмъ, что на пластинкѣ N съ лицевой ея стороны дѣлаютъ штрихи, подписанные цифрами отъ 1 до 10 (а иногда и до 12), и вмѣстѣ съ осью C передвигается указатель i, который можетъ быть приведенъ въ совпаденіе съ надлежащимъ штрихомъ (напр., на штрихъ 3, если отношеніе $ab:AB$ должно быть равно 1 : 3).

Назначеніе мѣстъ штриховъ, служащихъ для установки циркуля при уменьшеніи линій, дѣлается на основаніи слѣдующаго: обозначимъ длину всей ножки Aa, которую можно всегда измѣрить непосредственно, черезъ d, а части ея Ca и CA, соотвѣтствующія заданному отношенію $k:o$, черезъ α и β, тогда имѣемъ: $\alpha=d-\beta$ и

$$\frac{\alpha}{\beta}=\text{ или }\frac{d-\beta}{\beta}=\frac{k}{o};$$

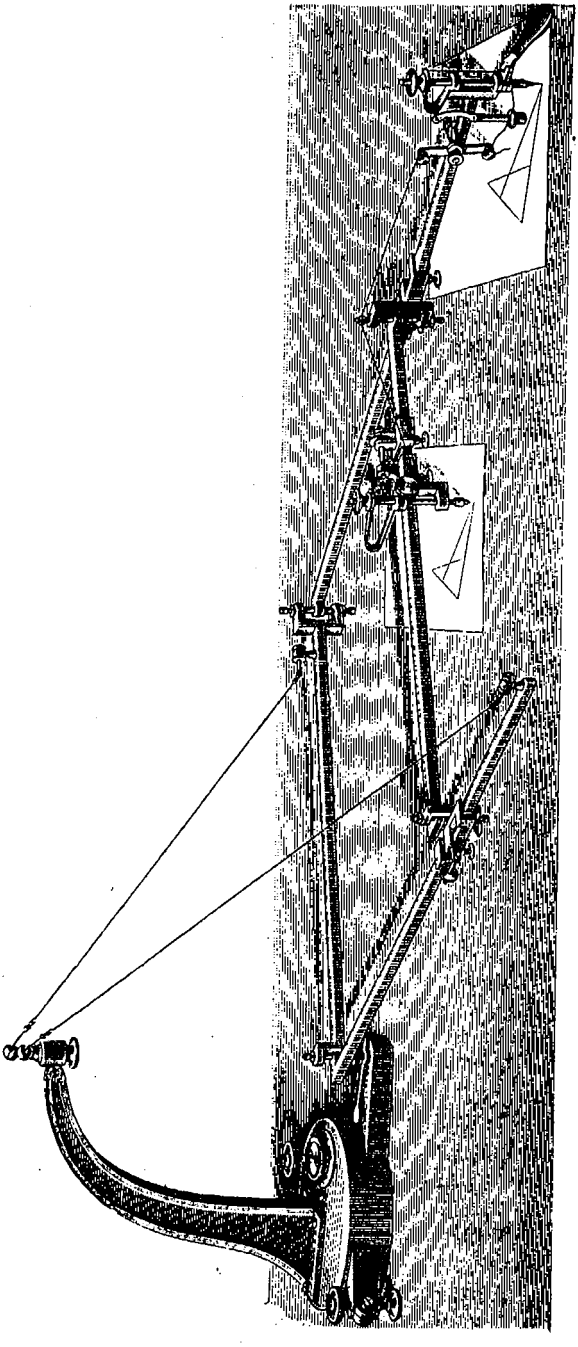
откуда

$$\beta=d\frac{o}{o+k}=d\frac{1}{1+\frac{k}{o}}.$$

Если изъ β вычтемъ разстояніе указателя i отъ центра C, которое тоже можно измѣрить непосредственно, то получимъ мѣсто для штриха, соотвѣтствующаго данному уменьшенію.

Иногда, кромѣ только что указанныхъ штриховъ по одну сторону прорѣза и подписанныхъ словомъ „*Линія*“, по другую сторону того же прорѣза имѣются еще штрихи, служащіе для вписыванія въ окружность даннаго радіуса правильныхъ многоугольниковъ съ 5, 7..... сторонами и подписанные словомъ „*Кругъ*“. Употребленіе этихъ послѣднихъ штриховъ таково: положимъ, что въ окружность даннаго радіуса надо вписать правильный семиугольникъ; ставятъ указатель *i* на штрихъ 7 и дѣлаютъ раствореніе *AB* равнымъ данному радіусу, тогда раствореніе *ab* выразитъ длину стороны семиугольника.

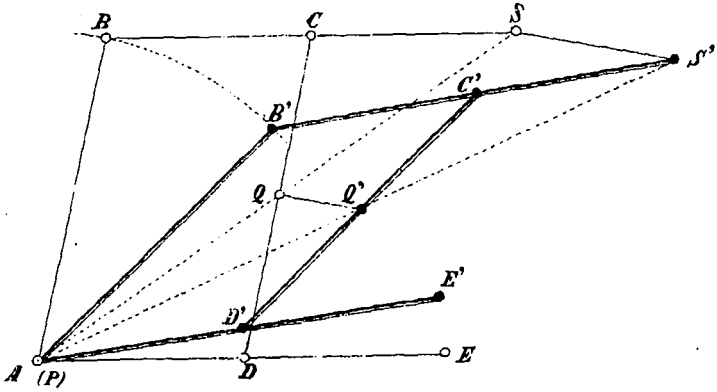
§ 240. Механическій пріемъ перерисовки плановъ и картъ. Пантографъ. Болѣе быстрое *механическое* перечерчиваніе фигуръ какъ прямолинейныхъ, такъ и криволинейныхъ, въ измѣненномъ масштабѣ достигается крайне простымъ по устройству приборомъ—*пантографомъ* (всечертящимъ). Онъ изобрѣтенъ іезуитомъ Христофоромъ Шейнеромъ въ 1603 году. Въ простѣйшемъ видѣ пантографъ представляетъ параллелограммъ изъ четырехъ линеекъ (деревянныхъ или металлическихъ) съ шарнирами въ вершинахъ параллелограмма. Эти 4 вершины *дозволяютъ линейкамъ параллелограмма мѣнять взаимное положеніе, оставаясь неизмѣнными по своей длинѣ*. Въ прежнее время пантографъ помѣщался на роликахъ (на колёсикахъ), катавшихся по плану; въ настоящее время пантографы подвѣшиваютъ такъ, чтобы по оригиналу двигалась только одна точка (обводный шпиль), а по копіи—другая точка (карандашъ) пантографа (черт. 396). Достигается это тѣмъ, что всѣ 4 рычага линейки подвѣшиваются при помощи двухъ струнъ-проволокъ къ вершинѣ изогнутаго стержня тяжелой круглой подставки (*къ клюву журавля*), снабженной двумя подъемными винтами и круглымъ уровнемъ для правильной установки пантографа. Внизу одной изъ четырехъ вершинъ параллелограмма (на чертежѣ лѣвой) ввинченъ коническій стержень, оканчивающійся внизу шарикомъ, вкладывающимся въ углубленіе (мѣсто полюса) горизонтальнаго выступа тяжести; стержень застегивается сверху выступа крючкомъ и служитъ вертикальною осью вращенія пантографа, шарикъ же *остается во все время употребленія на одномъ и томъ же мѣстѣ*, т. е. является неподвижной точкой, почему и называется *полюсомъ*. Собственно осью вращенія служитъ отвѣсная линія, соединяющая клювъ журавля съ центромъ шарика. Во время употребленія пантографа верхнія поверхности линеекъ (рычаговъ) параллелограмма должны быть горизонтальны. Установка рычаговъ въ горизонтальное положеніе достигается помощью маленькаго цилиндрическаго уровня, накладываемаго на рычаги, измѣненіемъ длинъ проволокъ (на которыхъ виситъ система линеекъ), оканчивающихся у поверхности рычаговъ особыми вращающимися горизонтальными



Черт. 396.

крючечками-стерженьками съ винтовыми нарѣзами и съ закрѣпительными при нихъ гаечками. Обводный шпиль, съ грушевидною ручкою для передвиженія по оригиналу шпиля, помѣщается на концѣ одной изъ двухъ болѣе длинныхъ линеекъ (на чертежѣ справа). На одной изъ поперечныхъ линеекъ помѣщается трубочка съ карандашемъ, подъ который подкладывается бумага для копіи (на чертежѣ карандашъ находится *посрединѣ* между полюсомъ и обводнымъ шпилемъ). Для того, чтобы карандашъ не проводилъ излишнихъ линій по копіи, онъ двигается въ трубочкѣ и отъ низа карандаша къ грушевидной ручкѣ обводнаго шпиля, черезъ горизонтальный роликъ поверхъ линеекъ, идетъ тонкая нить, натягивая которую, можно карандашъ отнимать отъ бумаги. Остріе обводнаго шпиля не касается оригинала, а подпирается болѣе длинною, чѣмъ самъ шпиль, гладкою *тупою подставочкою* (на чертежѣ лѣвѣе шпиля), вращающеюся около него, какъ около вертикальной оси, по кругу небольшого радіуса. *Шпиль, карандашъ и полюсъ всегда должны лежать въ одной отвѣсной плоскости.*

§ **241. Теорія пантографа.** Пусть $ABCSQDA(P)$ (черт. 397) есть горизонтальная проекція первоначальнаго положенія 4 линеекъ пантографа, $A(P)$—полюсъ, Q—карандашъ и



Черт. 397.

S—обводный шпиль; положимъ, что обводный шпиль S перемѣстился по оригиналу изъ точки S въ точку S'. Чтобы начертить расположеніе линеекъ пантографа при новомъ положеніи S' обводнаго шпиля [1]), замѣтимъ, 1) что точка $A(P)$, какъ полюсъ, *не* мѣняетъ своего положенія и 2) длины AB, BC, CD, BS, CS, CQ, и QD не мѣняются, а потому для полученія мѣста вершины B' достаточно изъ точки A

[1]) На чертежѣ первоначальное положеніе линеекъ пантографа отмѣчено болѣе тонкими линіями, а конечное—болѣе жирными (двойными) линіями.

провести окружность радіуса AB, а изъ точки S' окружность радіуса SB. Пересѣченіе окружностей дастъ точку B'—новое положеніе шарнира B. Отложивъ по линіи $B'S'$ длину BC, получимъ положеніе C' для шарнира C. Наконецъ, проводя изъ A и C' параллели къ прямымъ AB' и $B'C'$, получимъ положеніе вершины D въ точкѣ D'. Для опредѣленія новаго положенія Q' карандаша Q на линіи $C'D'$, отложимъ отъ C' длину $C'Q' = CQ$. Вслѣдствіе параллельности линеекъ AB и DC, треугольники ABS и QCS подобны, а потому

$$\frac{AB}{QC} = \frac{BC}{CS} = \frac{AS}{QS} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (I)$$

Замѣняя въ этой пропорціи AB черезъ AB'
BS „ $B'S'$
QC „ $Q'C'$
CS „ $C'S'$,

получимъ

$$\frac{AB'}{Q'C'} = \frac{B'S'}{C'S'} = \frac{AS}{QS} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (II).$$

По условію линія AB' параллельна $D'C'$, т. е. уголъ $AB'S' =$ углу $D'C'S'$. Вслѣдствіе этого можно сказать, что два треугольника ABS' и $Q'C'S'$ имѣютъ по равному углу B' и C', заключенному между пропорціональными сторонами, а потому они подобны, и третьи стороны AS' и $Q'S'$, составляя одну прямую линію $AQ'S'$, находятся въ томъ же отношеніи, что и AB' съ $Q'C'$ или $B'S'$ съ $C'S'$, т. е. $AS' : Q'S' = B'S' : C'S'$. По равенствамъ (II) отношеніе этихъ послѣднихъ сторонъ равно отношенію $AS : QS$ и, слѣдовательно, $AS' : Q'S'$ также равно тому же отношенію $AS : QS$, т. е. существуетъ пропорція:

$$\frac{AS}{QS} = \frac{AS'}{Q'S'}.$$

Такимъ образомъ *условіе, что шпиль, карандашъ и полюсъ всегда должны лежать* въ одной отвѣсной плоскости или въ проекціи на бумагѣ *на одной прямой*, выполняется и послѣ передвиженія шпиля S. Далѣе по чертежу видно, что треугольники ASS' и AQQ' имѣютъ по общему углу A, заключенному между пропорціональными сторонами, а потому они подобны. Изъ подобія слѣдуетъ, что SS' параллельно QQ' и $SS' : QQ' = AS : AQ$. Прямая SS' есть линія оригинала, QQ'—линія копіи, и мы теперь можемъ сказать, что карандашъ чертитъ линіи, параллельныя линіямъ оригинала, иначе говоря, даетъ фигуры, подобныя даннымъ на оригиналѣ. Обозначимъ постоянныя длины BS и AB черезъ d и δ, а перемѣнныя CS и CQ, зависящія отъ мѣстъ S шпиля и Q карандаша, черезъ x и y. Зная отношеніе $\frac{o}{k}$ линіи оригинала къ линіи копіи, напр., полагая его $= 2{,}3$, ...

или, что то же самое, $\frac{k}{o} = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$..., можно написать: $\frac{AQ}{AS} = \frac{k}{o}$ или

$$\frac{AS - QA}{AS} = \frac{QS}{AS} = \frac{o-k}{o} \quad \ldots\ldots \text{(III)},$$

изъ равенствъ же (I) слѣдуетъ $\frac{\delta}{y} = \frac{d}{x} = \frac{AS}{QS}$. . . . (IV).

Изъ равенствъ (III) и (IV) находимъ $y = \delta \frac{o-k}{o}$ и

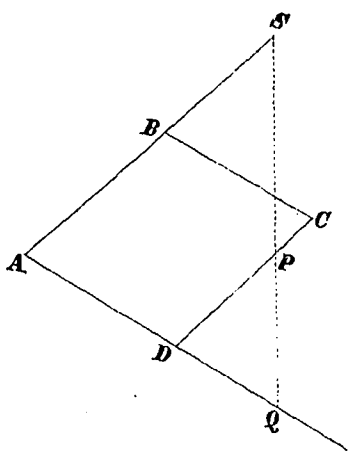
$$x = d \cdot \frac{o-k}{o} \quad \ldots\ldots \begin{matrix} (x) \\ (y) \end{matrix}$$

Пусть, напримѣръ, дано $\frac{k}{o} = \frac{2}{3}$, находимъ:

$$y = \delta \cdot \frac{3-2}{3} = \frac{1}{3}\,\delta \text{ и } x = \frac{1}{3}d.$$

Для удобства можно брать $d = \delta$, тогда и SC и CQ, т. е. x и y также будутъ равны между собою.

На линейкахъ CD, AE и BS сдѣланы дѣленія или круглыя отверстія, подписываемыя дробями $^1/_2$, $^1/_3$, $^2/_3$ и т. п., указывающими отношенія $\frac{k}{o}$ (копіи къ оригиналу). Передъ употребленіемъ пантографа шарниры C, D и Q устанавливаютъ въ отверстія съ одинаковыми надписями. Если полюсъ P, карандашъ Q и шпиль S помѣстить согласно чертежа 398, то, мѣняя мѣста карандаша и шпиля, возможно копіи получать въ увеличенномъ видѣ.



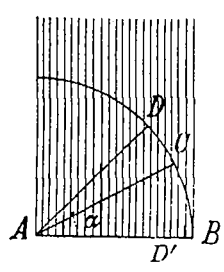
Черт. 398.

Употребленіе пантографа. Для самой перерисовки кладутъ оригиналъ подъ обводный шпиль и, прикрѣпивъ его къ столу (сначала временно), чертятъ на бумагѣ копіи рамку, стороны которой были бы въ данномъ отношеніи со сторонами рамки оригинала. Затѣмъ передвигаютъ бумагу копіи (а иногда и оригиналъ) до тѣхъ поръ, пока, при совпаденіи обводнаго шпиля съ тремя вершинами рамки оригинала, карандашъ будетъ помѣщаться на соотвѣтственныхъ вершинахъ рамки копіи. По совершеніи этого, оригиналъ и копія окончательно прикрѣпляются къ столу кнопками настолько крѣпко, чтобы

они не могли измѣнять положенія во время перерисовки. Въ этомъ убѣждаются, отъ времени до времени помѣщая обводный шпиль опять въ три вершины рамки оригинала. Тяжесть журавля бываетъ иногда недостаточна, тогда основаніе журавля прихватывается особыми скобками (струбцинками) къ столу. Если оригиналъ настолько великъ, что не можетъ быть перерисованъ заразъ, то копируютъ его по частямъ.

Замѣчаніе. Въ послѣднее время, благодаря тому, что при помощи объектива фотографической камеры легко достигается уменьшеніе размѣровъ оригинала, для перерисовки картъ получила большое примѣненіе фотографія [1]); при этомъ съ оригинала въ масштабѣ 250 саж. въ дюймѣ сперва дѣлаютъ снимокъ съ линейнымъ уменьшеніемъ въ 3 раза, т. е. $1^1/_2$ версты въ дюймѣ, а затѣмъ съ копіи еще въ 2 раза, т. е. уже 3 версты въ дюймѣ.

§ 242. О выраженіи неровностей мѣстности штрихами на картахъ и планахъ. Если на планѣ имѣются уже горизонтали, то, для большей наглядности рельефа мѣстности, саксонскій майоръ Леманъ предложилъ вычерчивать промежутки между горизонталями штрихами [2]). Главное *основаніе способа Лемана состоитъ въ слѣдующемъ:* Леманъ предполагаетъ, что изображаемая мѣстность освѣщена *отвѣсными лучами*; вслѣдствіе чего легко усмотрѣть изъ прилагаемаго чертежа 399, что чѣмъ больше уголъ α наклоненія линіи AC мѣстности, тѣмъ слабѣе она освѣщена, т. е. тѣмъ меньшее количество свѣтовыхъ лучей падаетъ на нее [3]), а потому Леманъ требуетъ, чтобы *толщина штриховъ или густота тѣни выражала крутизну ската, и направленіе штриховъ—направленіе ската.* Мѣстности, имѣющія углы наклоненія въ 45° и болѣе, какъ недоступныя для войскъ, Леманъ предложилъ сплошь покрыть тушью. Для мѣстностей менѣе крутыхъ, для того, чтобы толщина штриховъ соотвѣтствовала углу наклоненія, Леманъ ввелъ условіе, что *толщина штриховъ должна относиться къ промежутку между штрихами, какъ уголъ* наклоненія линіи мѣстности къ дополненію его до 45°.



Черт. 399.

Кромѣ того, всѣ углы наклоненія до 45° Леманъ раздѣлилъ на 8 разрядовъ, по 5° въ каждомъ. На основаніи сказаннаго, будемъ имѣть:

---

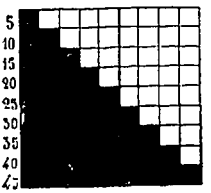
[1]) См. *Витковскій* „Практическая Геодезія", глава XVII. Изданіе картъ.

[2]) Этотъ способъ заполненія горизонталей штрихами иногда называютъ *штраффировкою* или еще—*ситуаціоннымъ черченіемъ.*

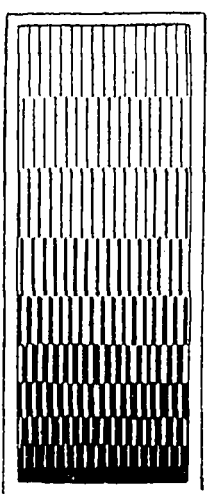
[3]) Количество это характеризуется проекціею AD' линіи AC на AB, т. е. $AD' = AC \cdot Cos \sphericalangle AB = Cos\ \alpha$, если $AB = AC = AD = 1$.

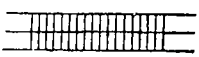
для 5°, толщ. штрих. относ. къ пром. между ними, какъ 5 : 40 = 1 : 8
„ 10°, „ „ „ „ „ „ „ „ 10 : 35 = 2 : 7
„ 15°, „ „ „ „ „ „ „ „ 15 : 30 = 3 : 6
„ 20°, „ „ „ „ „ „ „ „ 20 : 25 = 4 : 5
„ 25°, „ „ „ „ „ „ „ „ 25 : 20 = 5 : 4
„ 30°, „ „ „ „ „ „ „ „ 30 : 15 = 6 : 3
„ 35°, „ „ „ „ „ „ „ „ 35 : 10 = 7 : 2
„ 40°, „ „ „ „ „ „ „ „ 40 : 5 = 8 : 1
„ 45°, „ „ „ „ „ „ „ „ $\frac{45}{0} = \infty$.

Изъ этой таблицы видно, что если на бумагѣ представимъ себѣ мѣсто шириною въ девять какихъ нибудь единицъ, то, для покатостей 5°, одна единица должна быть покрыта тушью, а 8 единицъ—непокрытыми (черт. 400); для покатости въ 20° на томъ же мѣстѣ бумаги 4 единицы должны быть покрыты тушью, а 5 единицъ остаются непокрытыми и т. д., или иначе, для покатостей 5°, промежутокъ между двумя штрихами = 8 пятиградуснымъ штрихамъ, а толщина штриха одной единицѣ. На этомъ началѣ и построена шкала штриховъ Лемана. Она изображена на чертежѣ 401. *Чтобы направленіе штриховъ выражало направленіе скатовъ, для этого штрихъ долженъ ставиться перпендикулярно къ горизонталямъ.* Вслѣдствіе этого, если покатость представляетъ наклонную плоскость, то горизонталями она изобразится въ видѣ прямыхъ параллельныхъ линій и штрихами въ видѣ прямыхъ, перпендикулярныхъ къ горизонталямъ (черт. 402). Коническая вогнутая поверхность изображается чертежемъ 403. Если покатость имѣетъ форму выпуклую, какъ, напримѣръ, въ горныхъ хребтахъ, или вогнутую, какъ, напримѣръ, въ лощинахъ, то штрихами эти формы неровностей земной поверхности представляются въ видѣ кривыхъ линій: для хребтовъ — расходящихся отъ верхнихъ своихъ концовъ къ нижнимъ (черт. 404), а для лощинъ—сходящихся къ нижнимъ горизонталямъ (черт. 405 и 405 bis). Сѣдловина изображена штрихами на чертежѣ 406. При черченіи картъ штрихами

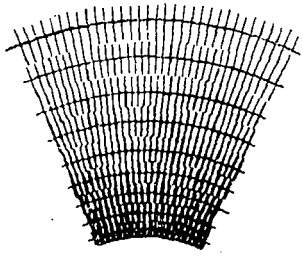


Черт. 400.

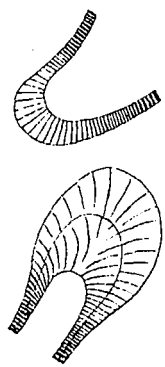

Черт. 401.


Черт. 402.

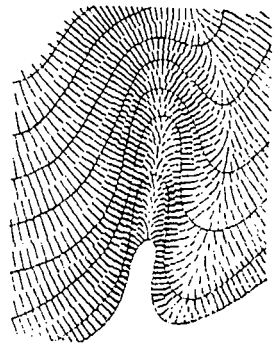
принято, при масштабѣ 50 саж. въ дюймѣ, помѣщать на



Черт. 403.

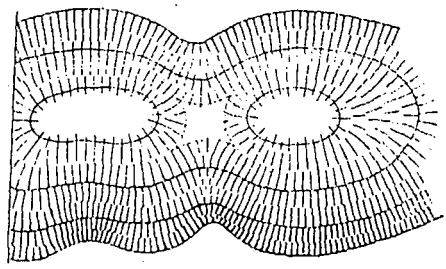


Черт. 404—405.



Черт. 405 bis.

одномъ дюймѣ 15 штриховъ пятиградусныхъ, при масштабѣ 100 саж.—20 штриховъ, при масштабѣ 150 саж.—30 штриховъ, при масштабѣ 250 саж.—35 штриховъ и при масштабѣ 500 саж.—40 штриховъ.



Черт. 406.

Шкала штриховъ Военно-топографическаго Отдѣла Главнаго Штаба. Упрекъ, который можно сдѣлать шкалѣ Лемана, состоитъ въ томъ, что въ ней слишкомъ много подраздѣленій для покатостей крутыхъ и мало для покатостей отлогихъ. Дѣйствительно, для покатостей до 10° только два отдѣла, между тѣмъ, въ Россіи чаще встрѣчаются покатости отлогія, до 10°. Вслѣдствіе чего шкала Лемана болѣе пригодна для странъ гористыхъ, какъ, напр., для Саксоніи, называемой нѣмецкой Швейцаріею. Глазъ человѣка иначе различаетъ покатости отлогія, чѣмъ крутыя и недоступныя. Отлогія покатости чаще встрѣчаются и имѣютъ большее вліяніе на передвиженіе отдѣльныхъ лицъ, какъ пѣшкомъ, такъ и въ экипажѣ. Недостатокъ шкалы Лемана побудилъ сперва *Болотова*, а затѣмъ Военно-топографическій отдѣлъ Главнаго Штаба замѣнить шкалу Лемана такою новою шкалою, гдѣ было бы больше подраздѣленій для отлогихъ покатостей. Въ основаніе шкалы штриховъ Военно-топографическимъ отдѣломъ принято слѣдующее положеніе: *трудность восхожденія на какую-нибудь покатость пропорціональна tg угла наклоненія этой покатости.* Такъ, если трудность вос-

хожденія на одну покатость обозначимъ черезъ K, а трудность восхожденія на другую черезъ K', то углы наклоненія должны быть опредѣлены такъ, чтобы они удовлетворяли пропорціи:

$$K' : K = tg\alpha' : tg\alpha.$$

Наименьшая покатость, различаемая въ шкалѣ Военно-топографическаго отдѣла, есть 1^0; но $tg\ 1^0 = \frac{1}{57}$, наибольшій же уголъ наклоненія этой шкалы равенъ 45^0, а $tg 45^0 = 1$. Между этими предѣлами вставляются еще 8 разрядовъ, такъ что *всѣхъ разрядовъ* въ шкалѣ Военно-топографическаго отдѣла Главнаго Штаба—*десять*. Десять разрядовъ этой шкалы должны быть таковы, чтобы tg-ы ихъ составили слѣдующую геометрическую прогрессію: $\div\div tg\ 1^0 : a : b : c : d : e : f : g : h : tg\ 45^0$. Опредѣлимъ теперь 8 разрядовъ шкалы, заключающихся между 1^0 и 45^0, другими словами, опредѣлимъ знаменатель прогрессіи, для чего обратимся къ общей формулѣ послѣдняго члена геометрической прогрессіи. Если α—первый членъ прогрессіи, π—послѣдній, q—знаменатель, n—число членовъ, то имѣемъ:

$$\pi = \alpha q^{n-1}$$

откуда:

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{\pi}{\alpha}};$$

дѣлая здѣсь $n = 10$, $\pi = tg\ 45^0$, $\alpha = tg\ 1^0$, и вычисляя q, получимъ:

$$q = 1{,}568.$$

Зная теперь знаменатель q, опредѣлимъ всѣ промежуточные члены прогрессіи:

$$\frac{1}{57} : a : b : c : d : e : f : g : h : 1,$$

а по нимъ опредѣлимъ и соотвѣтствующіе имъ углы наклоненія. Вотъ значенія величинъ этихъ угловъ:

Углы накл.: 1^0, $1^1/_2{}^0$, $2^1/_2{}^0$, 4^0, 6^0, 10^0, 15^0, 22^0, 33^0, 45^0.

Въ системѣ Болотова углы были даны произвольно: но они очень близко подходятъ къ системѣ Главнаго Штаба; вотъ эти углы: 1^0, 2^0, 4^0, 7^0, 11^0, 16^0, 23^0, 32^0, 45^0. При сравненіи ряда Болотова съ рядомъ Лемана, видимъ, 1) что онъ имѣетъ тоже 9 разрядовъ и то же отношеніе между толщиною штриховъ и промежутковъ между ними, а 2), что для покатости, чаще встрѣчаемой въ Россіи, и именно для покатости до 10^0, въ шкалѣ Лемана 2 разряда, а въ шкалѣ Болотова—5, въ шкалѣ же Военно-топографическаго отдѣла ихъ 6.

Относительно самаго черченія штриховъ по шкалѣ *В. Т. О.* принимается слѣдующее: 1) штрихъ ставится перпендикулярно къ горизонталямъ; 2) всѣ покатости до 6-й включительно вычерчиваются тонкими штрихами, съ посте-

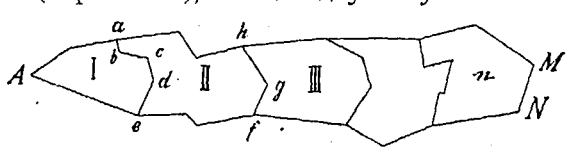
пенно уменьшающимся разстояніемъ между ними и при томъ такъ, чтобы на каждые 5 штриховъ высшаго разряда приходилось 4—низшаго разряда; 3) при покатости въ 10^0 штрихи утолщаются и оставляется менѣе разстоянія между штрихами, чѣмъ въ предыдущей; 4) при покатостяхъ въ 15^0 толщина штриха равна промежутку между штрихами; 5) при покатостяхъ въ 22^0 толщина штриховъ болѣе ширины промежутковъ; 6) при покатостяхъ въ 33^0 толщина штриховъ должна быть такова, чтобы на каждые 5 штриховъ 22^0-й покатости приходилось 4 штриха 33^0-й покатости; 7) покатости выше 45^0, какъ недоступныя ни для одного рода оружія, покрываются сплошь тушью.

Изъ всего этого видно: 1) что шкала штриховъ Военно-топографическаго отдѣла, какъ имѣющая больше подраздѣленій для покатостей отлогихъ, болѣе удобна для Россіи, 2) по покатости, вычерченной этими штрихами, можно опредѣлить уголъ наклоненія болѣе точно, чѣмъ это возможно при шкалѣ Лемана. Къ недостаткамъ шкалы Болотова и В. Т. отдѣла надо отнести то, что онѣ даютъ слишкомъ большія тѣни для малыхъ покатостей.

ГЛАВА IX.

Общее понятіе о тригонометрической сѣти.

§ 243. Значеніе тріангуляціи для съемокъ. Если на мѣстности приходится послѣдовательно снимать одинъ участокъ за другимъ, а затѣмъ накладывать ихъ на бумагу для полученія *общаго плана снимаемой мѣстности*, то при построеніи плана нельзя допустить пріема прикладыванія фигуръ участковъ одной къ другой въ томъ порядкѣ, какъ онѣ снимались и какъ онѣ располагаются на мѣстности, такъ какъ такой способъ съемки и составленія плана приведетъ насъ къ постепенному *накопленію* неизбѣжныхъ погрѣшностей, получающихся какъ при измѣреніи, такъ и при построеніи на бумагѣ линій и угловъ. Дѣйствительно на общемъ планѣ линія *abcde* (черт. 406а), общая двумъ участкамъ I и II-му



Черт. 406а.

заняла бы не истинное свое положеніе, а то, которое получилось бы для нея послѣ увязки вычисленій и накладки фигуры I. Прикладывая къ ошибочному положенію линіи *abcde* фигуру второго полигона, мы получаемъ положеніе линіи *hgf*, содержащее не только ошибки измѣренія II по-

лигона и ошибки его построенія на бумагѣ, но еще и ошибки I полигона. Другими словами, линія *hgf* отодвинется значительно далѣе отъ своего истиннаго положенія, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда II-й полигонъ обходится и строится на бумагѣ независимо отъ I-го. Переходя послѣдовательно отъ второго полигона къ III, отъ III къ IV и т. д., все далѣе и далѣе отъ начальной точки *A*, мы съ каждымъ полигономъ все болѣе и болѣе уклоняемся отъ истиннаго положенія и, наконецъ, когда достигнемъ стороны *MN* послѣдняго *n*-аго полигона, то должны конечно признать, что разстояніе *AM* и азимутъ его (*AM*) будутъ сильно отличаться отъ истинной длины и истиннаго положенія линіи *AM* относительно странъ свѣта.

Между тѣмъ, намъ могли бы предложить задачу, въ которой вопросъ о длинѣ и азимутѣ линіи имѣлъ бы первостепенное значеніе, какъ, напримѣръ,—проложить просѣкъ или туннель между двумя удаленными точками *A* и M^0, ведя работу съ обоихъ концовъ линіи.

Изъ сказаннаго можно заключить, что способъ съемки постепеннымъ переходомъ *отъ частнаго къ общему* крайне несовершененъ [1]), и отъ него при работахъ на большомъ пространствѣ слѣдуетъ отказаться. Поэтому при съемкахъ большихъ районовъ, какъ общее признаютъ слѣдующее правило: *„работать постепеннымъ переходомъ* **отъ общаго къ частному**". Для достиженія этого необходимо на снимаемомъ пространствѣ сперва опредѣлить *систему основныхъ опорныхъ* точекъ съемки, *равномѣрно размѣщенныхъ по всей снимаемой мѣстности на возможно большемъ разстояніи другъ отъ друга;* а затѣмъ производить детальную съемку между опорными точками. Намѣчая опорныя точки, слѣдуетъ, однако, соблюдать условіе, чтобы изъ каждой точки можно было видѣть не менѣе двухъ, ей предшествующихъ, и хотя одну, ей послѣдующую. При такомъ условіи число опредѣляемыхъ основныхъ точекъ сведется къ *тіпітит*'у, а слѣдовательно число всѣхъ измѣреній и связанныхъ съ ними неизбѣжныхъ случайныхъ ошибокъ (погрѣшностей) будетъ наименьшимъ.

Опорные пункты съемки стремятся съ 1615 года (со временъ голландскаго ученаго геометра Виллеброрда Снелліуса) дѣлать вершинами треугольниковъ *воображаемой сѣти,* покрывающей все снимаемое пространство. Такой способъ составленія *сѣти треугольниковъ* для основныхъ точекъ, въ цѣляхъ будущей съемки подробностей на мѣстности, принято называть *тріангуляціей. Сѣть называютъ тригонометрической* въ томъ случаѣ, если взаимное положеніе основныхъ точекъ опредѣляется: 1) длиною одной,

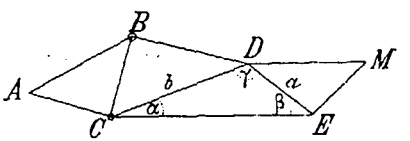
[1]) См. статью о мензульной съемкѣ,—составленіе геометрической сѣти.

измѣренной на мѣстности стороны какого-либо треугольника, 2) измѣреніемъ градусной величины *всѣхъ* угловъ отдѣльныхъ треугольниковъ, входящихъ въ сѣть и 3) *вычисленіемъ* по формуламъ тригонометріи длинъ сторонъ треугольниковъ и ихъ азимутовъ, м также и координатъ ихъ вершинъ.

Тригонометрическая сѣть составляется не только для болѣе точной съемки подробностей, но обыкновенно и въ тѣхъ случаяхъ, когда идетъ рѣчь о длинѣ дуги меридіана или параллели земной поверхности, съ цѣлью опредѣлить общій видъ земли.

Мы будемъ предполагать, что наша *тригонометрическая сѣть исключительно составляется для избѣжанія накопленія погрѣшностей при детальной съемкѣ мѣстности.* Въ тѣхъ случаяхъ, когда основные пункты не могутъ быть сдѣланы вершинами треугольниковъ, ихъ дѣлаютъ вершинами многоугольниковъ *(полигоновъ)*, и тогда сѣть основныхъ точекъ носитъ названіе *полигонометрической сѣти.*

Итакъ, если отъ точки A (черт. 407) мы желаемъ перейти къ достаточно удаленной (на нѣсколько верстъ) отъ нея точкѣ M, то стараемся на мѣстности выбрать рядъ промежуточныхъ между ними точекъ B, C, D, E,... такъ, чтобы образовалась сѣть треугольниковъ ABC, BCD, CDE,... Число точекъ должно быть наименьшее, длины сторонъ должны быть наибольшими.



Черт. 407.

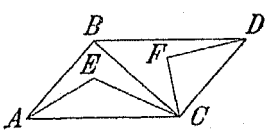
Поэтому на практикѣ, чтобы *ускорить работу* и удовлетворить требованіямъ наибольшей площади и равномѣрности распредѣленія ошибокъ, наивыгодными треугольниками признаются *равносторонніе.*

§ 244. Размѣры треугольниковъ сѣти, дѣленіе треугольниковъ (точекъ) сѣти на разряды (классы) и перечень работъ на тріангуляціи. Измѣреніе угловъ треугольниковъ сѣти требуетъ, понятно, хорошей взаимной видимости вершинъ треугольниковъ (точекъ сѣти). Съ увеличеніемъ же длины сторонъ треугольниковъ, оказывается увеличивается вредное вліяніе боковой рефракціи на измѣреніе горизонтальныхъ угловъ, заключающееся въ томъ, что линіи визированія уклоняются отъ истиннаго направленія въ *горизонтальной плоскости*, претерпѣвая преломленіе въ слояхъ воздуха, окружающихъ вершины треугольниковъ (сигналы). Принимая во вниманіе не поддающееся точному опредѣленію вліяніе боковой рефракціи на измѣреніе горизонтальныхъ угловъ, обыкновенно и *не* стараются доводить длины сторонъ треугольниковъ до возможно большихъ размѣровъ. Въ среднемъ, наибольшая величина стороны считается равной 25 верстамъ и

наименьшая 3 верстамъ. Въ гористыхъ мѣстностяхъ, гдѣ воздухъ чистъ, стороны достигаютъ наибольшей длины. Иногда мѣстныя условія (лѣсныя пространства, постройки, рельефъ мѣстности и т. п.) не позволяютъ строго держаться указанныхъ нормъ, и уклоненія могутъ быть какъ въ углахъ, такъ и сторонахъ [1]); однако треугольники съ углами, меньшими 30^0 и большими 150^0, допускаются лишь въ видѣ исключенія.

Знаменитый русскій геодезистъ В. Струве показалъ, между прочимъ [2]), что достоинство треугольника слагается не только изъ возможно идеальной формы треугольника, но и *изъ тщательности и точности измѣренія угловъ треугольника сѣти*, и не рѣдко треугольникъ, имѣя болѣе идеальную теоретическую форму, страдаетъ тѣмъ, что средняя ошибка измѣренія угла является у него большею, чѣмъ въ разностороннемъ треугольникѣ. Поэтому тамъ, гдѣ по мѣстнымъ условіямъ нарушается идеальная форма треугольника, она должна быть *восполнена* точнымъ измѣреніемъ его угловъ.

Раздѣленіе точекъ сѣти на разряды. Такъ какъ для детальной съемки бываетъ недостаточно рѣдко разставленныхъ точекъ сѣти, то въ цѣляхъ съемки сѣть пополняютъ и дѣлаютъ ее гуще, а для этого на сторонахъ большихъ треугольниковъ или, какъ ихъ называютъ *первоклассныхъ* треугольниковъ со сторонами въ 25 верстъ, стремятся построить второй рядъ равнобедренныхъ треугольниковъ *AEC*, *DFC* (черт. 408) со сторонами отъ 10 до 20 верстъ, это—*второклассные треугольники*. Соотвѣтственно этому, и точки *E* и *F* называютъ точками второго разряда. На сторонахъ треугольниковъ второго разряда строятъ треугольники *третьяго разряда* со сторонами отъ 5 до 10 верстъ и т. д. Въ треугольникахъ *четвертаго разряда* стороны доходятъ до 3 верстъ и новыя точки опредѣляются засѣчками (впередъ или назадъ), т. е. измѣреніемъ только двухъ угловъ треугольника.



Черт. 408.

Въ Россіи наиболѣе часто встрѣчаемыя стороны большихъ треугольниковъ колеблятся отъ 20 до 30 верстъ. Наибольшая сторона имѣется въ закавказской тріангуляціи: сторона Годореби-Эльборусъ = 219 верстъ.

Перечень работъ при составленіи тріангуляціи. Отдѣльными дѣйствіями при составленіи сѣти являются:

---

[1]) Наибольшая сторона треугольника встрѣчается въ С. Америкѣ: Діабло-Шаста = 367 верстамъ.

[2]) См. „Практическая геодезія" В. Витковскаго, стр. 127—131, а также „Дуга меридіана" В. Струве.

1) осмотръ (рекогносцировка) мѣстности и выборъ мѣста для точекъ сѣти и для базиса,

2) обозначеніе точекъ сѣти подъ условіемъ чтобы изъ каждой точки были видимы другія, или такъ называемая постановка знаковъ (сигналовъ) сѣти,

3) измѣреніе базиса,

4) измѣреніе угловъ треугольниковъ сѣти,

5) оріентированіе сторонъ сѣти относительно странъ свѣта, или, иначе, опредѣленіе азимута начальной стороны,

6) Вычисленіе сѣти, т. е. рѣшеніе треугольниковъ, съ цѣлію нахожденія длинъ сторонъ, вычисленіе азимутовъ остальныхъ сторонъ сѣти, и наконецъ вычисленіе координатъ пунктовъ (точекъ) сѣти.

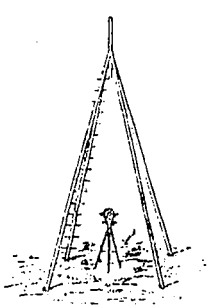
§ **245. Осмотръ мѣстности** дѣлается съ цѣлію выбора мѣста для точекъ сѣти и мѣста для базиса; онъ производится съ помощію зрительной трубы, буссоли и приблизительной карты мѣстности, на которой наносятся предполагаемыя точки сѣти по измѣреннымъ буссолью угламъ. Въ случаѣ отсутствія карты составляется предварительный чертежъ на которомъ длина предполагаемыхъ сторонъ наносится или приблизительно на глазъ, или изъ разспросовъ мѣстныхъ жителей о приблизительномъ разстояніи отъ одной избранной точки мѣстности до другой.

§ **246. Сигналы.** Точки сѣти, для видимости ихъ на большомъ разстояніи другъ отъ друга, выбираются по возможности на возвышенныхъ мѣстахъ; онѣ обозначаются или естественными сигналами (колокольни церквей, остроконечныя башни, купола зданій и т. п.) или же искусственно построенными знаками такъ называемыми *тригонометрическими сигналами.*

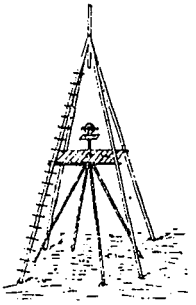
Эти сигналы обыкновенно строятся такъ, чтобы визирныя линіи проходили по возможности выше надъ почвою; они представляютъ изъ себя съ одной стороны надземное сооруженіе, а съ другой—закладываемый въ почву центръ, для сохраненія точекъ навсегда. Надземный тригонометрическій знакъ всегда имѣетъ правильный *симметричный* видъ, причемъ осью симметріи служитъ вертикальная прямая, проходящая черезъ вершину сигнала—вертикальное бревно (бабку).

Центры закладываются изъ камня или кирпича на такой глубинѣ, чтобы ихъ не могли повредить посторонніе посѣтители знака. Для точекъ, опредѣляемыхъ засѣчкою впередъ, ставятъ *вѣхи* (черт. 412), для другихъ же точекъ, на мѣстности открытой достаточно построить *простую пирамиду* (черт. 409 и 410) и наблюдать съ земли; если же горизонтъ закрытъ,—ставятъ *двойную пирамиду* (черт. 410) или *сигналъ* (черт. 411). Высота простой пирамиды колеблется отъ 2 до 4 саженей, двойной—отъ 3 до 6 саж.,

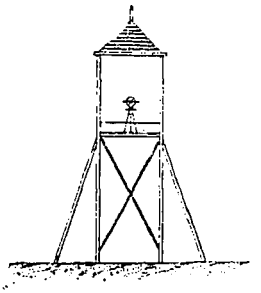
высота сигналовъ колеблется отъ 5 саж. и доходитъ до 22 саженей въ *многоярусныхъ* сигналахъ С. Америки.



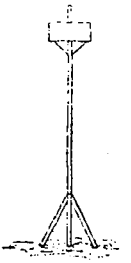
Черт. 409.



Черт. 410.



Черт. 411.



Черт. 412.

Сбоку пирамиды нерѣдко прибивается шведская лѣстница, по которой взбираются къ вершинѣ сигнала (визирному цилиндру—бабкѣ) при постройкѣ сигнала рабочіе; во время наблюденій по ней поднимается наблюдатель съ инструментомъ; при высокихъ сигналахъ инструментъ поднимается на верхнюю площадку сигнала на веревкахъ по блоку.

Угломѣрный инструментъ во время наблюденій съ простыхъ пирамидъ, въ тѣхъ случаяхъ, когда онъ отличается большими своими размѣрами и тяжестію, помѣщается и устанавливается на каменномъ или массивномъ деревянномъ столбѣ, возводимомъ или подъ самой пирамидой, или же въ недалекомъ отъ нея разстояніи. Въ послѣднемъ случаѣ измѣренные углы должны быть путемъ особаго вычисленія приведены къ центру сигнала, т. е. къ измѣреннымъ угламъ нужно найти поправки.

Для приведенія угловъ къ вершинѣ сигнала нужно хотя приближенно знать длины сторонъ треугольниковъ. Поэтому сперва (*предварительно*) вычисляютъ длины сторонъ по приближеннымъ (измѣреннымъ) значеніямъ угловъ.

§ 247. Измѣреніе угловъ. Для измѣренія угловъ сѣти употребляются болѣе совершенные угломѣрные инструменты,—а именно большіе повторительные теодолиты и универсальные снаряды; точность отсчитыванія по ихъ верньерамъ равна 10″. Нерѣдко верньеры замѣняются болѣе совершенными приспособленіями — *микроскопъ-микрометрами*: точность отсчета по нимъ достигаетъ 2″ непосредственно и 0,2″— при оцѣнкѣ на глазъ. Употребляемые для измѣренія угловъ тригонометрической сѣти инструменты имѣютъ почти тѣ же составныя части, что и малые теодолиты, но, будучи изготовлены съ большею тщательностію, имѣютъ большую плавность и равномѣрность движеній различныхъ частей и отличаются главнымъ образомъ отъ малыхъ теодо-

литовъ болѣе совершеннымъ устройствомъ вертикальнаго круга, снабженнаго уровнемъ на алидадѣ и имѣющаго 4 верньера, точность которыхъ равна точности верньеровъ горизонтальнаго лимба.

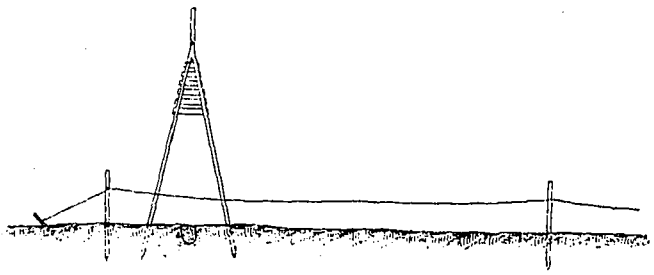
Углы треугольниковъ I разряда измѣряются, напр., шесть разъ каждый (находятся изъ шести пріемовъ), углы треугольниковъ второго разряда—четырьмя пріемами и т. д.

При наблюденіи числовыхъ величинъ угловъ въ треугольникахъ *высшихъ* (1-го и 2-го) *разрядовъ* для увеличенія точности отсчитыванія отдѣльныхъ направленій, употребляются *универсальные снаряды* и *теодолиты снабженные* вмѣсто верньеровъ *микроскопами*. Въ этихъ инструментахъ можетъ *вовсе не быть алидаднаго круга* а слѣдовательно и вреднаго тренія краевъ алидады о лимбъ, отъ котораго, при вращеніи алидады, обыкновенно и происходитъ увлеченіе алидадою за собою лимба.

§ **248. Измѣреніе базиса** обыкновенно производится особыми приборами со всевозможною тщательностію и со стараніемъ свести ошибки измѣренія къ возможному *minimum*'у. Когда же этихъ приборовъ на лицо нѣтъ, то довольствуются простѣйшимъ пріемомъ опредѣленія вѣроятнѣйшей длины базиса, который заключается въ многократномъ измѣреніи его стальною лентою, для чего онъ предварительно провѣшивается, а длина ленты сличается съ длиною нормальной ленты.

Для тріангуляцій, служащихъ для нуждъ съемокъ вполнѣ можно довольствоваться *способомъ измѣренія базиса* деревянными жезлами *по бичевѣ* предложеннымъ въ 1836 году В. Струве и впервые примѣненнымъ при опредѣленіи разности уровней Чернаго и Каспійскаго морей. Мѣрные деревянные жезлы имѣютъ при этомъ металлическія оковки по концамъ и по серединѣ; длина жезла=1 или $1^1/_2$ сажени.

Способъ Струве. Онъ основанъ на измѣреніи длины бичевы, натянутой вдоль базиса. На мѣстности выбираютъ гладкую, по возможности ничѣмъ не пересѣченную, откры-



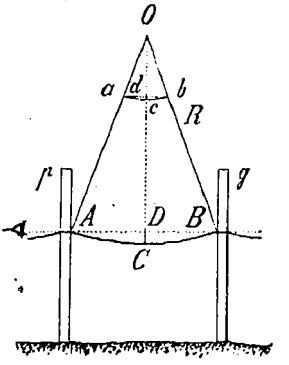
Черт. 413.

тую и горизонтальную полосу, и на ней намѣчаютъ начало и конецъ базиса большими вѣхами или еще лучше пира-

мидками съ зарытыми подъ ними въ землю камнями, незначительно выступающими надъ ея поверхностію, какъ это видно изъ черт. 413. Самый способъ измѣренія слагается изъ слѣдующихъ отдѣльныхъ дѣйствій: 1) *провѣшиванія линіи базиса*, 2) *натягиванія* бичевы и приданія ей по возможности линіи одного и того же наклона (*выравниваніе узловъ*), 3) *измѣренія длины* бичевы и 4) *опредѣленія наклоненія* линіи базиса къ горизонту.

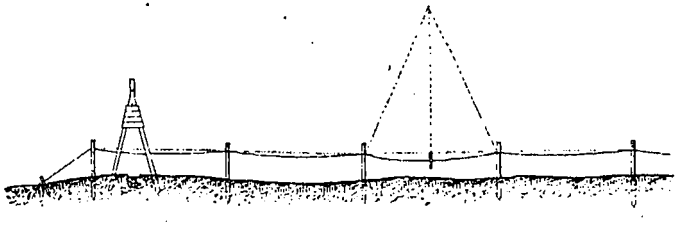
Вѣшеніе линіи базиса начинаютъ съ дальняго конца *съ помощью бинокля или зрительной трубы.*

Линію узловъ устанавливаютъ *по одной прямой*, хотя и наклонной къ горизонту, но при томъ на такой высотѣ отъ земли, чтобы бичева была доступна для измѣренія съ земли; самая установка узловъ на одну прямую дѣлается съ помощію послѣдовательнаго наведенія горизонтальной нити зрительной трубы теодолита, установленнаго около одной изъ пирамидъ, на всѣ вѣхи, начиная съ дальней.



Черт. 414.

Вслѣдствіе вѣса бичевка займетъ въ каждомъ створѣ двухъ вѣхъ положеніе *ACB* (черт. 414) нѣкоторой кривой и въ общемъ базисъ приметъ видъ, указанный на чертежѣ 415. Наклонъ линіи базиса, смотря по мѣстнымъ условіямъ, *иногда* приходится мѣнять въ одной или двухъ точкахъ базиса. *Измѣреніе базиса дѣлается по дугамъ кривыхъ, образуемыхъ бичевкою, деревяннымъ жезломъ*, длина котораго предварительно опредѣляется на компараторѣ по извѣстной длинѣ нормальной мѣры.



Черт. 415.

Когда измѣреніе подойдетъ къ концу базиса и на бичевку спроектируютъ теодолитомъ второй конецъ базиса, то разстояніе между проекціею конца базиса и послѣднею нарѣзкою, сдѣланною на бичевкѣ у конца жезла, переносятъ на жезлъ, дѣлая на немъ соотвѣтствующія нарѣзки. Перенесенный на жезлъ промежутокъ носитъ названіе „*остатокъ базиса*“, и его измѣряютъ штангенъ-циркулемъ.

Опредѣливъ длину каждой кривой, измѣряютъ *стрѣлку CD каждой дуги.*

Измѣренія дѣлаются небольшою линеечкою, раздѣленною на миллиметры или десятыя доли дюйма. Одинъ наблюдатель держитъ глазъ у одной отмѣтки A, и смотритъ по направленію къ другой отмѣткѣ B (смотрятъ иногда съ узла на узелъ), а другой, ставъ *на глазъ* въ срединѣ C дуги AB, держитъ у C отвѣсно линеечку и подымаетъ или опускаетъ ее до тѣхъ поръ, пока ноль ея, стоящій вверху, придется на линію AB, что и удостовѣряетъ смотрящій съ узла на узелъ наблюдатель возгласомъ „есть“. Въ этотъ моментъ держащій линеечку прочтетъ длину стрѣлки $CD = b$ и продиктуетъ ее, для занесенія ея въ журналъ наблюденій.

§ **249. Вычисленіе длины базиса.** Каждую дугу измѣренной кривой считаютъ за дугу a круга радіуса $R = OB$, и по длинѣ a и размѣру b стрѣлки вычисляютъ длину h хорды AB.

Если мы составимъ разность x между длиною дуги a и хордою h, то она будетъ

$$x = a - h = a - 2R.\ Sin\ \frac{a}{2R} \quad \ldots\ldots\ldots\ (x)$$

Если затѣмъ величина x будетъ нами найдена, то, разумѣется, вычитая ее изъ a, найдемъ h:

$$a - x = a - (a - h) = h.$$

Отсюда понятнымъ становится, что вся длина l базиса найдется, если изъ суммы всѣхъ измѣренныхъ дугъ a вычтемъ сумму *поправокъ*, x т. е.

$$l = \Sigma a - \Sigma x.$$

Окончательное значеніе поправки x имѣетъ слѣдующій видъ:

$$x = \frac{8}{3}\frac{b^2}{a}\ ^{1}) \quad \ldots\ldots\ldots\ (x)''.$$

§ **250 Окончательное вычисленіе сѣти.** Получивъ окончательныя значенія для угловъ сѣти, по найденнымъ угламъ вычисляются длины сторонъ, а затѣмъ и азимуты сторонъ треугольниковъ сѣти. Здѣсь въ начальной точкѣ, въ которой былъ опредѣленъ азимутъ астрономически для одной изъ сторонъ, найдутся азимуты для остальныхъ сторонъ, сходящихся въ начальной точкѣ, путемъ сложенія или вычитанія угловъ треугольниковъ съ найденнымъ азимутомъ.

Азимуты остальныхъ сторонъ найдутся по формулѣ:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180 - \textit{внутренній уголъ}.$$

---

[1]) См. Полный курсъ Низшей Геодезіи С. Соловьева.

§ 251. Вычисленіе координатъ точекъ сѣти. Имѣя азимуты α и длины d сторонъ сѣти, по формуламъ

$$\Delta x = d.\ Cos\ \alpha$$
$$\Delta y = d.\ Sin\ \alpha,$$

можно вычислить приращенія координатъ для всѣхъ точекъ сѣти, а затѣмъ, принявъ одну изъ точекъ за начало координатъ, вычислить и самыя координаты точекъ сѣти, суммируя найденныя приращенія, а именно по формуламъ:

$$x_n = \Sigma \Delta x$$
$$y_n = \Sigma \Delta y.$$

Очевидно, что координаты каждой точки необходимо вычислить для контроля не менѣе, какъ по координатамъ двухъ съ ней сосѣднихъ точекъ.

§ 252. Пользованіе тригонометрическою сѣтью для съемокъ. Пунктами тригонометрической сѣти пользуются какъ во время угломѣрной, такъ и при производствѣ мензульной съемки.

При мензульной съемкѣ, основанной на тригонометрической сѣти, накладываются на отдѣльные мензульные листы точки сѣти по ихъ координатамъ, подобно тому, какъ это указано было въ § 167 стр. 232 на чертежѣ 252; разстояніе между двумя нанесенными на планшетъ пунктами тригонометрической сѣти принимается за базисъ, по которому и составляется геометрическая сѣть для съемки подробностей. Составляя геометрическую сѣть и опредѣляя ея пункты засѣчками (прямой и обратной), стараются, гдѣ это только возможно, прежде всего сдѣлать засѣчки по тригонометрическимъ пунктамъ, положеніе которыхъ уже имѣется на мензулѣ, а затѣмъ уже пользоваться опредѣленными точками геометрической сѣти. При съемкѣ контуровъ, если точка стоянія съ мензулой *(станція)* не представляетъ собою опорной точки, т. е. пункта тригонометрической или геометрической сѣти, положеніе ея опредѣляется или обратной засѣчкой, или по задачѣ Потенота, причемъ пользуются предпочтительно пунктами тригонометрической сѣти. Если станція взята по мѣстнымъ условіямъ вблизи пункта сѣти, то стремятся провѣрить положеніе станціи *промѣромъ* стальной лентой до пункта сѣти.

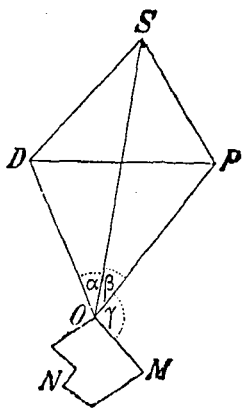
Съемка участка угломѣрнымъ инструментомъ будетъ основана на предварительно составленной тригонометрической сѣти, если работа начинается и оканчивается *привязкою* къ пунктамъ сѣти точекъ окружной границы участка. Привязать точку окружной границы къ сѣти значитъ найти ея координаты относительно осей координатъ сѣти. Координаты привязанныхъ точекъ[1]) *не* подлежатъ измѣненію, координаты же всѣхъ промежуточныхъ между ними точекъ

[1]) Вычисленныя изъ привязки.

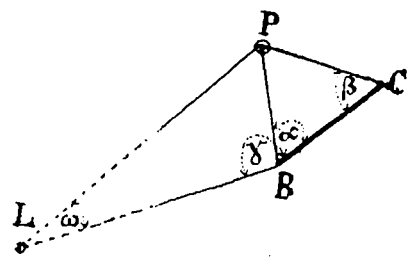
окружной границы вычисляются въ зависимости отъ координатъ привязанныхъ.

Привязка къ пунктамъ тригонометрической сѣти дѣлается или *помощію простыхъ промѣровъ*, если точка сѣти незначительно удалена отъ привязываемой, или *на основаніи задачи Потенота и Ганзена.*

Способъ промѣровъ состоитъ въ томъ, что въ пунктѣ O (черт. 416) окружной границы участка OMN измѣряютъ *примычный* уголъ γ, а въ пунктѣ P сѣти подобный же уголъ OPS или OPD и, кромѣ того, измѣряютъ длину прямой OP. Если прямую проложить невозможно, то прокладываютъ полигонный ходъ между



Черт. 416.



Черт. 417.

точками O и P съ вышеуказанными примычными углами въ точкахъ O и P.

Если въ пунктъ P сѣти встать нельзя, то близъ него избираютъ вспомогательную точку B (черт. 417) и по координатамъ точекъ P и L сѣти, а также по измѣреннымъ базису BC и угламъ α, β и γ вычисляютъ координаты точки B. Такой пріемъ носитъ иногда названіе *перенесенія* или *передачи координатъ съ вершины сигнала на землю.*

Пусть координаты точки P даны: x_p, y_p

„ L „ x_1, y_1

а координаты точки B ищутся: x_b, y_b.

Онѣ будутъ

$$x_b = x_p + PB.\ Cos\ (PB)$$
$$y_b = y_p + PB.\ Sin\ (PB)$$

Точка L предполагается видимой изъ точки B. Опредѣлимъ длину BP и азимутъ (PB).

Углы α и β измѣряютъ при концахъ такого базиса BC, для котораго они приблизительно равны 60^0; тогда изъ треугольника PBC находятъ искомое разстояніе PB; оно будетъ

$$PB = BC.\ \frac{Sin\ \beta}{Sin\ (\alpha + \beta)}$$

Азимутъ

$$(PB) = (PL) - LPB = (PL) - (180^0 - (\gamma - \alpha) - \omega);$$

здѣсь азимутъ (PL) вычислится по формулѣ:

$$tg\ (PL) = \frac{y_l - y_p}{x_l - x_p},$$

а уголъ ω найдется изъ треугольника BPL, въ которомъ имѣемъ

$$PB : PL = Sin\ \omega : Sin\ (\gamma - \alpha);$$

откуда

$$Sin\ \omega = (PB : PL) \times Sin\ (\gamma - \alpha)$$

или, по малости PB сравнительно съ PL, полагаемъ

$$Sin\ \omega = \omega'\ Sin\ 1'$$ и находимъ

$$\omega' = (PB : PL) \times \frac{Sin\ (\gamma - \alpha)}{Sin\ 1'}$$

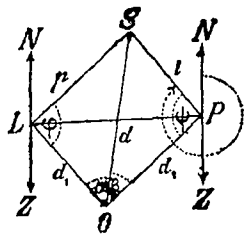
Повѣркою для вычисленныхъ координатъ x_b и y_b служитъ азимутъ (LB), который вычислится по формулѣ

$tg\ (LB) = \frac{y_b - y_l}{x_b - x_l}$; причемъ должно быть $(LB) - (LP) = \omega$.

Когда съ земли нельзя смѣрить угла γ или, все равно, $(\gamma - \alpha)$, а это иногда имѣетъ мѣсто при съемкѣ городовъ, то измѣряютъ на окнѣ колокольни уголъ и путемъ вычисленія поправки приводятъ его къ вершинѣ P сигнала, а затѣмъ уже по приведенному углу LPB находятъ азимутъ

$$(PB) = (PL) - LPB.$$

Задача Потенота. (*Аналитическое рѣшеніе*). Аналитическое рѣшеніе задачи Потенота состоитъ въ опредѣленіи координатъ 4-й точки O, относительно тѣхъ же осей координатъ, относительно которыхъ даны координаты трехъ данныхъ точекъ S, L и P (черт. 418), послѣ того какъ *въ четвертой точкѣ мѣстности* тщательно *измѣрены два угла* α и β, вполнѣ опредѣляющіе положеніе точки O относительно трехъ данныхъ. Обозначимъ координаты данныхъ точекъ черезъ x и y съ соотвѣтственными указателями s, l и p. На основаніи того, что координаты послѣдующей точки равны координатамъ точки предыдущей плюсъ приращеніе координатъ для послѣдующей точки, можемъ написать:



Черт. 418.

$$x_0 = x_l + \Delta x_l = x_p + \Delta x_p. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$
$$y_0 = y_l + \Delta y_l = y_p + \Delta y_p. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

гдѣ

$$\Delta x_l = LO\ .\ Cos\ (LO) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$
$$\Delta y_l = LO\ .\ Sin\ (LO) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$
$$\Delta x_p = PO\ .\ Cos\ (PO) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$
$$\Delta y_p = PO\ .\ Sin\ (PO) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6).$$

Разсматривая выраженія (3), (4), (5), (6) видимъ, что въ нихъ входятъ неизвѣстными длины линій PO и LO и азимуты (PO) и (LO) этихъ направленій; займемся опредѣленіемъ величинъ этихъ неизвѣстныхъ;—для этого обозначимъ уголъ SLO черезъ φ и уголъ SPO черезъ ψ, а затѣмъ замѣтимъ, что азимутъ линіи LO найдется по азимуту линіи LS и по углу φ, а азимутъ линіи PO—по азимуту линіи PS и углу ψ. Дѣйствительно, принимая линію NZ за направленіе меридіана, мы можемъ написать два равенства:

$$(LO) = (LS) + \varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

$$(PO) = (PS) - \psi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8),$$

гдѣ φ и ψ пока неизвѣстны. Выведемъ формулы для опредѣленія разстояній LO и PO; на чертежѣ 418 они обозначены черезъ d_1 и d_2; для разстояній SO, SL и SP введемъ обозначенія $SO = d$, $LS = p$ и $PS = l$: изъ треугольниковъ OLS и SOP слѣдуетъ, что:

$$\frac{p}{d_1} = \frac{Sin\ \alpha}{Sin\ (\alpha + \varphi)}; \text{ откуда } d_1 = p.\ \frac{Sin\ (\alpha + \varphi)}{Sin\ \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

$$\frac{l}{d_2} = \frac{Sin\ \beta}{Sin\ (\beta + \psi)} \quad . \quad . \quad . \quad d_2 = l.\ \frac{Sin\ (\beta + \psi)}{Sin\ \beta} \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Въ выраженіяхъ (9) и (10) вошли измѣренные на мѣстности углы α и β и опять неизвѣстные—φ и ψ. Что же касается до длины линій LS и PS и азимутовъ (LS) и (PS), то вычисленіе ихъ производится по слѣдующимъ формуламъ:

$$tg\ (LS) = \frac{y_s - y_l}{x_s - x_l},\ tg\ (PS) = \frac{y_s - y_p}{x_s - x_p} \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

$$LS = \frac{y_s - y_l}{Sin(LS)} = \frac{x_s - x_l}{Cos(LS)};\ PS = \frac{y_s - y_p}{Sin(PS)} = \frac{x_s - x_p}{Cos(PS)} \quad . \quad (II)$$

Углы φ и ψ находятся по ихъ суммѣ и разности: сумма $\varphi + \psi$ найдется изъ четыреугольника $OLSP$, въ которомъ сумма угловъ равна 360^0, а именно:

$$\alpha + \beta + \varphi + \psi + S = 360^0,$$

гдѣ

уголъ $S = LSP = (SL) - (SP) = (LS) - (PS)$ [1] . . . (III)

и слѣдовательно:

$$\varphi + \psi = 360^0 - (\alpha + \beta + S), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (IV)$$

или, положивъ для краткости $\alpha + \beta + S = 2\sigma$,

находимъ $\frac{1}{2}(\varphi + \psi) = 180^0 - \sigma$. . . . . (V)

Для отысканія разности тѣхъ же угловъ, возьмемъ изъ треугольниковъ LSO и PSO слѣдующія соотношенія:

$$\frac{d}{b} = \frac{Sin\ \varphi}{Sin\ \alpha} \text{ и } \frac{d}{l} = \frac{Sin\ \psi}{Sin\ \beta}$$

или

$$Sin\ \varphi = d.\ \frac{Sin\ \alpha}{p} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

$$Sin\ \psi = d.\ \frac{Sin\ \beta}{l} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

---

[1]) См. § 69 и стр. 75.

Найдемъ теперь отношеніе $Sin\ \psi$ къ $Sin\ \varphi$ и обозначимъ его черезъ tgQ, такъ что:

$$\frac{Sin\ \psi}{Sin\ \varphi} = tgQ \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Это обозначеніе всегда возможно, такъ какъ тангенсъ измѣняется отъ $-\infty$ до $+\infty$. Раздѣливъ выраженіе (12) на (11), получимъ:

$$tgQ = \frac{Sin\ \psi}{Sin\ \varphi} = \frac{p\ .\ Sin\ \beta}{l\ .\ Sin\ \alpha} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Въ полученномъ выраженіи p, β, l и α извѣстны, слѣдовательно tgQ можетъ быть опредѣленъ. Далѣе, согласно нашему означенію, имѣемъ:

$$\frac{Sin\ \varphi}{Sin\ \psi} = \frac{1}{tgQ}.$$

Напишемъ эту пропорцію въ слѣдующемъ видѣ:

$$\frac{Sin\ \varphi + Sin\ \psi}{Sin\ \varphi - Sin\ \psi} = \frac{1 + tgQ}{1 - tgQ}$$

и, замѣнивъ въ первой части сумму и разность синусовъ произведеніемъ, а во второй части принявъ единицу равной $tg\ 45^0$, можемъ написать:

$$\frac{2\ Sin\frac{\varphi+\psi}{2}\ .\ Cos\frac{\varphi-\psi}{2}}{2\ Sin\frac{\varphi-\psi}{2}\ .\ Cos\frac{\varphi+\psi}{2}} = \frac{tg\ 45^0 + tgQ}{1 - tg\ 45^0\ .\ tgQ}$$

или

$$tg\,{}^1\!/_2\ (\varphi+\psi)\ .\ Cotg\,{}^1\!/_2\ (\varphi-\psi) = tg\ (45^0+Q),$$

откуда

$$tg\,{}^1\!/_2\ (\varphi-\psi) = tg\,{}^1\!/_2\ (\varphi+\psi)\ .\ Ctg\ (45^0+Q) \quad . \quad . \quad (15).$$

Въ уравненіи (15) намъ извѣстно $\frac{\varphi+\psi}{2}$ и (45^0+Q), слѣдовательно изъ него можно найти $\frac{\varphi-\psi}{2}$. Положивъ:

$$(16) \quad . \quad . \quad . \quad \begin{matrix} {}^1\!/_2\ (\varphi+\psi) = m \\ {}^1\!/_2\ (\varphi-\psi) = n, \end{matrix}$$

сложимъ, а затѣмъ вычтемъ эти равенства почленно, тогда

$$\begin{matrix} \varphi = m + n \\ \psi = m - n. \end{matrix} \quad . \quad . \quad (17)$$

Вставляя найденныя значенія для φ и ψ въ равенства (7), (8), (9) и (10), получимъ необходимыя величины для вычисленія приращеній координатъ точки O по формуламъ (3), (4), (5) и (6).

Задача рѣшается послѣдовательнымъ примѣненіемъ формулъ I, II, III, IV, V; 14, 15, 16, 17; 7, 8, 9, 10; 3—6; 1 и 2.

ГЛАВА X.

Приложеніе геодезіи къ вопросамъ по землеустройству.

Привязка точекъ окружныхъ границъ участка къ пунктамъ (тригонометрической) сѣти и къ постояннымъ предметамъ мѣстности.

§ 253. **Предварительныя понятія.** Желаніе *сохранить* по возможности *на долгое время* точки, принадлежащія окружной границѣ участка, снятаго угломѣрнымъ инструментомъ, заставляетъ не только на составленномъ на этотъ участокъ планѣ *записать цифровыя данныя*, опредѣляющія взаимное положеніе точекъ окружной границы, какъ-то: румбы, астролябическіе углы, длины линій, углы ихъ наклоненія и т. п., *но еще сверхъ того озаботиться:*

1) *о наложеніи* на мѣстности *прочныхъ*, неизмѣнныхъ *признаковъ въ указанныхъ точкахъ*, на подобіе того, какъ это дѣлается при точныхъ работахъ съ закладкою центровъ на пунктахъ тригонометрической сѣти, нивеллиръ-теодолитнаго ряда и полигонныхъ ходовъ, т. е. подъ землею зарывать знакъ въ видѣ кирпича или бутылки, помимо признака, поставленнаго надъ землею; на границахъ отдѣльныхъ владѣній (на межахъ владѣльческихъ дачъ) также накладываются такъ называемые межевые признаки: ставятся деревянные, каменные или чугунные столбы, роются межевыя ямы, пропахиваются межники, насыпаются курганы;

2) *о составленіи* подробныхъ *описаній* границъ владѣнія, *замѣняющихъ планъ* (геодезическій журналъ, полевой журналъ, межевая книга),

и 3) *о привязкѣ* путемъ дополнительныхъ измѣреній *точекъ границъ къ* близлежащимъ (или даже только видимымъ) *предметамъ мѣстности, на неизмѣнное положеніе которыхъ* въ теченіе весьма долгаго промежутка времени *можно было бы свободно положиться.*

Остановимся еще разъ на этомъ вопросѣ, имѣющемъ огромное значеніе въ съемочномъ (землемѣрномъ и особенно межевомъ) дѣлѣ.

§ 254. **Привязка граничныхъ линій къ точкамъ сѣти: по задачѣ Потенота** заключается въ томъ, что, ставъ въ точку O (черт. 417) поворота границы полигона съ угломѣрнымъ инструментомъ, измѣряютъ *три угла* α, β и γ. Изъ нихъ первые два опредѣляютъ положеніе (координаты) точки O относительно трехъ данныхъ точекъ сѣти L, S и P, а третій *примычный* уголъ γ служитъ для вычисленія азимута первой стороны OM, а по нему и всѣхъ послѣдующихъ азимутовъ сторонъ границы участка OMN.

Привязка способомъ промѣровъ состоитъ въ томъ, что 1) въ пунктѣ O (черт. 417) привязываемой границы участка

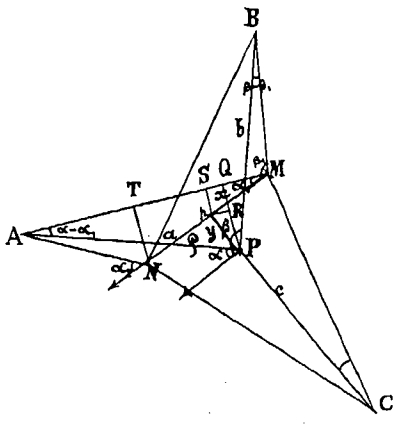
OMN, измѣряютъ 1-й примычный уголъ $MOP=\gamma$, 2) промѣряютъ длину прямой *OP* (или прокладываютъ ломанную линію), связывающую точку *O* съ близлежащимъ пунктомъ *P* сѣти и 3) въ пунктѣ *P* измѣряютъ 2-й примычный уголъ *OPS* на видимый изъ точки *P* второй пунктъ *S* сѣти.

Цѣль привязки границъ участка къ пунктамъ сѣти заключается въ томъ, чтобы можно было вычислить *координаты* точекъ поворота границъ *относительно тѣхъ же осей* координатъ, относительно которыхъ даны координаты пунктовъ сѣти.

Чтобы возможно надежнѣе привязать границу участка къ пунктамъ сѣти, нужно избранную точку, сторону или діагональ привязывать *не* къ тремъ, а къ возможно большему числу пунктовъ сѣти, т. е. въ избранномъ мѣстѣ, кромѣ необходимыхъ измѣреній, слѣдуетъ дѣлать еще и *избыточныя* или дополнительныя, а также не довольствоваться одной привязанной точкой границы, а стараться привязать двѣ, три и болѣе точекъ границы, возможно удаленныхъ другъ отъ друга.

Конечная же цѣль привязки къ пунктамъ основной сѣти состоитъ въ томъ, чтобы впослѣдствіи возможно было *быстро разыскать* точку или линію границы, надземные признаки на которой утратились отъ времени.

§ 255. Привязка къ постояннымъ предметамъ мѣстности дѣлается съ тою же цѣлью, что и привязка къ пунктамъ сѣти. Самый же пріемъ привязки зависитъ какъ отъ числа постоянныхъ точекъ, такъ и отъ формы самого предмета, къ которому собираются сдѣлать привязку, а равно и отъ взаимнаго расположенія привязываемой точки и постоянныхъ предметовъ.

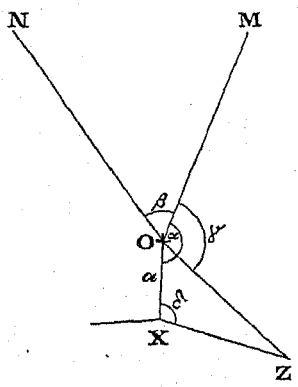


Черт. 419.

1. Если привязываемая точка *P* (черт. 419) лежитъ относительно трехъ постоянныхъ предметовъ (точекъ) *A*, *B* и *C* такъ, что возможно смѣрить два угла *APB* и *BPC* въ привязываемой точкѣ подобно тому, какъ это мы дѣлали въ случаѣ примѣненія *задачи Потенота*, то не смотря на то, что хотя взаимное положеніе трехъ данныхъ постоянныхъ точекъ намъ и неизвѣстно, все-таки возможно будетъ, (что нетрудно показать), разыскать съ помощію угловъ *APB* и *BPC* привязанную точку *M*, способомъ, предложеннымъ вѣнскимъ профессоромъ *Марекомъ*.

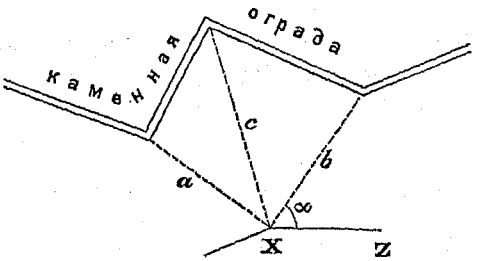
2. Если же привязываемая точка лежитъ вблизи, напр., одиноко лежащаго большого камня или вообще постояннаго

мѣстнаго предмета O (черт. 420), надъ которымъ возможно стать съ угломѣрнымъ инструментомъ и смѣрить въ точкѣ O уголъ α между другимъ постояннымъ предметомъ M и привязываемой точкою X стороны XZ полигона, то возможно, измѣривъ еще въ точкѣ X примычный уголъ $\delta = OXZ$, примѣнить *способъ промѣровъ*, для чего необходимо, однако, смѣрить еще и линію $OX = a$. Въ случаѣ, если окажется возможнымъ, дѣлаютъ, сверхъ необходимыхъ, еще и избыточныя измѣренія: угловъ β и γ и разстоянія OZ.



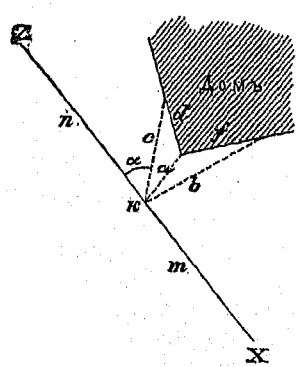
Черт. 420.

3. Если бы привязываемая линія XZ границы участка пришлась вблизи каменной ограды (черт. 421), на которой возможно отмѣтить три точки ея излома, то можно было бы положеніе точки X опредѣлить пересѣченіемъ трехъ линій a, c и b, идущихъ отъ точки X къ тремъ упомянутымъ изломамъ ограды, для опредѣленія же положенія линіи XZ пришлось бы смѣрить еще и уголъ α. Смѣривши же, сверхъ указанныхъ величинъ, еще два угла: между отрѣзками a и c и отрѣзками c и b, можно было бы примѣнить способъ Марека. Если бы ограда была достаточно низка или достаточно толста настолько, что можно было бы смѣрить уголъ въ точкѣ пересѣченія между отрѣзкомъ, напр., b и направленіемъ *ограды*, то оказалось бы возможнымъ примѣнить *способъ промѣровъ*.



Черт. 421.

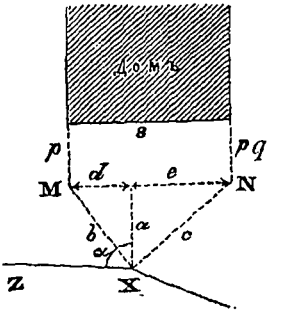
4. Положимъ, что линія XZ идетъ мимо угла дома (черт. 422), тогда точку k линіи XZ можно было бы при вязать къ углу дома и двумъ болтамъ (гвоздямъ), вбитымъ въ стѣны дома въ разстояніяхъ d и f отъ угла. Промѣры $n = Zk$ и $m = Xk$ опредѣлили бы положеніе самой точки k на линіи XZ, а разстоянія a, b и c — положеніе той же точки относительно угла дома и болтовъ, вбитыхъ въ стѣны. Направленіе же линіи XZ опредѣлилось бы



Черт. 422.

угломъ α въ точкѣ k между отрѣзками n и c (или m и b).

5. Наконецъ, если бы домъ расположился такъ, что стѣна его была бы приблизительно параллельна линіи XZ (черт. 423) или точка X пришлась примѣрно противъ середины стѣны дома, то для опредѣленія точки X и линіи XZ можно напр., продолжить направленія двухъ другихъ сторонъ дома (провѣшить) и на нихъ отложить отрѣзки p и q, соединяя концы которыхъ, получить прямую MN, а на нее изъ точки X опустить перпендикуляръ.



Черт. 423.

Измѣреніемъ отрѣзковъ p, d и a, опредѣлилась бы точка X, а измѣреніемъ угла α—и линія XZ. Для контроля и для избыточныхъ (запасныхъ) измѣреній опредѣляются длины отрѣзковъ s, q и e, а также b и c.

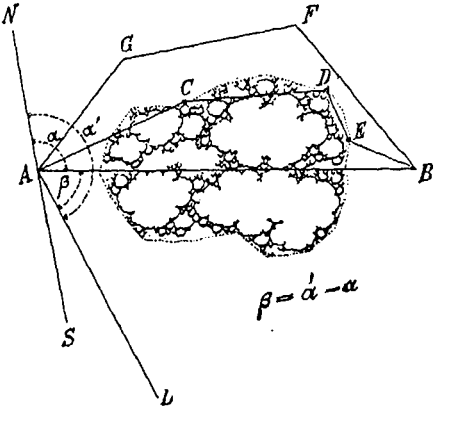
Если $p=q$, то $d+e=s$.

Сдѣлавъ въ полѣ привязку, необходимо дома сдѣлать сбоку плана въ крупномъ масштабѣ чертежъ привязки точки и линіи границы участка, указавъ на немъ въ перспективѣ форму постояннаго предмета, а также четко надписавъ результаты всѣхъ сдѣланныхъ необходимыхъ и избыточныхъ измѣреній, т. е. поступать совершенно такъ же, какъ это дѣлалось при нивеллированіи, при замѣткѣ *реперовъ*.

Задачи, рѣшаемыя по плану горизонтальной съемки.

Разысканіе и возобновленіе границъ участка.

§ 256. **Проведеніе просѣка черезъ лѣсъ.** Если между двумя данными на планѣ точками A и B (черт. 424) надо проложить просѣкъ AB, то рѣшеніе задачи сведется къ отысканію 1) румба или азимута прямой AB и 2) ея длины.



Черт. 424.

Если планъ составленъ накладкою полигона транспортиромъ по румбамъ его сторонъ, то съ плана берутъ (по масштабу) какъ длину AB, такъ и ея румбъ (измѣряютъ транспортиромъ) и перечисляютъ его на азимутъ. Зная азимуты (AB) и (AG), вычисляютъ уголъ $\angle CAB = (AB) - (AG)$.

Придя на мѣстность и ставъ въ точку A, направляютъ визирный снарядъ установленнаго для наблюденія угломѣрнаго инструмента на точку границы G и, сдѣлавъ на лимбѣ отсчетъ, повертываются на уголъ GAB; послѣ чего по трубѣ вѣшатъ линію AB и, дѣлая просѣкъ, отмѣряютъ длину AB.

Если же на мѣстности указаны только точки A и B, а границы участка $AGFB$ не даны, то на мѣстности прокладываютъ сомкнутый полигонъ $AGFBEDCA$, проходя черезъ лѣсъ короткими линіями, по возможности избѣгая дѣлать порубки; а затѣмъ, придя домой, накладываютъ обойденный полигонъ и опредѣляютъ азимутъ (AB) и длину AB или по плану графически, или же вычисляютъ ихъ по координатамъ точекъ A и B, вычисливъ сперва координаты всѣхъ вершинъ полигона $AGFBEDCA$.

Если точки A и B заранѣе даны координатами и на мѣстности имѣется еще третья данная точка L, координаты которой также извѣстны, то длина AB и азимутъ (AB), какъ равно длина LA и азимутъ (AL), находятъ вычисленіемъ по формуламъ, даннымъ на стр. 221 и 222 (I части) въ пунктахъ 6) и 7) для случая, когда по координатамъ концевъ прямой ищется азимутъ и ея длина, а именно:

$$tg\alpha = tg\,(AB) = \frac{y_B - y_A}{X_B - X_A} \text{ и } AB = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (X_B - X_A)^2}$$

$$tg\alpha' = tg\,(AL) = \frac{y_L - y_A}{X_L - X_A}.$$ Уголъ поворота линіи AB отъ AL равенъ $LAB = \beta = \alpha' - \alpha$. Точно также если точка L не дана, то уголъ $CAB = (AB) - (AC)$; при чемъ (AB) и (AC) вычисляются послѣ обхода полигона $AGFBEDCA$, а именно (AC) по ходу, а (AB) по координатамъ точекъ A и B.

§ 257. Разысканіе точекъ границъ, привязанныхъ къ пунктамъ сѣти, начинается съ того, что становятся съ угломѣрнымъ инструментомъ примѣрно тамъ, гдѣ предполагается была привязанная точка O (черт. 418, стр. 434) и въ новой точкѣ O' измѣряются два угла α' и β', если привязка была сдѣлана по задачѣ Потенота.

По этимъ измѣреннымъ угламъ и координатамъ точекъ сѣти вновь повторяютъ вычисленіе задачи Потенота.

Найдя координаты точки O', по извѣстной задачѣ аналитической геометріи находятъ разстояніе $O'O$ и азимутъ его, пользуясь при этомъ формулами:

$$tg(O'O) = \frac{y_0 - y_{0'}}{x_0 - x_{0'}} \text{ и } \overline{O'O} = \sqrt{(y_0 - y_{0'})^2 + (x_0 - x_{0'})^2}$$

или

$$\overline{O'O} = m = \frac{y_0 - y_{0'}}{Sin(O'O)} = \frac{x_0 - x_{0'}}{Cos(O'O)}.$$

По азимутамъ двухъ линій $O'P$ и $O'O$ получаютъ уголъ $PO'O$ какъ разность этихъ азимутовъ. Въ точкѣ O' отмѣ-

ряютъ уголъ $PO'O$, а затѣмъ отъ точки O' до O разстояніе $m = O'O$ и разыскиваютъ подземные признаки въ точкѣ O. Указаннымъ путемъ можетъ найтись привязанная точка O границы OMX. Перенеся въ нее инструментъ, отмѣряютъ примычный уголъ γ_1 и, найдя направленіе линіи OM на мѣстности, отмѣряютъ длину $\overline{OM}$, послѣ чего переносятъ инструментъ въ точку M и здѣсь по углу поворота и длинѣ линіи находятъ слѣдующую точку границы и т. д.

При разысканіи точки O, привязанной промѣромъ (черт. 418) поступаютъ въ обратномъ порядкѣ тому, который велся при привязкѣ, а именно: ставъ въ точку P, отмѣряютъ 2-й примычный уголъ SPO, затѣмъ прямую (или ломанную) PO и, найдя точку O, отмѣряютъ 1-й примычный уголъ γ, который даетъ направленіе линіи OM границы участка.

При разысканіи точекъ, привязанныхъ къ постояннымъ предметамъ мѣстности также сперва находятъ положеніе на мѣстности привязанной точки X, пользуясь сдѣланными при привязкѣ промѣрами, а затѣмъ уже прокладываютъ, пользуясь примычнымъ угломъ α, и самое направленіе XZ.

§ 258. О разысканіи пункта, привязаннаго къ постояннымъ предметамъ, по способу Марека. Разысканіе точки P, привязанной къ тремъ постояннымъ предметамъ мѣстности A, B и C (черт. 419) начинается съ того, что, ставъ, сообразно съ чертежемъ, сдѣланнымъ на планѣ, вблизи точки P, измѣряютъ въ этой точкѣ углы между направленіями на тѣ же три предмета мѣстности A, B и C. Сравнивая вновь полученные углы съ записанными на планѣ, можно сообразить, въ какую сторону слѣдуетъ подвигаться отъ избранной точки для того, чтобы числовыя величины привязочныхъ угловъ возможно ближе подошли къ записаннымъ на планѣ.

Если вновь избранная точка дастъ желаемый результатъ, то ограничиваются двумя точками стоянія, если же нѣтъ, то повторяется перемѣщеніе до тѣхъ поръ, пока въ точкѣ N углы будутъ ближе подходить къ записаннымъ на планѣ, чѣмъ въ ранѣе избранной точкѣ M.

Итакъ, пусть MN то направленіе, по которому мы передвигались; оно указано на чертежѣ стрѣлкой. Обозначимъ разстояніе MN черезъ ρ, разстояніе отъ P до A черезъ a, углы, считаемые отъ направленія MN на точку A въ точкѣ M черезъ α_1, на B — черезъ β_1 и на C — черезъ γ_1; тѣ же углы въ точкѣ N пусть будутъ соотвѣтственно α_2, β_2, γ_2, а въ точкѣ P — α, β и γ (считая ихъ отъ направленія, параллельнаго MN).

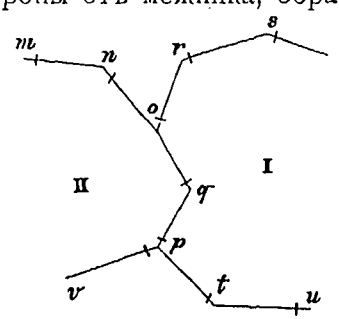
Примемъ точку M за начало координатъ, направленіе MN — за ось x-овъ и изъ P опустимъ перпендикуляръ Pp на MN, тогда координаты искомой точки M будутъ $Mp = x$ и $pP = y$.

Для отысканія x и y необходимо составить и рѣшить два уравненія [1])

$$[(\beta-\alpha)-(\beta_1-\alpha_1)]\cdot\rho=[(\beta_2-\alpha_2)-(\beta_1-\alpha_1)]\ x+$$
$$+[(\beta_2-\beta_1)\ ctg\beta_1-(\alpha_2-\alpha_1)\ ctg\alpha]\cdot y$$
$$[(\gamma-\beta)-(\gamma_1-\beta_1)]\cdot\rho=[(\gamma_2-\beta_2)-(\gamma_1-\beta_1)]\ x+$$
$$+[(\gamma_2-\gamma_1)\ ctg\gamma_1-(\beta_2-\beta_1)\ ctg\beta_1]\cdot y.$$

§ 259. Разысканіе границъ на мѣстности по межевымъ документамъ (по плану или межевой книгѣ) **и возобновленіе межевыхъ признаковъ.** На мѣстности, для обозначенія границъ земельныхъ владѣній, согласно существующихъ статей межевыхъ законовъ, полагается въ точкахъ поворота межи ставить опредѣленной высоты и формы деревянные столбы), (или насыпать въ безлѣсной мѣстности курганы, складывать каменные столбы), вдоль линій межи пропахивать узкія полосы земли (межники), а въ лѣсу прорубать просѣки и рыть на межахъ ямы. Съ теченіемъ времени межевые признаки (столбы, ямы, межники, просѣки) утрачиваются: деревянные, обожженные снизу столбы, которыми обозначаются вершины угловъ между каждыми двумя граничными линіями, сгниваютъ отъ сырости и падаютъ, ямы заплываютъ, особенно въ низкихъ луговыхъ мѣстахъ, и сглаживаются вровень съ землею, межники также постепенно запахиваются, просѣки въ лѣсу заростаютъ. Нерѣдко знаки утрачиваются такъ, что мѣста ихъ существованія дѣлаются неизвѣстными даже мѣстнымъ жителямъ; между тѣмъ встрѣчается надобность въ разысканіи границъ (напр., при раздѣлѣ владѣнія) и въ возстановленіи (возобновленіи) утратившихся признаковъ.

Лучше всего сохраняются на мѣстности ямы; по нимъ не трудно найти и мѣста столбовъ, такъ какъ яма обыкновенно роется *впередъ по межѣ*, въ разстояніи одной сажени отъ столба, и земля изъ ямы выбрасывается по обѣ стороны отъ межника, образуя такъ называемый развалъ.



Черт. 425.

Обыкновенно при малѣйшихъ признакахъ межевой ямы сначала снимаютъ дернъ, гдѣ (по плану) долженъ стоять межевой столбъ и стараются опредѣлить,—не сохранился ли въ землѣ обожженный конецъ столба, яму же зондируютъ желѣзнымъ ломомъ, прислушиваясь, не будетъ ли удара о камни, положенные при межеваніи на дно ямы.

Межуемая дача, при обходѣ ея, держится всегда *вправо*, и если сперва была обмежевана дача I (черт. 425), то ямы у столбовъ u, t, p, q, o, r, s,.... бу-

[1]) См. новый курсъ Низшей Геодезіи С. М. Соловьева.

дутъ находиться по *прямому ходу*, *впередъ по межѣ;* при межеваніи же смежной дачи II, часть границы *оф* будетъ общей съ дачей I; эта часть вновь не обходится и на ней новыхъ ямъ не роется; если же идти по межѣ II дачи, то ямы при столбахъ *о*, *q* и *р* окажутся *назадъ по межѣ*, ибо *оф* будетъ *обратный ходъ* пройденному *рдо* по межѣ дачи I.

При разысканіи мѣста утратившагося столба всегда слѣдуетъ сообразить съ планомъ,—на прямомъ или обратномъ ходѣ ищется столбъ, а по опросу мѣстныхъ жителей, гдѣ находится дача, для которой возобновляются признаки,—вправо или влѣво отъ линіи межи. Сама же линія узнается по имѣющемуся на планѣ и измѣренному вновь ея румбу и по ея длинѣ, или иначе, по мѣрѣ линіи.

Положеніе границъ владѣній при первоначальномъ (генеральномъ, т. е. общемъ и при спеціальномъ) межеваніи дачи опредѣлялось у насъ, въ Россіи, съ точностію для угловъ до 15′ ($^1/_4{}^0$), т. е. съ тою, которую допускали въ то время угломѣрные инструменты,—графометры и астролябіи съ діоптрами, а точность измѣренія линій зависила отъ мѣрной стальной цѣпи (шестидесятиколѣнной или аршинной, семидесятиколѣнной или футовой), а потому, прокладывая линіи по даннымъ величинамъ съ плана на мѣстность, т. е. производя новыя дѣйствія съ новыми неизбѣжными погрѣшностями, нельзя ожидать, чтобы возобновляемыя граничныя линіи ложились математически вѣрно по тѣмъ именно линіямъ, которыя были пройдены при начальномъ межеваніи: поэтому, прежде чѣмъ возобновить границы, надо предварительно разыскать старые признаки, для чего произвести новый частичный инструментальный обходъ границы между сохранившимися въ разныхъ мѣстахъ межи знаками, съ тою цѣлію, чтобы потомъ, сколь возможно правильнѣе назначить мѣста утратившихся *промежуточныхъ* пунктовъ.

При разысканіи границъ какой-либо дачи могутъ представиться слѣдующіе четыре случая:

1) на всей окружной межѣ, или въ той ея части, въ которой происходитъ возобновленіе границъ, сохранились два знака, принадлежащіе одной и той же линіи,

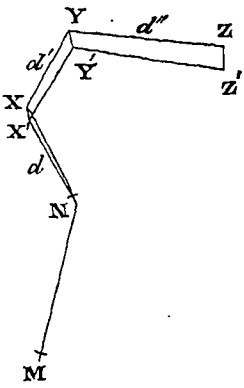
2) на всей окружной межѣ сохранились два знака, не принадлежащіе одной и той же линіи, но вѣха, поставленная при одномъ, видна изъ другого,

3) на межѣ сохранился одинъ знакъ,

и 4) не сохранилось на межѣ ни одного признака.

Первый случай. Пусть на мѣстности сохранились два знака, напр., двѣ ямы. Сообразуясь съ тѣмъ, что эти ямы лежатъ на прямомъ или обратномъ ходѣ межуемой дачи [1]),

[1]) въ чемъ убѣждаются по плану и изъ опроса мѣстныхъ жителей относительно того, гдѣ лежитъ межуемая дача—вправо или влѣво отъ линіи, и какая смежная дача находится по другую сторону отъ линіи, опредѣляемой двумя ямами.



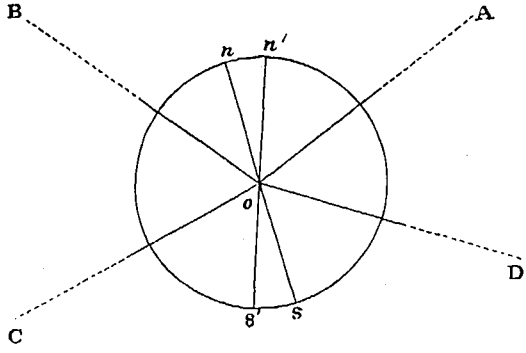
Черт. 426.

а также и по сохранившимся развалам ямъ, выставляютъ въ разстояніяхъ одной сажени отъ каждой изъ нихъ по вѣхѣ *M* и *N* (черт. 426). Створъ этихъ вѣхъ долженъ выразить направленіе межника, а мѣста вѣхъ—тѣ точки, гдѣ стояли столбы при межеваніи; однако послѣднее можно допустить въ томъ случаѣ, если разстояніе между ямами отличается отъ 250 саж.[1]), такъ какъ на длинныхъ межникахъ роются еще ямы черезъ каждыя 250 саж., а также, если они отличаются и отъ разстоянія ямы до ближайшаго поворота межи на длинной линіи, показанной на планѣ. На мѣсто вѣхи *M* ставятъ инструментъ съ буссолью и опредѣляютъ азимутъ (или румбъ) линіи *MN* и измѣряютъ ея длину; послѣ чего на планѣ по указанному смежеству отыскиваютъ линію имѣющую ту же длину, а направленіе (румбическій уголъ) по величинѣ близко подходящее къ измѣренному; линія, удовлетворяющая этимъ условіямъ и будетъ искомая. Если по указанному смежеству имѣются нѣсколько линій, румбы и длина которыхъ близко подходятъ къ измѣреннымъ, то выбираютъ ту изъ нихъ, длина которой ближе всего подходитъ къ измѣренной на мѣстности, ибо румбъ можетъ мѣняться съ измѣненіемъ склоненія стрѣлки. Если на планѣ въ картушѣ значится, что планъ составленъ по истинному меридіану, то разность между румбическими углами, показаннымъ на планѣ и измѣреннымъ на мѣстности, выразитъ склоненіе стрѣлки во время разысканія признаковъ; если же граница нанесена на планъ по магнитному меридіану, то эта разность покажетъ измѣненіе склоненія стрѣлки за время, протекшее со времени составленія плана при первоначальномъ обмежеваніи дачи.

Здѣсь вообще отмѣтимъ себѣ, что если бы, напр., во время межеванія магнитная стрѣлка имѣла направленіе *ns* (черт. 427) и линія *oA* имѣла румбъ сѣверо-востокъ (*NO*: $:60^1/_2{}^0$), а во время разысканія магнитный румбъ той же линіи оказался *NO*: $58^3/_4{}^0$, то разность $60^1/_2 - 58^3/_4 = 1^3/_4{}^0$ указала бы, что стрѣлка уклонилась сѣвернымъ концомъ къ востоку на $1^3/_4{}^0$, занявъ положеніе *n's'* и слѣдовательно всѣ граничныя линіи дачи также измѣнятъ числовыя величины румбовъ противъ записанныхъ на планѣ на эту же величину въ $1^3/_4{}^0$, а именно: числовая величина румбовъ линій съ названіями сѣверо-востокъ (линія *OA*) и юго-западъ (*SW*) линія *OC*, при указанномъ уклоненіи стрѣлки сѣвернымъ концомъ къ востоку, уменьшится, а числовая

[1]) Около 750 шаговъ.

величина румбовъ линій съ названіями NW и SO, т. е. линіи OB и OD—увеличится. Сдѣлавъ каждый разъ подобное соображеніе и перечисливъ всѣ румбы плана, продолжаютъ разысканіе границъ далѣе, для чего переносятъ инструментъ въ точку N и, направивъ трубу на M, дѣлаютъ отсчетъ a^0 на лимбѣ, затѣмъ, взявъ величину *внутренняго* угла MNX съ плана (или высчитавъ ее по записанному



Черт. 427.

астролябическому) и, имѣя въ виду, что подпись дѣленій на лимбѣ идетъ по ходу часовой стрѣлки, что межуемая дача лежитъ вправо по ходу и что внутренній уголъ $MNX = a - b$, гдѣ b отсчетъ, дѣлаемый по лимбу при наведеніи зрительной трубы на X, опредѣляютъ величину отсчета $b^0 = a - MNX$ [1]) и устанавливаютъ на него верньеръ по лимбу, закрѣпивъ алидаду, получаютъ по трубѣ направленіе линіи NX. Убѣдившись, что магнитная стрѣлка показываетъ перечисленный румбъ линіи NX, провѣшиваютъ по направленію коллимаціонной плоскости трубы линію, по направленію которой отмѣряютъ отъ N длину $NX = d$, записанную на планѣ и въ концѣ ея забиваютъ колышекъ. Если линія идетъ по мѣстности съ значительными углами наклоненія (большими 2^0), то, воспользовавшись записью на планѣ величинъ этихъ угловъ, вводятъ (придаютъ) поправки къ записаннымъ на планѣ горизонтальнымъ проложеніямъ линіи.

При концѣ отложенной линіи внимательно осматриваютъ мѣстность и смотрятъ,—нѣтъ ли гдѣ вблизи признаковъ бывшей межевой ямы; при разрываніи земли въ такомъ мѣстѣ, на извѣстной глубинѣ, могутъ оказаться камни и уголья, что и подтвердитъ, что здѣсь дѣйствительно была межевая яма, которую и расчищаютъ. По плану, сообразуясь съ мѣстомъ найденной ямы, намѣчаютъ мѣсто бывшаго столба X, отъ котораго назадъ провѣшиваютъ линію

[1]) Напр., ($a = 20^0\,12'$ и $MNX = 240^0\,8'$, то $b = 20^0\,12' - 240^0\,8' = 140^0\,4'$).

XN; а съ точки X продолжаютъ разысканіе границъ, расчистивъ въ лѣсной мѣстности просѣкъ къ X на N. Если же вблизи точки X, замѣченной (по промѣру линіи NX) колышкомъ, никакихъ межевыхъ признаковъ не окажется, то въ точкѣ X устанавливаютъ угломѣрный инструментъ, центрируютъ надъ колышкомъ и приведя инструментъ въ горизонтальное положеніе, отмѣряютъ ранѣе описаннымъ пріемомъ уголъ NXY, свѣряютъ румбъ, отсчитанный по стрѣлкѣ для линіи XY съ перечисленнымъ румбомъ плана отмѣриваютъ вдоль провѣшенной линіи XY ея длину d'. Если и въ Y признаковъ не окажется, то по инструменту отмѣряютъ уголъ XYZ и вѣшатъ линію YZ, на которой лентой отбиваютъ ея длину d''. Допустимъ, что идя отъ точки N по плану, т. е. по внутреннимъ угламъ и мѣрѣ линій, дошли, наконецъ, до точки Z, гдѣ вблизи нея нашлась яма и по ней назначили мѣсто столба Z'. Если невязка ZZ' незначительна, то продолжаютъ разысканіе далѣе, начиная съ точки Z', куда переносятъ инструментъ. Если же разстояніе ZZ' будетъ и значительно по величинѣ, напр., 10 саж., однако не превыситъ $^1/_{200}$ доли пройденнаго периметра $d+d'+d''$, то, прежде чѣмъ продолжать разысканіе далѣе, дѣлаютъ разысканіе признаковъ между Z и N *обратнымъ ходомъ*, причемъ поступаютъ двоякимъ образомъ.

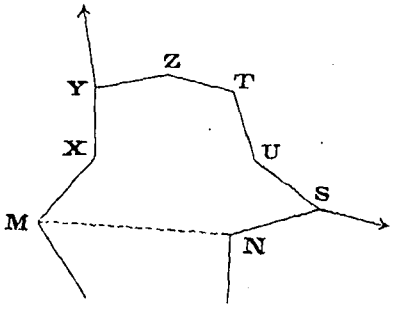
1) Черезъ Z' проводятъ линію $Z'Y'$ параллельную ZY и, по промѣрѣ по ней ея длины d'', ищутъ въ Y'' мѣсто межевыхъ признаковъ, надѣясь на то, что Y'' ближе ляжетъ къ бывшему межевому столбу или ямѣ, чѣмъ Y, такъ какъ невѣрное положеніе Y зависитъ отъ большаго числа и совокупности погрѣшностей проложенныхъ линій отъ N до Y, чѣмъ отъ Z' до Y'' при обратномъ ходѣ, почему и считаютъ, что обратный ходъ можетъ лучше указать мѣста бывшихъ межевыхъ признаковъ. При обратномъ ходѣ нерѣдко и находятъ заплывшія ямы. Послѣ чего отъ Y'' руководствуясь внутренними углами, проходятъ остальныя линіи до N.

2) Измѣривъ румбъ и длину невязки ZZ' уничтожаютъ ее параллельными линіями, подобно тому, какъ это дѣлалось на планѣ, т. е. черезъ Y и X прокладываютъ линіи, параллельныя ZZ', и на YY' и на XX' откладываютъ величины, вычисленныя изъ пропорцій:

$$YY' : ZZ' = (d+d') : (d+d'+d'')$$
$$XX' : ZZ' = d : (d+d'+d'')$$

Такимъ образомъ, если выходятъ, при разысканіи нѣсколькихъ линій, на мѣсто Z сохранившагося знака, то признаки возобновляются въ тѣхъ мѣстахъ Y и X, гдѣ стоялъ инструментъ при прямомъ ходѣ съ N на Z. Если же получается невязка ZZ', то знаки ставятся въ точкахъ Y'' и X', согласно разверстки невязки.

Второй случай. Пусть на межѣ сохранились только двѣ ямы, опредѣляющія мѣста *M* и *N* (черт. 428) межевыхъ столбовъ при нихъ, причемъ вѣха, поставленная въ точкѣ *N*, видна изъ точки *M* или обратно.



Черт. 428.

При опредѣленіи,—какія именно точки плана соотвѣтствуютъ существующимъ на мѣстности *M* и *N*, обращаются съ разспросами къ мѣстнымъ жителямъ о смежныхъ владѣніяхъ и объ указаніи мѣста, гдѣ сходятся три или болѣе владѣнія, т. е. стараются опредѣлить разстояніе сохранившагося знака до такъ называемаго *трехземельнаго пункта*, какъ, напр., пункта *Y*, а равно о разстояніи до существующихъ на межѣ и обозначенныхъ на планѣ естественныхъ предметовъ, какъ-то овраговъ, ручейковъ, дорогъ, каменныхъ построекъ и т. п., или угловъ, образуемыхъ направленіями на колокольни церквей и близлежащихъ заводскихъ трубъ, флагштоковъ зданій, отдѣльныхъ деревьевъ, а равно о приблизительномъ направленіи межниковъ при точкѣ стоянія (если яма сохранилась хорошо и замѣтенъ развалъ вынутой изъ нея земли, то и онъ служитъ къ указанію приближеннаго направленія одного изъ межниковъ).

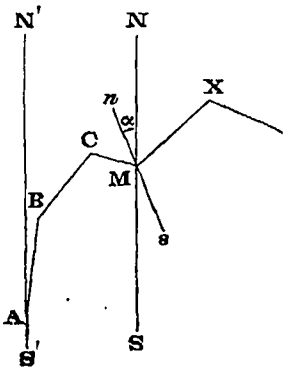
Собравъ всѣ эти свѣдѣнія [1]) и сдѣлавъ всѣ нужныя измѣренія въ натурѣ, включительно до измѣренія румба и длины линіи, *MN*, а также румба линіи межи *MX*, землемѣръ опредѣляетъ по плану,—какія именно точки плана надо принять за сохранившіяся и, измѣривъ по транспортиру румбъ линіи *MN* и высчитавъ по румбамъ *MN* и *XM* уголъ *XMN*, а по масштабу длину линіи *MN*, устанавливаетъ въ точкѣ *M* угломѣрный инструментъ и начинаетъ отъ линіи *MN* вести разысканіе признаковъ такъ же, какъ это дѣлается въ 1-мъ, только что разсмотренномъ нами случаѣ.

Третій случай. На окружной межѣ сохранился одинъ знакъ. Подобно предыдущему случаю стараются опредѣлить изъ разспросовъ мѣстныхъ жителей и изъ собственныхъ измѣреній и соображеній,—какая точка на планѣ соотвѣтствуетъ данной на мѣстности. Дальнѣйшія же дѣйствія сообразуются съ тѣмъ, какъ составленъ планъ, т. е. а) нанесена ли окружная межа на планъ по истинному меридіану, б) окружная межа хотя и наложена по магнитному меридіа-

[1]) Здѣсь особенно ясно выступаетъ значеніе способа Марека и привязки къ постояннымъ предметамъ мѣстности.

ну, но въ картушѣ плана записано склоненіе магнитной стрѣлки, бывшее во время размежеванія и составленія плана межуемой дачи, и в) планъ составленъ по магнитнымъ румбамъ, взятымъ во время межеванія, но склоненіе стрѣлки не указано ни въ картушѣ плана, ни въ межевой книгѣ.

а) Пусть точка M (черт. 429) есть мѣсто столба, намѣченное по сохранившейся ямѣ. Придя въ нее съ угломѣрнымъ инструментомъ, опредѣляютъ направленіе NS истиннаго меридіана оріентируютъ лимбъ нулевымъ діаметромъ по меридіану и отсчитываютъ склоненіе α магнитной стрѣлки. Затѣмъ, пользуясь записаннымъ истиннымъ румбомъ линіи MX, повертываютъ алидаду, а слѣдовательно и коллимаціонную плоскость трубы на уголъ NMX. Провѣшивъ по трубѣ линію MX и отложивъ записанную на планѣ ея длину, получаютъ первую линію разыскиваемой границы.



Черт. 429.

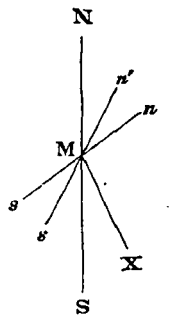
Далѣе поступаютъ по ранѣе описанному. При отсчитываніи по стрѣлкѣ и сличеніи записанныхъ истинныхъ румбовъ съ измѣренными не слѣдуетъ упускать изъ вида, что они будутъ различаться на величину опредѣленнаго склоненія стрѣлки.

Если бы по мѣстнымъ условіямъ оказалось, что необходимыя наблюденія въ точкѣ M сдѣлать затруднительно, а болѣе удобно опредѣлить направленіе истиннаго меридіана $N'S'$ возможно въ точкѣ A, которую легко соединить полигономъ $ABCM$ съ точкою M, то, опредѣливъ азимутъ линіи AB по угламъ поворотовъ B и C, легко высчитать азимутъ линіи CM. Разность азимутовъ $(MC)-(MX)=CMX$, очевидно даетъ уголъ поворота CMX въ точкѣ M.

б) Если окружная межа нанесена по магнитному меридіану и извѣстно склоненіе стрѣлки для времени размежеванія дачи, то извѣстны (ибо ихъ легко высчитать) истинные азимуты (или румбы) всѣхъ линій межи, и слѣдовательно этотъ случай вполнѣ аналогиченъ предыдущему, а потому, опредѣливъ направленіе истиннаго меридіана NS въ точкѣ M и склоненіе α стрѣлки ns, т. е. уголъ $\alpha = NMn$ и взявъ изъ картуши плана величину склоненія NMn' для времени размежеванія, получаютъ уголъ $n'Mn$ равный разности склоненій или иначе измѣненіе склоненія стрѣлки $n's'$ со времени размежеванія дачи до времени разысканія границъ; на величину склоненія легло исправить всѣ записанные румбы на планѣ и сличать ихъ съ получаемыми по стрѣлкѣ при возобновленіи границъ.

в) Если бы оказалось, что склоненіе стрѣлки не было записано только въ межевыхъ документахъ I-ой дачи, для которой разыскиваются межи, то тогда стараются найти его по межевымъ документамъ смежныхъ дачъ, одновременно размежеванныхъ съ той дачей, для которой разыскиваются признаки.

Если же и въ документахъ смежныхъ дачъ склоненіе стрѣлки не найдено, то берутъ въ смежной дачѣ линію съ двумя сохранившимися признаками и измѣряютъ ея румбъ. Сличая измѣренный румбъ съ записаннымъ на планѣ для той же линіи, легко найти (черт. 430) $n'Mn = n'MX - nMX$, т. е. измѣненіе склоненія стрѣлки [1]), на величину котораго можно исправить всѣ магнитные румбы той дачи, для которой возобновляются границы; вслѣдствіе сего *первую линію разыскиваемой межи придется проложить, пользуясь магнитной стрѣлкой, чтобы она*, при вращеніи алидады, *показала перечисленный магнитный румбъ*; напр., во время межеванія записано, что румбъ линіи MX, т. е. $n'MX$ равенъ $NW: 54^1/_4{}^0$; измѣненіе склоненія оказалось къ востоку на $6^8/_4{}^0$. Перечисляемый румбъ будетъ NW $(54^1/_4 - 6^8/_4) = NW: 47^8/_4{}^0$, пользуясь имъ и прокладываютъ первую линію разыскиваемой границы.



Черт. 430.

Четвертый случай. Когда на всей окружной границѣ не сохранилось ни одного знака, тогда приходится начинать разысканіе и возобновленіе границъ отъ сохранившихся знаковъ одной изъ смежныхъ дачъ и вести его до трехземельнаго пункта разсматриваемой дачи. Если же на границахъ смежныхъ дачъ нѣтъ признаковъ, тогда ищутъ на границахъ смежныхъ со смежными или, иначе, на границахъ дачъ такъ называемаго слѣдующаго циркуля.

Возобновленіе межевыхъ признаковъ дѣлается правительственнымъ, на сей предметъ командируемымъ, землемѣромъ. Указаніе же направленія граничныхъ линій, безъ рытья ямъ и постановки столбовъ, безъ расчистки просѣковъ, можетъ быть сдѣлано каждымъ свѣдующимъ лицемъ.

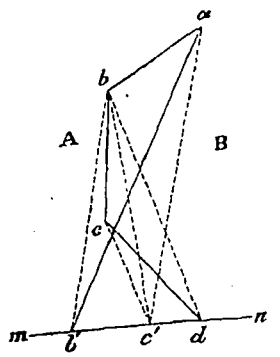
Разысканіе признаковъ иногда дѣлается по магнитной стрѣлкѣ, но возобновленіе направленія границъ между разысканными признаками слѣдуетъ дѣлать по внутреннимъ угламъ между линіями межи.

---

[1]) Лучше, если такихъ линій будетъ взято не одна, а нѣсколько, и измѣненіе склоненія опредѣлится нѣсколько разъ. Среднее ариѳметическое, изъ опредѣленныхъ величинъ, принимается за окончательное.

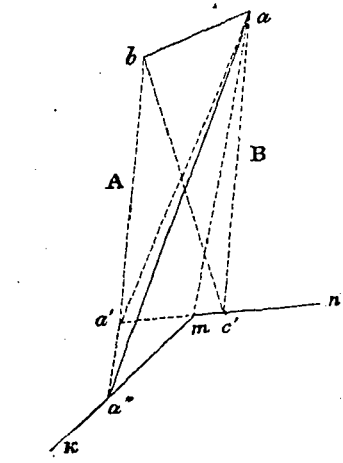
Выпрямленіе границъ участка и дѣленіе площадей фигуръ по заданнымъ условіямъ.

§ 260. Выпрямленіе границъ. Вопросъ о выпрямленіи границы между двумя *равноцѣнными* участками возникаетъ иногда ради удобствъ, сопряженныхъ съ пользованіемъ этими участками въ хозяйственномъ отношеніи, а иногда и ради простоты формы самой границы и легкости ея возобновленія въ случаѣ ея утраты на мѣстности. Пусть, напримѣръ, ломанная линія *abcd* (черт. 431), раздѣляющая два владѣнія, или два *поля*, *A* и *B* упирается въ прямую линію *mn* и намѣчается къ замѣнѣ ея одною прямою, выходящею изъ точки *a*. Задача разрѣшается сперва дома, на планѣ, чисто геометрическимъ путемъ, а именно: соединивъ двѣ вершины *d* и *b* полигона *dcba*, черезъ пропущенную точку *c* проводятъ параллель *cc'*, прямая *bc'*, соединяющая точку *c'* съ *b*, замѣнитъ ломанную *bcd*. Съ ломанною линіею *adc'* поступаютъ совершенно такъ же, какъ и съ *bcd* т. е. соединяя *c'* съ *a*, проводятъ сперва *bb'* ∥ *ac'*, а затѣмъ, соединяютъ *b'* съ *a*. Прямая *ab'* и будетъ новою *спрямленною* границею, вмѣсто ранѣе существовавшей ломанной *abcd*. Въ полѣ придется лишь отмѣрить отъ точки *d* взятую съ плана длину *db'* вдоль данной прямой *ndm* и провѣшить прямую *ab'*, пользуясь угломъ *db'a* при точкѣ *b'*, въ томъ случаѣ, если мѣстность закрытая, и высчитывая его по румбамъ линіи *nm* и линіи *b'a*, измѣреннымъ также по плану.



Черт. 431.

Въ томъ случаѣ, когда прямая *nm* мѣняетъ въ точкѣ *m* свое направленіе и переходитъ въ прямую *mk* (черт. 432), можетъ оказаться, что, при замѣнѣ ломанной *abc'* прямой, параллель къ *ac'* пересѣчь прямую *nm* не можетъ, такъ какъ точка *m* остается вправо отъ этой параллели, тогда слѣдуетъ *mn* продолжить и сперва найти точку *a'*. Линія *aa'* замѣнитъ ломанную *abc'*, и граница приметъ видъ ломанной линіи *aa'm*; послѣ чего останется эту ломанную линію *aa'm* замѣнить прямой *aa''*, проведя предварительно *a'a''* параллельно *am*. При рѣшеніи этой простой задачи, какъ

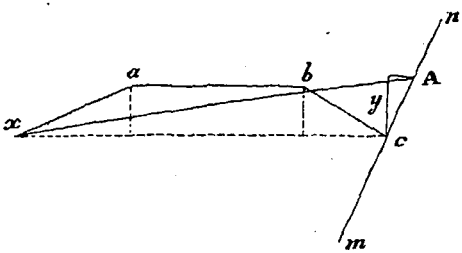


Черт. 432.

извѣстно, площади отрѣзковъ отъ участка A равняются площадямъ прирѣзковъ къ площади участка B.

Для проведенія параллельныхъ линій на планѣ можно пользоваться съ большимъ удобствомъ параллельной линейкой Зарубина т. е. линейкой на двухъ ролликахъ, сидящихъ на общей оси.

Если же при рѣшеніи той же задачи желали бы избѣжать графическаго рѣшенія, зависящаго отъ точности масштаба плана, то слѣдовало бы ломанную границу $xabc$ (черт. 433) снять въ полѣ методомъ координатъ относительно прямой xc (принимая ее за ось абсциссъ) и, пользуясь промѣрами, занесенными въ абрисъ, вычислить площадь p фигуры $cxabc$. Пусть измѣренная діагональ $xc = d$; тогда, полагая, что xA есть искомая прямая, разрѣшающая нашу задачу, т. е. дающая площадь $\triangle cxA = p$, при основаніи $xc = d$, намъ останется найти высоту y этого треугольника изъ равенства

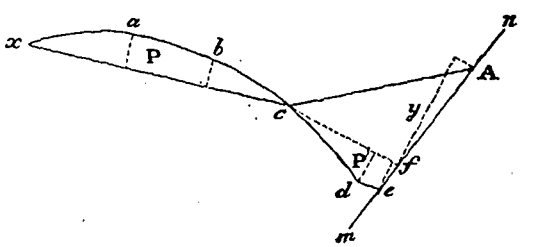


Черт. 433.

$$\frac{1}{2} dy = p, \text{ т. е. } y = \frac{2p}{d},$$

послѣ чего, возставивъ перпендикуляръ къ xc въ точкѣ c, отложить на немъ длину y и черезъ конецъ его провести параллель [1]) къ cx до встрѣчи ея въ точкѣ A съ прямой mn.

Подобнымъ же образомъ можно криволинейную границу $xabcde$ (черт. 434) замѣнить ломанной xcA, для чего необходимо снять кривую $xabc$ относительно прямой xc и высчитать площадь P фигуры $xabc$, а часть кривой cde снять относительно прямой cf, найдя также площадь $P' = cdefc$.



Черт. 434.

Дѣйствительно, такъ какъ площадь P, отрѣзанная отъ владѣнія, лежащаго внизъ отъ кривой $xabc$, *не* равна площади P', прирѣзаемой къ этому же владѣнію отъ сосѣда, лежащаго выше кривой cde, то этому послѣднему надлежитъ прирѣзать разницу $(P - P')$, напримѣръ, прямой cA, при-

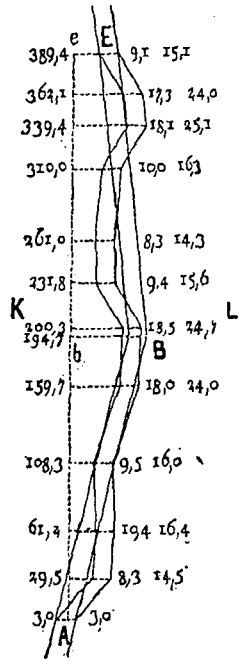
[1]) т. е. возставить перпендикуляръ къ перпендикуляру.

нявъ $cf = d$ за основаніе $\triangle$-ка cfA равнаго по площади $P - P'$ и опредѣляя высоту его y изъ равенства

$$y = \frac{2(P - P')}{d}.$$

Примѣнимъ только что изложенное къ слѣдующимъ двумъ примѣрамъ [1]):

а) Границею между двумя владѣніями K и L (черт. 435) служитъ кривая дорога AE, шириною въ 6 саж., ее нужно спрямить такъ, чтобы начальная ея точка A и конечная E остались безъ измѣненія; изломъ можно допустить только по серединѣ ея, въ точкѣ B; причемъ новое направленіе дороги не только не должно нарушить обоихъ владѣній по площади, но и избытокъ, полученный отъ спрямленія дороги, долженъ быть поровну раздѣленъ между обоими владѣльцами.



Черт. 435.

Пусть взаимное положеніе обѣихъ сторонъ дороги заснято ординатами относительно оси абсциссъ Ae, причемъ числовыя значенія координатъ x и y показаны на чертежѣ; точка A принята за начало координатъ.

Вычислимъ площадь F между прямой Ae и серединою дороги, пользуясь извѣстной намъ изъ § 169 формулой

$$2F = \Sigma(x_{n+1} - x_{n-1})\, y_n;$$

причемъ, подставляя сюда вмѣсто y полусуммы двухъ ординатъ, взятыхъ къ обоимъ краямъ дороги относительно одной и той же абсциссы, напр.,

$$y_1 = \frac{14{,}5 + 8{,}3}{2},$$

мы дѣлитель 2 отнесемъ къ лѣвой части равенства, такъ что, послѣ суммированія соотвѣтствующихъ произведеній, получимъ площадь $4F$.

$y_1 (x_2 - x_0) = 22{,}8 \times 61{,}2 = 1395{,}36.$
$y_2 (x_3 - x_1) = 26{,}8 \times (108{,}3 - 29{,}5) = 26{,}8 \times 78{,}8 = 2111{,}84$
. . . . . $25{,}5 \times 98{,}5 = 2511{,}75.$
. . . . . $42{,}0 \times 92{,}0 = 3864{,}00.$
$y_5 (x_6 - x_4) = 43{,}2 \times 72{,}1 = 3114{,}72.$
$y_6 (x_7 - x_5) = 25{,}0 \times 60{,}7 = 1517{,}50.$
. . . . . $22{,}6 \times 78{,}2 = 1767{,}32.$
. . . . . $26{,}3 \times 78{,}4 = 2061{,}92.$

---

[1]) См. *F. G. Gauss.* — Die Teilung der Grundstücke insbesondere unter Zugrundelegung rechtwinkligen Koordinaten.

$$\begin{aligned} &\ldots\ldots\ldots 43{,}2 \times 52{,}1 = 2250{,}72.\\ &\ldots\ldots\ldots 41{,}3 \times 50{,}0 = 2065{,}00.\\ y_{11}(x_{12}-x_{10}) &= 24{,}2 \times 27{,}3 = \quad 660{,}66.\\ &\qquad\qquad 4F = 23320{,}79\\ &\qquad\qquad 2F = 11660{,}40. \end{aligned}$$

Согласно заданному условію, поворотъ въ точкѣ B долженъ быть по серединѣ между точками A и E, т. е. абсцисса точки B будетъ $\frac{389{,}4}{2} = 194{,}7$; площадь же F между Ac и серединою новой дороги выразится суммою 2-хъ площадей: $\triangle AbB$ и трапеціи $BEcb$ или, что то же самое, суммой площадей двухъ треугольниковъ ABe и eBE, т. е.

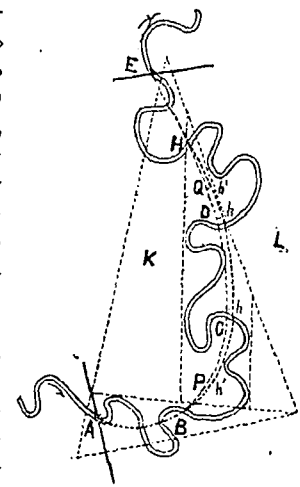
$$Ac \,.\, bB + cE \,.\, be = 2F.$$

Откуда, замѣняя $2F$ черезъ 11660,40, cE черезъ 12,1, bc черезъ 194,7 и наконецъ Ac—черезъ 389,4, найдемъ

$$bB = \frac{11660{,}40 - 12{,}1 \times 194{,}7}{389{,}4} = 23{,}895.$$

Отложивъ ординату bB, получимъ середину B новой дороги, отмѣривъ въ обѣ стороны отъ нея по 3 саж., проведемъ къ линіямъ AB и BE параллели, которыя и дадутъ искомое положеніе выпрямленной дороги, рѣшающее нашу задачу.

b) Если бы отъ A до E (черт. 436) границею между владѣльцами K и L была бы середина довольно извилистаго ручья и нужно было бы выправить ложе ручья, уничтоживъ излучины и придавъ оси ручья видъ плавной кривой, притомъ не только не нарушающей площадей владѣній, но и дѣлящей получающійся избытокъ въ площади отъ замѣны стараго ложа ручья новымъ пополамъ, то задачу приходится рѣшать путемъ послѣдовательныхъ приближеній, а именно:



Черт. 436.

На мѣстности, примѣняясь къ существующимъ обстоятельствамъ (неровностямъ почвы, имѣющимся на лицо зданіямъ и т. п.) и къ заявленію владѣльцевъ, намѣчаютъ примѣрное приблизительно положніе оси новаго ложа ручья и производятъ съемку какъ существующихъ обоихъ береговъ ручья, такъ и проектной кривой линіи. По составленному въ крупномъ масштабѣ чертежу вычисляютъ двѣ площади: F_1 — между проектной линіей и лѣвымъ берегомъ ручья и F_2—проектной линіей и правымъ берегомъ. Если F_1 не равно F_2, то проектная линія намѣчена неудачно: ее

слѣдуетъ передвинуть, чтобы уравнять объ площади. Съ этою цѣлью составляютъ полусумму $F_0 = \frac{F_1 + F_2}{2}$ и опредѣляютъ, которому изъ владѣльцевъ нарѣзано проектной линіей больше противъ слѣдуемой нормы. Допустимъ, что правому владѣльцу L нарѣзано линіею $ABCDHE$ больше на величину $F_1 - F_0 = f$. Тогда подвинемъ эту кривую въ сторону владѣнія K такъ, чтобы ея точки B и H остались на мѣстѣ, а вновь намѣчаемая проектная линія, направляясь отъ D къ C, отошла отъ прежней на одну и ту же величину h, а отъ D къ H и отъ C къ B пошла бы постепенно приближаясь къ первоначальной проектной линіи.

Величину h приближенно найдемъ изъ равенства

$$2f = BC \,.\, h + 2CD \,.\, h + DH \,.\, h,$$

т. е.

$$h = \frac{2f}{BC + 2CD + DH}.$$

Найденную ширину h откладываютъ *полностію* въ любой точкѣ вдоль всей кривой DC, и на нее передвигаютъ первоначально намѣченную проектную линію между точками D и C; для постепеннаго же приближенія новой кривой къ старой, между C и B, въ любой ея точкѣ P кривой BC. а также между D и H, въ любой точкѣ Q кривой DH, высчитываютъ величину h' изъ пропорцій

$$h' : h = BP : BC$$
$$h' : h = HQ : HD.$$

Если бы изъ вычисленій оказалось, что h значительно передвигаетъ намѣченную кривую, то, исправивъ ее вновь провѣряютъ площади F_1 и F_2 отсѣкаемыя проектной линіей отъ каждаго изъ владѣльцевъ, дабы путемъ послѣдовательныхъ приближеній намѣтить кривую, дающую незначительную величину f, а слѣдовательно и h, а также и h'.

Дѣленіе площадей.

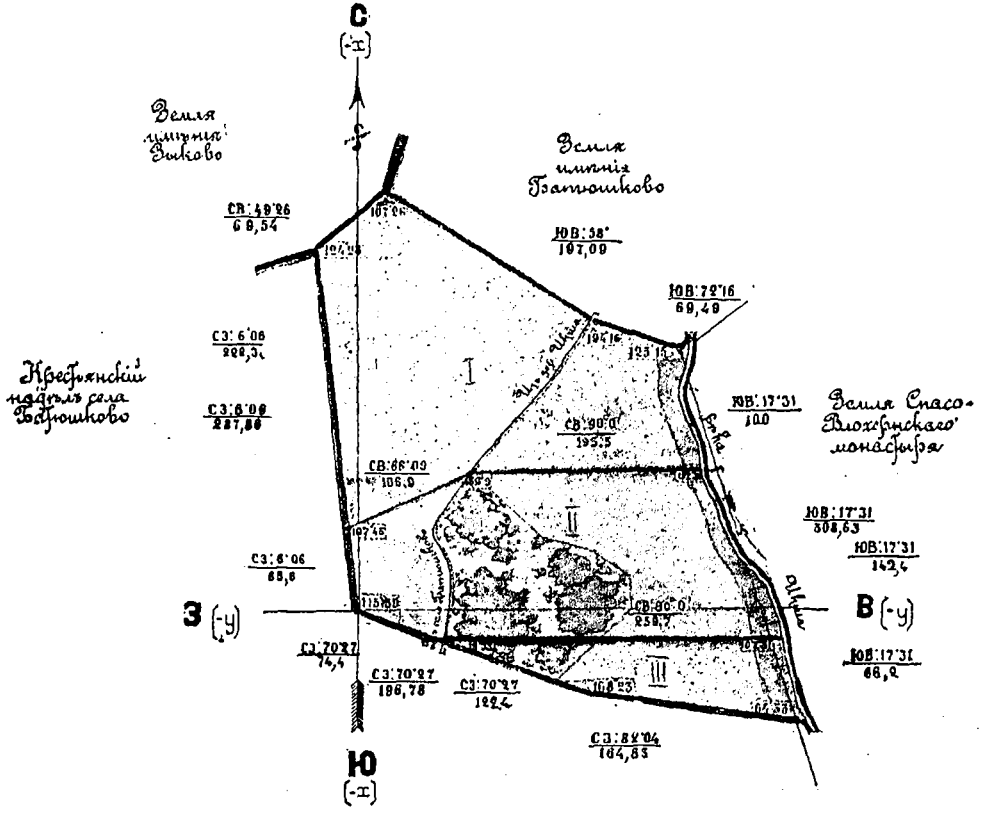
§ 261. Дѣленіе площадей совершается обыкновенно по заданнымъ условіямъ владѣнія; при этомъ обыкновенно принимается во вниманіе цѣнность отдѣльныхъ угодій (пашни, луга, лѣса, выгона и т. п.). Цѣнность (иначе качество) угодья можетъ быть дана *абсолютная* въ видѣ стоимости одной его квадратной единицы, напр., десятины или въ видѣ дохода, получаемаго съ нея, въ денежныхъ знакахъ (въ рубляхъ), въ урожаѣ зерна, въ укосѣ сѣна и т. п., или же качество дается *относительное* въ единицахъ площади другого угодья, напр., 3 десятины пашни равняются, по своей стоимости, одной десятинѣ лѣса, т. е. качество пашни равно $^1/_3$ качества лѣса.

Простѣйшій случай дѣленія площади состоитъ въ раздѣлѣ данной площади *одного* какого-либо *угодья въ задан-*

номъ геометрическомъ отношеніи и, слѣдовательно, въ этомъ случаѣ дѣленіе совершается, не принимая во вниманіе качествъ угодій.

Условія раздѣла могутъ быть весьма разнообразны и даются самими владѣльцами, то же самое слѣдуетъ сказать и относительно качествъ угодій, хотя эти послѣднія и могли бы быть назначены по правиламъ таксаціи.

Мы остановимся на примѣрѣ, чаще всего встрѣчающемся на практикѣ, выполняя его по плану, приведенному нами въ главѣ объ угломѣрной съемкѣ, а именно разсмотримъ дѣленіе пустоши Адамовки (черт. 437), со-



Черт. 437.

стоящей изъ 16 десятинъ 2228 саж. пашни, 14 десятинъ 1293 саж. выгона, 6 десятинъ 668 саж. лиственнаго лѣса, 2 десятины 534 саж. луга и имѣющей подъ проселочной дорогой 692 саж. и полурѣкою 470 саж., всего же 40 десятинъ 1085 саженъ, въ отношеніи 5 : 4 : 1 между тремя владѣльцами съ соблюденіемъ слѣдующихъ условій.

Третьему владѣльцу требуется отдѣлить участокъ въ южной части дачи пустоши Адамовки *одной линіей, параллельной* оси *у*-овъ, т. е. идущей съ Запада на Востокъ.

Между вторымъ и первымъ владѣльцами граница можетъ идти въ видѣ ломанной линіи.

Качества угодій заявлены слѣдующія:

1	десятина	лѣса	стоитъ	45 руб.
1	„	пашни	„	30 „
1	„	луга	„	40 „
1	„	выгона	„	20 „

Задача рѣшается рядомъ попытокъ или графически по плану, или путемъ вычисленія координатъ точекъ раздѣльныхъ межъ.

Самая операція дѣленія можетъ вестись по абсолютнымъ или по относительнымъ качествамъ угодій.

Остановимся сперва на дѣленіи дачи графически по плану, по абсолютнымъ качествамъ.

Прежде всего высчитаемъ стоимость всей дачи пустоши Адамовки; она будетъ слагаться изъ стоимостей:

пашни	16,927	дес.	× 30	руб.	= 507	руб. 81	коп.
выгона	14,539	„	× 20	„	= 290	„ 78	„
лѣса	6,278	„	× 45	„	= 282	„ 51	„
луга	2,222	„	× 40	„	= 88	„ 88	„
					Всего. .	1169 руб.	98 коп.

Изъ этого числа на долю третьяго владѣльца приходится 0,1, т. е. участокъ стоимостью . . . . . = 117 р. — к.

на долю второго 0,4, т. е. уч. стоимостью = 467 „ 99 „

„ „ перваго 0,5, „ „ „ „ . = 584 „ 99 „

Отношеніе владѣній 1 : 4 : 5 Сумма . 1169 р. 98 к.

Раздѣлъ начнемъ съ проведенія сѣверной границы (въ видѣ прямой) для третьяго владѣнія. Участокъ будетъ состоять изъ выгона, лѣса и луга. Средняя цѣнность для одной десятины ихъ $= \frac{45+40+20}{3} = 35$ руб. Общая же стоимость участка высчитана въ 117 руб., а потому приблизительная его площадь будетъ 117 : 35 = 3,343 десят.

Проведя на глазъ отъ конца дороги прямую, параллельную оси *у*-овъ, допустимъ, что она отсѣкла слѣдующія площади, вычисленныя планиметромъ: выгона—2,60 десятины, лѣса—0,70 десят. и лугу—0,50 десят., а всего на сумму (2,60 × 20 руб. + 0,70 × 45 + 0,50 × 40) = 103 руб. 50 к. Не достаетъ на (117 р. — 103 р. 50 к.) = 13 р. 50 к., приблизительно площади, равной (13 р. 50 к. : 35) = 0,386 десятины. Приходится проектированную линію подвинуть, параллельно самой себѣ такъ, чтобы отсѣченная площадь трапеціи, равнялась 0,39 десят.

Вслѣдствіе незначительности самой площади трапеціи, западная и восточная стороны будутъ также малы, и мы примемъ эту трапецію за параллелограммъ; тогда, измѣривъ по плану длину первоначально намѣченной линіи, оказавшейся равной 255 саж., высчитываемъ высоту параллелограмма = 0,386 дес. : 255 саж. = 886 саж. : 255 = 3,50 саж.

Взявъ ее по масштабу и отложивъ на перпендикулярѣ къ первоначально намѣченной граничной линіи, проводимъ параллель къ этой послѣдней и вновь вычисляемъ отсѣченныя площади; пусть оказалось, что теперь отсѣчено:

лѣсу = 0,780 дес.,	по	45	р.	за	десят.	на сумму	35,10 руб.
выгону = 2,885 „	„	20	„	„	„	„	57,70 „
лугу = 0,604 „	„	40	„	„	„	„	24,16 „
							116,96 руб.

недостаетъ на 4 коп.

Такой нехваткой обыкновенно пренебрегаютъ.

Для раздѣла оставшейся части между вторымъ и третьимъ владѣльцами мы также сперва проведемъ линію, параллельную оси y-овъ, до встрѣчи ея съ западной граничной линіей (СЗ : 6° 06′ длиной 287,86), чтобы она примѣрно отдѣлила второму владѣльцу площадь стоимостью въ 467 р. 99 коп. при среднемъ качествѣ въ 35 руб. или 467 руб. 99 к. : 35 = 13,346 десят.

Пусть оказалось, что второму владѣльцу проектной линіей отсѣчено:

лугу — 0,90 дес.	× 40	руб. =	36	руб.	
выгону — 6,55 „	× 20	„ =	131	„	
пашни — 3,58 „	× 30	„ =	107	„	40 к.
лѣсу — 5,48 „	× 45	„ =	246	„	60 „
		Всего на	521	руб. —	к.
		Слѣдовало же отрѣзать на	467	„	99 „
		Излишне отрѣзано на	53	руб. 01	к.

Этотъ избытокъ выключимъ изъ пашни.

По площади онъ будетъ 53 руб. 01 к. : 30 = 1,77 десятины; сдѣлавъ изломъ границы въ точкѣ встрѣчи проектной линіи съ дорогой, находимъ, что отсѣкаемый треугольникъ будетъ имѣть площадь p = 1,77 дес. и по плану основаніе a, равное 100 саж., и слѣдовательно его высота y будетъ опредѣляться формулою

$$2p = a \cdot y \qquad \text{или} \qquad y = 2p : a,$$

т. е.

$$2 \times 1{,}77 \text{ дес.} : 100 = 84{,}96 \text{ саж.}$$

Построивъ эту высоту, черезъ точку отложенія проводимъ линію, параллельную основанію до встрѣчи ея съ линіей СЗ : 6° 06′; точка встрѣчи и будетъ искомой вершиной отсѣкаемаго треугольника.

Провѣривъ затѣмъ площадь, оставшуюся на долю перваго владѣльца, т. е.

пашни	15,14 × 30 =	454	р. 20	к.
выгону	5,10 × 20 =	102	„ —	„
лугу	0,72 × 40 =	28	„ 80	„
		585	р. —	к.

убѣждаемся, что раздѣлъ сдѣланъ правильно.

Сдѣлаемъ дѣленіе той же дачи пустоши Адамовки, принимая во вниманіе *относительныя качества* угодій и примемъ за единицу не рубль, а десятину земли лучшаго качества, т. е. лѣса. Относительныя качества угодій будутъ: для лѣса — 1, для пашни — $\frac{30}{45}=\frac{2}{3}$, для луга — $\frac{40}{45}=\frac{8}{9}$ и для выгона — $\frac{20}{45}=\frac{4}{9}$.

Пересчитаемъ теперь площадь каждаго угодья, выражая его эквивалентнымъ количествомъ десятинъ лучшей земли (лѣса);

пашни	16,927 дес.	× 2/3 =	11,285	дес.
выгона	14,539 „	× 4/9 =	6,462	„
луга	2,222 „	× 8/9 =	1,975	„
лѣса	6,278 „	× 1 =	6,278	„
Всего	39,966		26,000	дес.

Итакъ 39,966 десятинъ земли разнаго качества можно считать соотвѣтствующими 26,000 десятинъ лучшей земли.

Раздѣлъ совершается въ отношеніи 5 : 4 : 1; слѣдовательно

на долю	3-го	владѣл.	приходится	2,600 дес.	лучш. земли.
„ „	2-го	„	„	10,400 „	„ „
„ „	1-го	„	„	13,000 „	„ „
				26,000 дес	

Третьему владѣльцу отсѣкаемъ площадь изъ разсчета что въ составъ его владѣній войдутъ земли трехъ качествъ: 1, 8/9 и 4/9, дающія землю средняго качества въ

$$(1+\tfrac{8}{9}+\tfrac{4}{9}):3=\frac{21}{9}:3=\frac{7}{9}.$$

Такой земли средняго качества надо нарѣзать

$$\left(2{,}600 : \frac{7}{9}=3{,}343\right)$$

десятины. Проведя на глазъ (приблизительно) прямую, параллельную оси *y*-овъ и отдѣляющую площадь въ 3.343 дес. вычисляемъ планиметромъ точно, сколько именно отрѣзала проектная линія; пусть оказалось, что выгона отдѣлено 2,60 десятины, лѣса—0,70 десятины и лугу—0,50 десятины.

Перечисливъ ихъ въ десятины лучшаго качества, находимъ:

выгона	2,60 × 4/9 =	1,156	дес. лѣса.
лѣса	0,70 × 1 =	0,700	„ „
лугу	0,50 × 8/9 =	0,444	„ „
	Всего. . .	2,300	дес. лѣса.
	Слѣдовало отрѣзать	2,600	„ „

Не достаетъ 0,300 десятины лучшей земли или земли средняго 7/9 качества не достаетъ 0,386 десятины.

Далѣе поступаютъ такъ же, какъ и при дѣленіи дачи по абсолютнымъ качествамъ, т. е. находятъ высоту y параллелограмма съ площадью въ 0,386 дес.= 886 □ саж. и съ основаніемъ въ 255 саж. (длина первоначальной проведенной проектной линіи), т. е. въ (936 : 255) = 3,5 саж.

Найдя высоту y, построивъ ее и проведя новую проектную линію, параллельную первой, повторяютъ снова вычисленіе отрѣзанныхъ ею площадей планиметромъ, послѣ чего перечисляютъ ихъ на землю лучшаго качества.

Пусть при вторичной попыткѣ отсѣчено:

лѣсу	0,780 дес. × 1 =	0,780	дес. лѣса.
выгону	2,885 „ × 4/9 =	1,282	„ „
лугу	0,604 „ × 8/9 =	0,537	„ „
		2,599	дес. лѣса.
	Слѣдовало	2,600	„ „
	Не достаетъ.	0,001	дес. лѣса.

Такой нехваткой пренебрегаемъ.

Пусть далѣе для раздѣла оставшейся земли между вторымъ и первымъ владѣльцемъ мы провели также линію съ востока на западъ и ею отдѣлили земли:

лугу	0,90 дес. × 8/9 =	0,80	дес. лѣса
выгону	6,55 „ × 4/9 =	2,91	„ „
пашни	3,58 „ × 2/3 =	1,39	„ „
лѣсу	5,48 „ × 1 =	5,48	„ „
	Всего .	11,58	дес. лѣса
	Слѣдуетъ отрѣзать. . .	10,40	„ „
	Излишне отрѣзано . . .	1,18	дес. лучшей земли.

Такъ какъ излишекъ можно отдѣлить отъ пашни, сдѣлавъ при дорогѣ изломъ границы, то 1,18 десятины лучшей земли равны $\left(1{,}18 : \frac{2}{3}\right) = 1{,}77$ десятины пашни, такъ какъ качество одной десятины = 2/3 качества лѣса. Приравнявъ 1,77 дес. равной площади треугольника, который слѣдуетъ отсѣчь отъ второго владѣльца и смѣривъ по плану основаніе (отъ дороги до западной границы) и найдя его равнымъ 100 саж., находимъ высоту y треугольника, равной

$(2 \times 1{,}77$ дес.$) : 100 = 84{,}96$ саж. Построивъ y, проводимъ вторую граничную линію между вторымъ и первымъ владѣльцемъ.

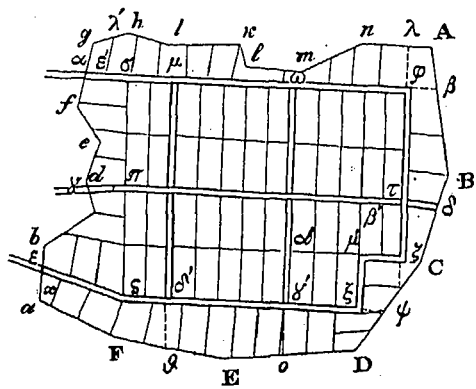
Провѣряемъ число десятинъ, оставшееся на долю перваго владѣльца, находимъ:

пашни $15{,}14 \times {}^{2}/_{3} = 10{,}093$ дес. лучшей земли.
выгону $5{,}10 \times {}^{4}/_{9} = 2{,}267$ „ „ „
лугу $0{,}72 \times {}^{8}/_{9} = 0{,}640$ „ „ „
13,000 дес. лучшей земли,

что и убѣждаетъ насъ въ вѣрности произведеннаго раздѣла.

§ **262. Разбивка поля на десятины.** Снявъ въ натурѣ данное поле, накладываютъ его въ крупномъ масштабѣ на бумагу. Проектъ разбивки составляется по плану, на которомъ также должны быть обозначены направленія главнѣйшихъ скатовъ или, еще лучше, нанесены горизонтали. По направленію главнѣйшихъ скатовъ намѣтимъ діагонали отдѣльныхъ десятинъ для уменьшенія быстроты стока воды и уменьшенія размыва полей отъ дождя. Сообразно съ рельефомъ намѣтимъ и направленіе дорогъ, отдѣляющихъ другъ отъ друга такъ называемые *кварталы*, т. е. прямоугольники, содержащіе два ряда по 5 или 6 десятинъ. Дороги намѣчаются шириною въ 1 саж., межники между десятинами—въ 1 или 0,5 арш. Размѣръ десятины 30 саж. на 80 саж., или 40×60 саж., или 48×50 саж. заранѣе указывается самимъ владѣльцемъ. При съемкѣ должны быть опредѣлены углы наклона для введенія поправки въ длины линій за наклонъ.

Пусть снято поле *abghAβBDFa* (черт. 438), которое разбивается на десятины размѣромъ 30×80 саж. по 10 десятинъ въ кварталѣ.



Черт. 438.

На планѣ намѣтимъ прямую $\alpha\beta$ вблизи сѣверной извилистой границы поля по возможности такъ, чтобы цѣлое число неправильной формы десятинъ вдоль нея было наименьшее. Отсѣкая это число не забудемъ прибавить къ нему то количество квадратныхъ саженей, которое необходимо для межниковъ между десятинами, исходя при этомъ изъ расчета, что на каждую десятину въ кварталѣ, состоящемъ изъ 10—12 десятинъ требуется 12—15 кв. саженъ. Затѣмъ подъ прямымъ угломъ къ $\alpha\beta$ проведемъ на востокъ другую прямую линію $\varphi\psi$.

Относительно этихъ линій сперва намѣтимъ дороги и кварталы, а затѣмъ уже перейдемъ къ разбивкѣ отдѣльныхъ десятинъ.

Чтобы намѣтить отдѣльные кварталы шириною по 5 десятинъ, замѣтимъ, что на 5 десятинъ потребуется: 5×30 кв. саж. $+$ на 4 межника между ними по полуаршину каждый,— $-4 \times {}^1/_2$ арш. $= {}^2/_3$ саж., а всего $150^2/_3$ саж.

Отложивъ отъ φ влѣво по линіи $\alpha\beta$ — $152^2/_3$ саж., получаютъ точку ω, отъ нея откладываютъ: сперва 1 саж. на дорогу между кварталами, затѣмъ вновь $152^2/_3$ саж., послѣ чего, получивъ точку μ, еще 1 саж. и, прикинувъ циркулемъ по масштабу длину $\mu\alpha$, намѣчаютъ еще двѣ десятины по 30 саж., т. е. 2×30 саж. $+ {}^1/_2 \times 2$ арш. для двухъ межниковъ, т. е. всего $60^1/_3$ саж. и откладываютъ линію $\mu\sigma = 61^1/_3$ саж.

Черезъ точки ω, μ и σ проводятъ линіи $\omega\gamma'$, $\mu\delta'$ и $\sigma\pi\rho$, параллельныя $\varphi\psi$; на каждой изъ этихъ линій откладываютъ внизъ по $1 + 2 \times 80$ саж. $+ 1$ арш. $= 161^1/_3$ саж., получаютъ линіи $\pi\tau$, отдѣляющую два полныхъ квартала по 10 десятинъ.

Подобнымъ же путемъ намѣтится линія $\rho\delta'\gamma'\xi$, отдѣляющая къ югу еще одинъ полный въ 10 десятинъ и 1 неполный въ 8 десятинъ кварталы. Выведя влѣво отъ границы $ABCD$ дороги, намѣчаютъ на краяхъ полъ отдѣльныя десятины, стараясь, чтобы онѣ не были остроугольны и не удобны для обработки: сначала это дѣлается на глазъ, а затѣмъ путемъ вычисленія опредѣляютъ, куда и на сколько нужно отодвинуть каждый межникъ. Тѣ части на краяхъ поля, гдѣ нельзя выдѣлить полныхъ десятинъ, нарѣзаютъ ${}^1/_2$, ${}^1/_3$, ${}^1/_4$ десятины.

На мѣстности, разбивая проектъ, начинаютъ съ назначенія въ полѣ дорогъ. Взявъ съ плана промѣры $A\beta$ и $g\alpha$ отъ вершинъ A и g, проводятъ дорогу $\alpha\beta$, связавъ двѣ сохи на разстояніи 1 саж. или провѣшивъ линію $\alpha\beta$ и проведя сохою одну борозду, намѣчаютъ вѣхами линію, параллельную съ ней на разстояніи 1 саж. и пропахиваютъ вторую борозду. По линіи $\alpha\beta$ путемъ промѣра намѣчаютъ точки ω, μ, σ и α.

Подобнымъ же образомъ по промѣрамъ $F\vartheta$, Eo, $B\delta$ и $d\gamma$, $C\psi$, ... намѣтятся точки ϑ, o, d, ψ, γ, ...

Провѣшивъ линіи $\mu\vartheta$, ωo, $\varphi\psi$, ... откладываютъ на нихъ 1 саж., $160^1/_3$, еще 1 саж. и проводятъ борозды для дорогъ и межниковъ.

Всѣ нужныя для проведенія дорогъ и межниковъ данныя необходимо *предварительно* подписать на планѣ.

Въ точкахъ μ, ω, φ, τ, μ', δ' . . . можно было бы воспользоваться экеромъ: провѣшивъ и проведя, напр., линію $\delta'\vartheta$, можно было бы затѣмъ промѣрить для контроля линію $E\vartheta$ и ϑF.