

*Вн. Изв.*  
*№ 3.13.*

Инженеръ В. О. Фрейбергъ.

# Стереототеоодолиты и стереокомпараторы.



Изданіе Собранія Инженеровъ Путей Сообщенія.



Казанская, 2.

АДРЕСЪ ДЛЯ ТЕЛЕГРАММЪ: МИКРО — ПЕТЕРБУРГЪ.

ОТДѢЛЕНИЕ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХЪ И ОПТИЧЕСКИХЪ  
ИНСТРУМЕНТОВЪ.



**БИНОКЛИ**

ДЛЯ  
спорта, охоты  
и  
путешествія.

БОЛЬШАЯ  
СВѢТОСИЛА  
и  
пластичность.

ТОЛЬКО ЧТО ВЫШЛИ НОВЫЕ КАТАЛОГИ  
ГЕО 127,  
КОТОРЫЕ ВЫСЫЛАЮТСЯ ПО ТРЕБОВАНІЮ  
БЕЗПЛАТНО.

Инженеръ В. О. Фрейбергъ.

# Стереофототеодолиты и стереокомпараторы.



*Изданіе Собранія Инженеровъ Путей Сообщенія.*

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Т-ва п. ф. «Эл.-Тип. Н. Я. Стойковой». Знаменская, 27.

1911.

## Стереофототеодолиты и стереокомпараторы.

*Точность стереофотограмметрической съемки.*

Стереофотограмметрический способ съемки трудных для трассировки желѣзнодорожной линіи горныхъ мѣстностей примѣняется у насъ въ Россіи уже въ теченіе нѣсколькихъ лѣтъ. Таковыя съемки были впервые примѣнены и разработаны инженерами технического отдѣла Юго-Восточныхъ жел. дорогъ В. А. Виноградовымъ и Л. В. Рейнбергомъ при изысканіяхъ въ пересѣченной мѣстности въ Курской губерніи и дали прекрасные по своей точности и быстротѣ полученія результаты. Далѣе, какъ мнѣ извѣстно, этотъ способъ примѣнялся при изысканіяхъ Амурской жел. дор. инженеромъ В. А. Саханскимъ; истекшимъ лѣтомъ онъ примѣнялся при изысканіяхъ линіи Карсъ-Боржомъ. Несмотря на то, что этотъ способъ не такъ новъ и пріобрѣлъ, въ нѣкоторомъ родѣ, права гражданства наравнѣ съ остальными геодезическими приѣмами съемки, литература русская по стереофотограмметріи крайне бѣдна, а потому мы настоящимъ трудомъ дѣлаемъ попытку ознакомить со стереофотограмметрическими инструментами болѣе широкіе круги инженеровъ. Источниками для составленія его намъ послужили:

1. Die stereophotogrammetrischen Instrumente der Firma Carl Zeiss in Iena von Ingenieur Dr. Th. Dokulil 1909.
2. Die Stereokopie und das Stereoskop in Theorie und Praxis von Prof. Dr. F. Stolze. 1908.
3. „О стѣреофотограмметріи“ проф. С. М. Соловьева.

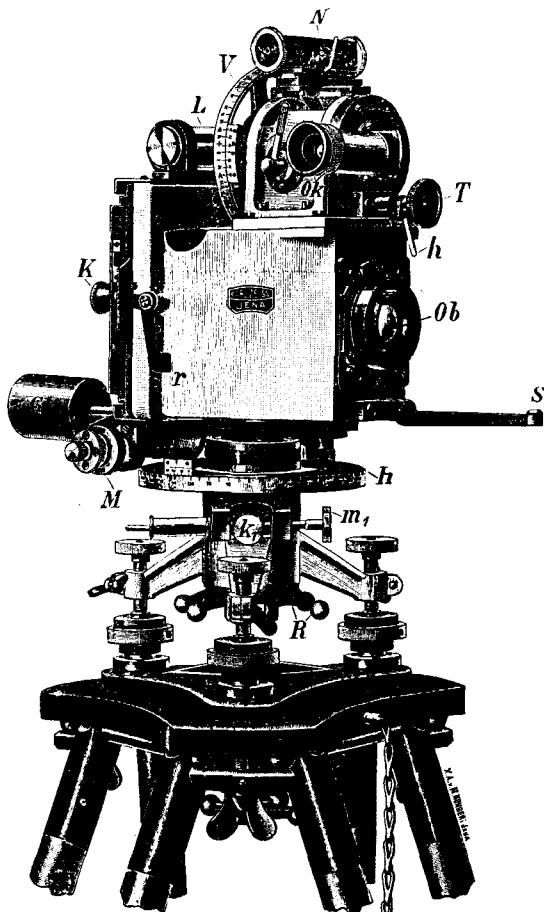
## Основанія стереофотограмметрії.

Если съ двухъ точекъ, разстояніе между которыми измѣрено тѣмъ или инымъ способомъ, сфотографировать какой-либо предметъ, будь то поверхность земли, какое-либо строеніе и т. д., то, зная перспективныя постоянныя примѣненнаго фотографическаго аппарата, положеніе въ камерѣ картинной плоскости, т. е. свѣточувствительнаго слоя фотографической пластинки, мы можемъ изъ двухъ полученныхъ такимъ путемъ снимковъ извлечь необходимыя данныя для опредѣленія величины снятаго предмета, т. е. для полученія его плановъ, поперечныхъ и продольныхъ разрѣзовъ, причемъ мы для этой цѣли можемъ оперировать графически или аналитически. Положеніе картинныхъ плоскостей другъ относительно друга вполнѣ независимо: при любомъ положеніи, при любомъ ихъ наклоненіи мы въ состояніи получить всѣ три координаты любой точки снятаго предмета. Этотъ методъ опредѣленія координатъ, т. е., положенія въ пространствѣ всѣхъ точекъ, опредѣляющихъ форму и размѣры даннаго снятаго предмета, носить названіе „Фотограмметрія“. При фотограмметрическомъ способѣ опредѣленія положенія точки въ пространствѣ, въ основѣ котораго лежитъ извѣстный способъ опредѣленія положенія неприступной точки при помощи измѣреннаго базиса и двухъ прилежащихъ угловъ поступаютъ слѣдующимъ образомъ: на каждой изъ двухъ фотограммъ отыскиваютъ изображенія данной точки и измѣряютъ координаты этихъ изображеній, отнесенныя къ прямоугольнымъ координатнымъ осямъ, лежащимъ въ каждой изъ картинныхъ плоскостей. На основаніи этихъ координатъ, возможно графическимъ или аналитическимъ путемъ получить координаты для опредѣленія положенія точки въ пространствѣ.

### 1. Полевой стереофотоготеодолитъ.

На алидадѣ находится фотографическая камера съ извѣстными перспективными постоянными; она имѣетъ специальное приспособленіе для приведенія въ параллельность съ перпендикуляромъ къ горизонтальной проекціи базы перпендикуляра, опущеннаго изъ центра объектива на картинную плоскость (нормальное разстояніе второй главной

точки Гаусса объектива отъ свѣточувствительнаго слоя). Инструментъ представленъ перспективно на фиг. 1 и въ схематическомъ разрѣзѣ на фиг. 2. На металлическомъ столикѣ устойчиваго штатива поконится также металлическая снаб-



Фиг. 1.

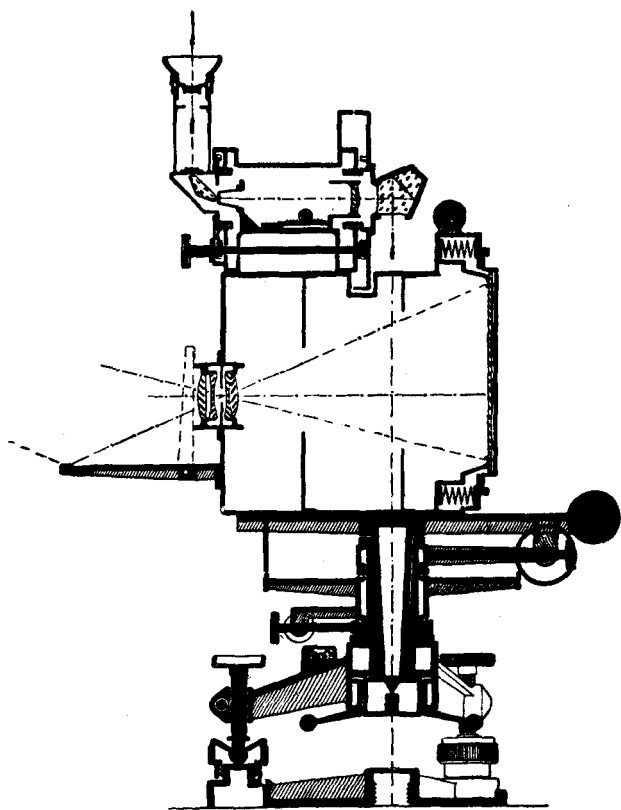
женная ребрами плита съ гайкой для становаго винта. Если ослабить послѣдній, то возможно нѣсколько передвигать инструментъ на штативѣ для окончательной точной установки. Нижняя плита имѣетъ форму треугольника, въ вершинахъ котораго имѣются цилиндрическіе выступы съ

наръзкой, образующіе упоры для подъемныхъ винтовъ треноги. Тренога состоитъ изъ цилиндрической коробки съ прорѣзями въ днищахъ и снабжена выступами, въ которые входятъ подъемные винты. Подъемные винты упираются шарообразными концами въ выступы нижней плиты, вмѣстѣ съ которыми они заключены въ навинчиваемыя на выступы металлическія скорлупки. Для приведенія въ вертикальное положеніе оси вращенія алидады подъемными винтами служить уровень на треногѣ. По приведеніи оси вращенія въ вертикальное положеніе скорлупки завинчиваются и сдвигъ инструмента послѣ этого дѣлается невозможнымъ.

Совершенно особенное значеніе и иной характеръ получаетъ фотограмметрический методъ въ томъ специальномъ случаѣ, когда картинныя плоскости аппаратовъ, помещенныхъ по концамъ одного и того же базиса, приведены въ одну плоскость и вслѣдствіе этого одинаково наклонены къ горизонту и ориентированы относительно базиса. Если еще ограничить положеніе картинныхъ плоскостей, что на практикѣ почти исключительно и имѣетъ мѣсто, условіемъ ихъ вертикальности, то выдѣленный нами изъ общей фотограмметріи специальный случай можетъ быть опредѣленъ какъ таковой, при которомъ общая картинная плоскость обоихъ снимковъ параллельна вертикальной плоскости, проходящей чрезъ базисъ.

Въ этомъ случаѣ перпендикуляры, опущенные изъ центровъ объективовъ на картинную плоскость, параллельны между собой и при примѣненіи одного и того же аппарата или двухъ совершенно одинаковыхъ аппаратовъ, эти величины равны другъ другу и при фотографированіи съ концовъ базиса мыполучимъ два снимка, во всемъ соотвѣтствующихъ двумъ снимкамъ стереоскопического аппарата. Такимъ образомъ, является возможность разсматривать обѣ полученныя фотограммы, какъ обыкновенный стереоскопическій снимокъ, причемъ воспринятая сознаніемъ наблюдателя комбинированная картина представитъ ему дѣйствительность въ уменьшенномъ размѣрѣ, такъ какъ перспективные центры при съемкѣ находились на большемъ другъ отъ друга разстояніи, чѣмъ находятся глазные центры нормального человека: уменьшеніе будетъ пропорціонально отношенію этихъ величинъ.

Этотъ спеціальный случай фотограмметріи, дающій вслѣдствіе стереоскопичности полученныхъ снимковъ возможность проще и точнѣе построить и вычислить размѣры снятаго предмета, выдѣляется въ особую область фотограмметріи— „Стереофотограмметрію“. Вслѣдствіе перечисленныхъ выше преимуществъ, стереофотограмметрія съ каждымъ днемъ



Фиг. 2.

получаетъ все больше значенія, область ея примѣненія все расширяется.

Фирма Карла Цейссъ построила по проекту своего заслуженнаго сотрудника д-ра К. Пульфриха особые приборы, какъ для получения фотограммъ, отвѣчающихъ всѣмъ требованіямъ точности, такъ и для измѣренія по нимъ всѣхъ

необходимыхъ для построения или опредѣленія вычисленіями координатъ точекъ снятаго предмета величинъ.

Ниже мы подробно и систематически опишемъ устройство, конструкцію и дѣйствіе этихъ аппаратовъ.

## I. Стереофототеодолиты.

Стереофототеодолиты построены для слѣдующей цѣли: они должны давать на конечныхъ точкахъ избранной базы одновременно или послѣдовательно два фотографическихъ изображенія предмета при вертикальномъ положеніи и совпаденіи обѣихъ картинныхъ плоскостей, причемъ должны быть извѣстны всѣ перспективныя постоянныя аппаратовъ. Если снимки производятъ съ концовъ базы неодновременно, то можно ограничиться однимъ стереофототеодолитомъ, устанавливаемымъ послѣдовательно по концамъ базы; приспособленный для такой цѣли аппаратъ называется полевымъ стереофототеодолитомъ. Если же вслѣдствіе подвижности снимаемаго предмета или вслѣдствіе подвижности базы (судно, съ котораго производится съемка) невозможно производить снимки послѣдовательно, то необходимо имѣть два аппарата, устанавливаемыхъ въ полѣ или на суднѣ такъ, чтобы ихъ картинныя плоскости занимали надлежащее положеніе; оба снимка должны быть сдѣланы въ одинъ и тотъ же моментъ, что достигается электрическимъ путемъ.

Гайки подъемныхъ винтовъ имѣютъ разрѣзы и при помощи горизонтальныхъ винтовъ могутъ быть прижаты къ подъемнымъ винтамъ, чѣмъ устраняется возможность наклона треноги и достигается вполнѣ надежное и устойчивое соединеніе треноги съ нижней плитой и штативами.

Въ цилиндрическую коробку треноги вставляется полый цилиндръ съ лимбомъ; внизу цилиндра имѣется нарѣзка, при помощи которой и нижняго кольца R весь цилиндръ закрѣпляется на треногѣ. Насадка лимба усматривается изъ фиг. 2; лимбъ раздѣленъ на полуградусы и снабженъ зажимнымъ и микрометричнымъ винтомъ.

Ось вращенія алидады наглухо соединена съ камерой и расположена относительно ранѣе описанныхъ частей инструмента, какъ усматривается изъ фиг. 2; алидада снабжена зажимнымъ и микрометричнымъ винтомъ и нониусомъ.

Ходъ нарѣзки равенъ сотой долѣ разстоянія отъ оси вращенія до оси винта; головка микрометричнаго винта снабжена барабаномъ, раздѣленнымъ по окружности на 100 равныхъ частей, по которымъ поворотъ винта опредѣляется весьма точно.

Сама камера отлита изъ легкаго металла и имѣетъ форму призмы трапециoidalнаго сѣченія; къ передней стѣнкѣ прикрѣпленъ фотографическій объективъ, а къ задней сторонѣ прикрѣплена прижимная рамка для свѣточувствительной пластинки. Фирма К. Цейсъ изготовляетъ стереофототеодолиты двухъ размѣровъ: для пластинокъ  $13 \times 18$  и другой, предназначенный для инженеровъ и топографовъ, для пластинокъ  $9 \times 12$ . Объективъ представляетъ собою тессаръ съ фокусными разстояніями соотвѣтственно въ 180 и 127 м.м., съ равномерною рѣзкостью всего поля, и даетъ правильную центральную проекцію любого предмета на свѣточувствительномъ слоѣ. Этому объективу соотвѣтствуетъ уголъ нѣсколько большій  $45^\circ$ ; такъ что для полной панорамы необходимо съ каждой точки сдѣлать 8 снимковъ, причемъ снимки будутъ захватывать нѣсколько одинъ другой и не будетъ между ними пробѣловъ. Свѣтосила объектива —  $\frac{1}{40}$  для снимковъ съ выдержкой и  $\frac{1}{12}$  для моментальныхъ съемокъ. Объективная доска въ большей модели наглухо скрѣплена съ камерой; въ меньшей модели она подвижна въ вертикальномъ направленіи и передвигается винтами; сдвиги измѣряются съ точностью до долей миллиметра. Этимъ достигается возможность получить на пластинкѣ предметы, расположенные весьма близко къ аппарату на низкихъ горизонтахъ.

Прижимная рамка, къ которой прилегаешь по всему своему периметру свѣточувствительная пластинка, гладко отшлифована. На рамкѣ имѣются марки, опредѣляющія положеніе вертикальной оси снимка и представляющія собою двѣ дырочки діаметрами 1,5 мм., которыя послѣ проявленія появляются на негативѣ въ видѣ двухъ черныхъ точекъ, опредѣляющихъ собою вертикальную ось. Нижняя марка получаетъ при экспозиціи достаточно свѣта, находясь на сторонѣ неба; для освѣщенія же верхней марки передъ объективами находится откидное круглое зеркальце. Для опредѣленія горизонтальной оси не имѣется

марокъ, ея положеніе опредѣляется опытнымъ путемъ при совпаденіи нулей ноніуса и шкалы какъ разстояніе отъ нея до нижней марки; это разстояніе, выраженное въ миллиметрахъ, какъ и марки, получается на проявленной пластинкѣ возлѣ нижней марки. Къ задней сторонѣ камеры примыкаетъ кассетная рамка съ направляющими для вводки кассеты или матоваго стекла; рамка соединена съ камерой кожаными свѣтонепроницаемымъ мѣхомъ; при вдвигеніи кассеты рамка отдалается отъ камеры; затѣмъ кассета открывается, прижимается къ рамкѣ камеры и закрѣпляется въ такомъ положеніи. Кассеты металлическія для пластинокъ изъ зеркальнаго стекла толщиною 1,5 мм. Въ кассетахъ имѣются пружины, которыми пластинки прижимаются къ рамкѣ камеры. Внутри камеры во избѣжаніе вредныхъ рефлексовъ имѣются двѣ діафрагмы. Противовѣсъ *G* устраняетъ односторонность нагрузки вертикальной оси. Наглухо съ аппаратомъ соединенъ ноніусъ для отсчетовъ на лимбѣ; цѣна дѣленія ноніуса 1', такъ что отсчеты можно производить съ точностью до 30".

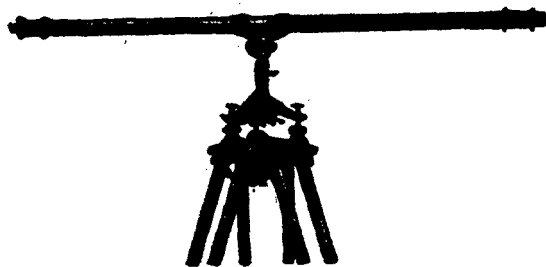
Далѣе, на камерѣ помѣщается подзорная труба съ двойнымъ отклоненіемъ лучей, служащая для ориентировки картинной плоскости и измѣренія горизонтальныхъ угловъ. Визирная линія этой трубы должна неизмѣнно быть параллельной оптической оси объектива. Въ виду этого объективъ и сѣтка монтированы на камерѣ—сѣтка неподвижно, а объективъ можетъ быть передвигаемъ параллельно оптической оси объектива камеры для возможности наведенія на разно удаленные предметы. Въ подставкѣ для сѣтки и объектива покоится винтъ съ двумя шестеренками по концамъ внѣ подставки, дѣйствующими на два цилиндра, вращающихся вокругъ визирной оси подзорной трубы; въ цилиндрѣ со сторонѣ объектива помѣщается пентагональная призма, отклоняющая лучъ, проходящій чрезъ центръ сѣтки и объектива на 90°, приводя его въ плоскость, проходящую чрезъ вертикальную ось вращенія алидады и параллельную поверхности прижимной рамы камеры. Вслѣдствіе такого устройства является возможность приводить въ совпаденіе изображенія точекъ, находящихся на вышеопредѣленной плоскости съ центромъ сѣтки, т. е. поворачиваніемъ всей камеры приводить прижимную плоскость въ положеніе, па-

параллельное вертикальной плоскости, проходящей через точку стоянія инструментъ и любую другую точку пространства.

Этимъ достигается одно изъ основныхъ требованій стереофотограмметрии. Изображеніе на сѣткѣ разсматривается при помощи окуляра одиночнаго отклоненія, который вмѣстѣ съ пентагональной призмой вращается вокругъ визирной оси трубы. Вслѣдствіе такого двойного отклоненія облегчается наводка на избранную точку. Для измѣренія вертикальныхъ угловъ имѣется вертикальный лимбъ съ нониусомъ для отсчетовъ съ точностью до 30". Увеличеніе трубы для большой модели равно 15, а для малой—10. Малая модель снабжена трубчатой буссолью *N* (см. фиг. 1), нулевая линія которой параллельна визирной оси трубы. Камера снабжена уровнемъ, ось котораго перпендикулярна оптической оси объектива.

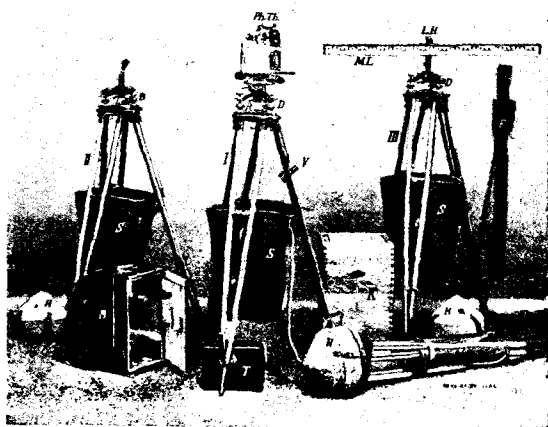
При стереофотограмметрической съемкѣ весьма важно отмѣтить какъ либо противоположный конецъ избраннаго базиса. Достигается это установкой въ этой точкѣ штатива съ треногой, совершенно идентичной той, на которой поκειται камера. Въ коробку треноги вставляется цилиндрическій съ коническимъ заостреніемъ металлическій колышекъ, верхушка котораго при надлежащей установкѣ всего этого прибора будетъ находиться на вертикали, проходящей черезъ конецъ базиса. Во избѣжаніе рефлексовъ верхушка колышка покрашена въ красный цвѣтъ.

Далѣе, необходимымъ инструментомъ для стереофотограмметрической съемки является рейка для опредѣленія длины базиса. Такія рейки существуютъ двухъ родовъ и измѣренія производятся при горизонтальномъ ихъ положеніи. Для разстояній свыше 40 мтр. употребляется рейка, представленная на фиг. 3; она состоитъ изъ трехъ металлическихъ трубокъ



Фиг. 3.

Маннесмана, входящихъ одна въ другую, съ четырьмя кольцеобразными визирными марками треугольнаго сѣченія, окрашенными краснымъ лакомъ во избѣжаніе рефлексовъ. Средняя труба можетъ быть надѣта при помощи муфты съ зажимнымъ винтомъ на визирный колышекъ и имѣть по своимъ концамъ кольцеобразныя визирныя марки, разстояние между которыми равно 1 метру. Двѣ другія трубки имѣютъ по одной визирной маркѣ и выдвигаются изъ средней трубы; общая длина раздвинутой рейки равна между крайними марками 3 метрамъ. Для измѣренія базиса необходимо, чтобы рейка была установлена перпендикулярно къ базису; для этой цѣли въ особомъ кольцѣ между рейкой и муфтой помѣщается небольшая подзорная труба, вращаю-



Фиг. 4.

щаяся около стальной оси, параллельной рейкѣ; визирная ось трубы перпендикулярна оси вращенія. При визированіи на фототеодолитъ, помѣщенный на противоположномъ концѣ базиса, рейка устанавливается перпендикулярно базису. Для измѣренія короткихъ базисовъ съ успѣхомъ можно примѣнить деревянную рейку длиною 1 метръ съ подраздѣленіями на сантиметры, снабженную вмѣсто подзорной трубы простыми доптрами (см. фиг. 4).

На фиг. 4 представленъ весь необходимый комплектъ

инструментовъ для стереофотограмметрической съемки. На этой фигурѣ представляютъ:

I, II, III—три штатива, каждый изъ которыхъ для устойчивости снабженъ мѣшкомъ для нагрузки камнемъ. Для съемки необходимо имѣть два такихъ штатива. На фиг. 4 ихъ имѣется три для того, чтобы показать, какъ разные приборы на нихъ устанавливаются.

D—представляетъ треноги, которыя соединены со штативами; ихъ необходимо имѣть 2 штуки.

Ph. Th.—представляетъ собственно фототеодолитъ, который вставленъ въ треногу и связанъ съ нею при помощи кольца R. Для перевозки фототеодолита во время работъ имѣется деревянный ящикъ B, который при болѣе продолжительной перевозкѣ вставляется еще въ обитый внутри ящикъ K.

Y—представляетъ визирный колышекъ, прикрепленный цѣпочкой къ штативу.

ML представляетъ рейку, насаженную на колышекъ. F—футляръ для рейки.

N представляетъ колпакъ, надѣваемый на треногу при переноскѣ; лежащая на землѣ тренога даетъ понятіе объ упаковкѣ въ дорогу штатива съ треногой.

T—футляръ для трехъ металлическихъ кассетъ и запасныхъ пластинокъ.

Для полученія точныхъ результатовъ необходимо, чтобы отдѣльныя части фототеодолита были соединены между собою наглухо, причемъ фототеодолитъ долженъ удовлетворять слѣдующимъ требованіямъ:

1) Плоскость прижимной рамки и прямая линія, проходящая чрезъ марки, должны быть параллельны оси вращения фототеодолита.

2) Перпендикуляръ, опущенный изъ 2-го главнаго центра объектива на картинную плоскость или плоскость прижимной рамки, при всякомъ положеніи объектива долженъ пересѣкать вертикальную ось пластинки, опредѣленную марками.

3) Визирная ось подзорной трубы должна быть параллельна оптической оси объектива и должна пентагональною призмой отклоняться въ точкѣ пересѣченія визирной оси съ осью вращения фототеодолита на  $90^\circ$  въ плоскость, параллельную прижимной рамѣ.

Въ виду того, что вывѣрка инструмента въ полѣ по всѣмъ вышеперечисленнымъ пунктамъ весьма затруднительна, а между тѣмъ точность должна быть безусловная, то фирма К. Цейссъ соединяетъ всѣ отдѣльныя части фототеодолита настолько тщательно и такимъ образомъ, что вслѣдствіе перевозки и употребленія не могутъ произойти перемѣщенія частей; вслѣдствіе этого при фототеодолитѣ и не имѣется никакихъ особыхъ приспособленій для его вывѣрки.

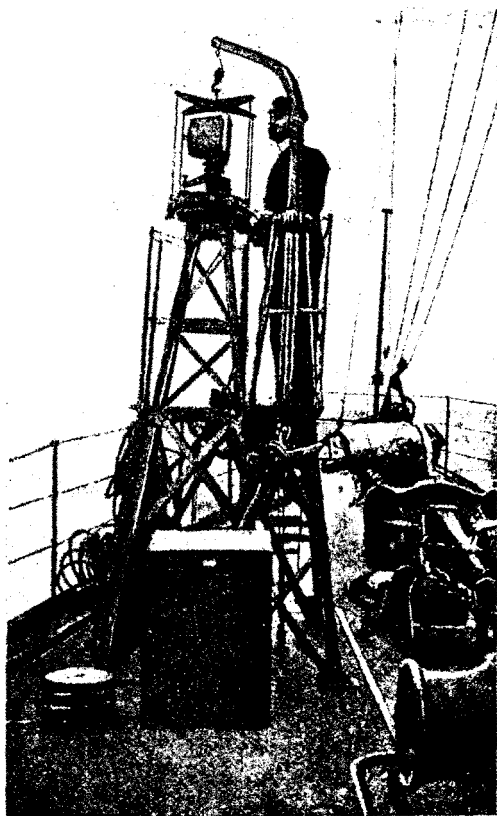
Способъ употребленія вышеописаннаго инструмента для стереофотограмметрической съемки таковъ. Концы избраннаго базиса обозначаются колышками. Надъ однимъ изъ колышковъ устанавливается штативъ съ камерой, а надъ другимъ — штативъ съ треногой, визирнымъ колышкомъ и рейкой. Сначала измѣряютъ длину базиса, визируя послѣдовательно на марки рейки и опредѣляя число оборотовъ микрометричнаго винта алидады фототеодолита. Если число оборотовъ въ дѣленіяхъ барабана равно  $d$ , длина рейки  $Z$ , а длина базиса  $D$ , то

$$D = \frac{10.000 Z}{d}.$$

Послѣ опредѣленія длины базиса рейку снимаютъ и ориѣнтируютъ фототеодолитъ, для чего центръ сѣтки подзорной трубы наводятъ на вершину визирнаго колышка на другомъ концѣ базиса и закрѣпляютъ въ такомъ положеніи алидаду. Послѣ этого измѣряютъ уголъ наклоненія визирной оси подзорной трубы, направивъ ее на верхушку визирнаго колышка. По горизонтальному разстоянію и углу опредѣляемъ разности высотъ установки инструментовъ. Послѣ ориентировки слѣдуетъ произвести фотографическіи снимокъ. Затѣмъ слѣдуетъ произвести тѣ же операціи на другомъ концѣ базиса; въ результатъ мы получимъ два фотограмметрическихъ снимка, удовлетворяющихъ всѣмъ поставленнымъ требованіямъ. Слѣдуетъ только еще замѣтить, что во время обѣихъ съемокъ штативы стоятъ неподвижно и только камера снимается съ треноги одного штатива и устанавливается на треногѣ другого штатива, чѣмъ достигается экономія во времени и наибольшая точность.

## 2. Постоянные стереофототеодолиты.

Какъ уже раньше было упомянуто, эти инструменты служатъ для производства съемки съ подвижного базиса или съ постояннаго базиса движущихся предметовъ. Въ обонхъ случаяхъ необходимо употреблять два совершенно одинаковыхъ фототеодолита; они должны быть такъ установлены



Фиг. 5.

по концамъ базиса, чтобы прижимныя плоскости совпадали. Постоянные стереофототеодолиты на корабляхъ устанавливаются на специальныхъ желѣзныхъ башняхъ изъ фасоннаго желѣза, соединенныхъ прочно съ корпусомъ судна, какъ показано на фиг. 5. Башни эти должны быть доста-

точно высоки для возможности снять достаточно широкую полосу берега (желательно их высоту доводить до 20—30 метр. надъ водой).

Базису слѣдуетъ придавать возможно большую длину—обыкновенно она опредѣляется длиной судна.

На вышеупомянутыхъ башенныхъ штативахъ устанавливаются фототеодолиты. Последніе состоятъ изъ массивнаго полаго цилиндра съ тремя выступами (см. фиг. 6). Въ два выступа входятъ подъемные винты 1 и 2, а въ третій входитъ наглухо штырь съ шарообразной головкой внизу; въ остальномъ конструкція и закрѣпленіе винтовъ на плитѣ *B* такое же, какъ у полевого стереофототеодолита. Вслѣдствіе такого устройства оптическія оси объективовъ двухъ одинаковыхъ стереофототеодолитовъ всегда устанавливаются въ одной нормальной къ оси вращенія аппаратовъ плоскости, что облегчаетъ послѣдующія вычисленія. Глухой штырь и подъемный винтъ 1 располагаются по прямой параллельной базису. Для того, чтобы нижнюю плиту привести въ нужное положеніе, на башенномъ штативѣ имѣется плита *A*. Плита *B* соединяется съ плитой *A* при помощи трехъ винтовъ, какъ показано на фиг. 6.

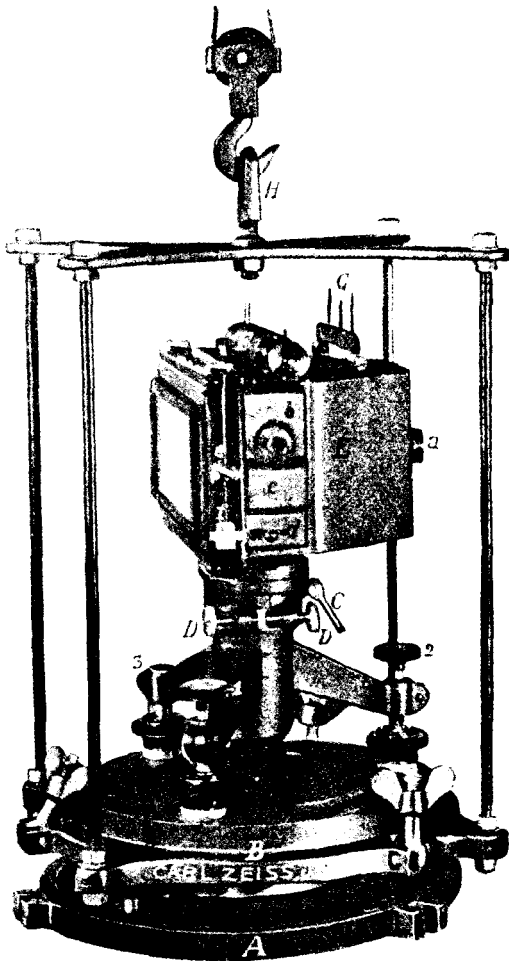
Съ осью, входящей въ вышеупомянутый массивный полый цилиндръ, скрѣплена камера и подзорная труба для ориентировки. Измѣренія базиса не требуется, ввиду чего камера скрѣплена наглухо съ осью лимба. Для закрѣпленія аппарата имѣется кольцевой зажимъ съ ручкой *C* и микрометричные винты *D*.

Фокусное разстояніе объективовъ 240 мм., форматъ пластинокъ 12×30 см., уголъ зрѣнія 64°, такъ что при разстояніи до берега въ 2½ кил. (предѣльное разстояніе для съемки) одинъ снимокъ заключаетъ береговую полосу въ 3 кил. Объективъ укрѣпленъ на камерѣ неподвижно.

Крючекъ *e* служитъ для фиксированія кассеты. Внутри камеры имѣется щелевой затворъ, регулируемый пуговками *b* и *d*.

Контактами *e* затворы обоихъ аппаратовъ включены въ электрическую цѣпь, такъ какъ въ данномъ случаѣ имѣетъ весьма важное значеніе одновременность экспозицій обоихъ пластинокъ; въ противномъ случаѣ величина базиса была бы неопредѣленная и прижимныя поверхности

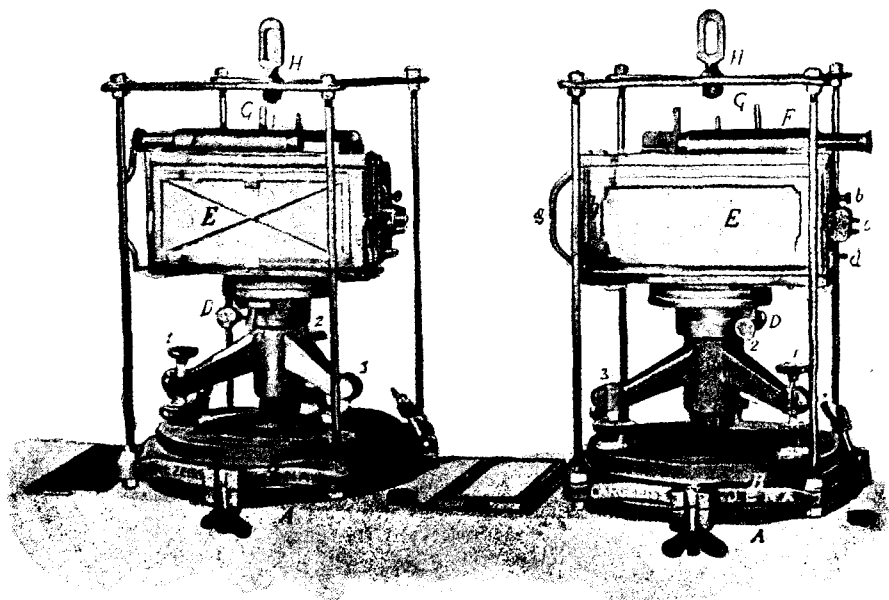
не находились бы въ одной плоскости. Въ остальномъ камера схожа съ таковой для полевого стереофототеодолита.



Фиг. 6.

На камерѣ монтирована визирная труба, оптическая ось которой пересѣкаетъ ось вращения подѣ угломъ въ  $90^{\circ}$  и нормальна къ оптической оси объектива камеры. Объективъ и сѣтка прикрѣплены непосредственно къ камерѣ. На трубѣ

снаружи имѣется ориентировочный бѣлый штифтикъ, совпадающій съ осью вращенія аппарата. На оправу объектива снаружи навинчивается бѣлое лакированное кольцо, концентричное съ трубой. На передней части камеры имѣется три штифика *G*, которые вмѣстѣ съ визирнымъ бѣлымъ штифтикомъ обозначаютъ предѣлы съемки и середину снимка. Послѣ предварительной установки объективы труба должны быть обращены другъ къ другу такъ, чтобы въ каждую трубу было легко замѣтить бѣлое кольцо на объективѣ другой и визировать на него.



Фиг. 7.

Ввиду того, что вывѣрка инструмента во время работы невозможна, то съ нимъ приходится обращаться съ величайшей осторожностью; для этой цѣли къ нижней плитѣ *B* придѣлано 4 стержня, соединенныхъ надъ аппаратомъ металлическимъ крестомъ съ петлей, за которую весь аппаратъ можетъ подхватываться крюкомъ отъ цѣпи, подниматься и устанавливаться на штативной башнѣ безъ сотрясеній. Такое устройство гарантируетъ неизмѣнность взаимнаго расположенія частей, а слѣдовательно и точность работы.

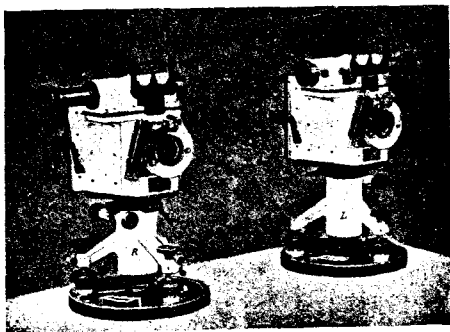
При установкѣ должны быть удовлетворены еще слѣдующія условія:

1) Оси вращенія обоихъ аппаратовъ должны быть параллельны между собою и

2) свѣточувствительныя пластинки должны находиться въ одной плоскости.

Для этой цѣли послѣ предварительной установки инструментовъ трубами взаимно визируютъ на бѣлые объективныя кольца, поворачивая инструментъ и дѣйствуя подъемнымъ винтомъ 1 (см. фиг. 7), и приводятъ такимъ образомъ въ совпаденіе визирныя оси обѣихъ трубъ. Послѣ этого аппараты поворачиваютъ и визируютъ на вершину колышка, находящагося въ равныхъ приблизительно разстояніяхъ отъ аппаратовъ на высотѣ объективовъ, дѣйствуя подъемнымъ винтомъ 2. Повторяя эту установку нѣсколько разъ, добиваются того, что оптическія оси трубъ при любыхъ поворотахъ остаются въ одной общей плоскости, и оси вращенія слѣдовательно параллельны.

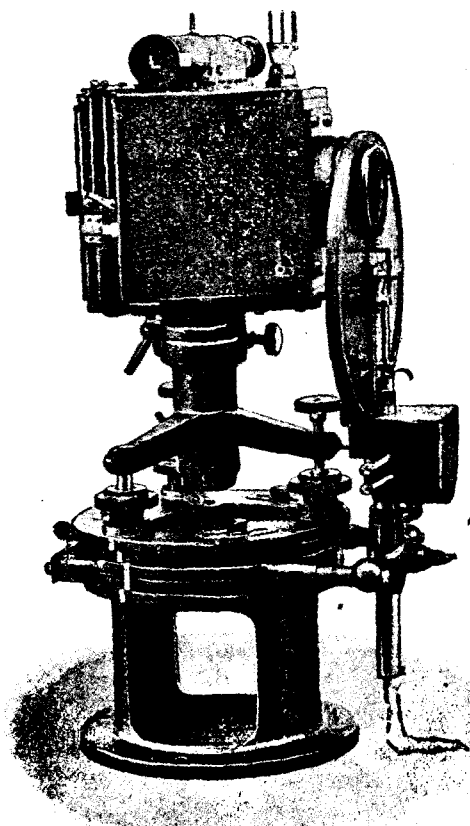
Послѣ этого для окончательной установки передъ съемкой достаточно визировать только на бѣлый оріентировочный шпинецъ другого аппарата, закрѣпить его и произвести съемку.



Фиг. 8.

На фиг. 8 представлено два меньшихъ постоянныхъ стереофототеодолита для пластинокъ  $9 \times 12$  съ фокуснымъ разстояніемъ 127 мм. Затворъ монтированъ непосредственно на объективахъ.

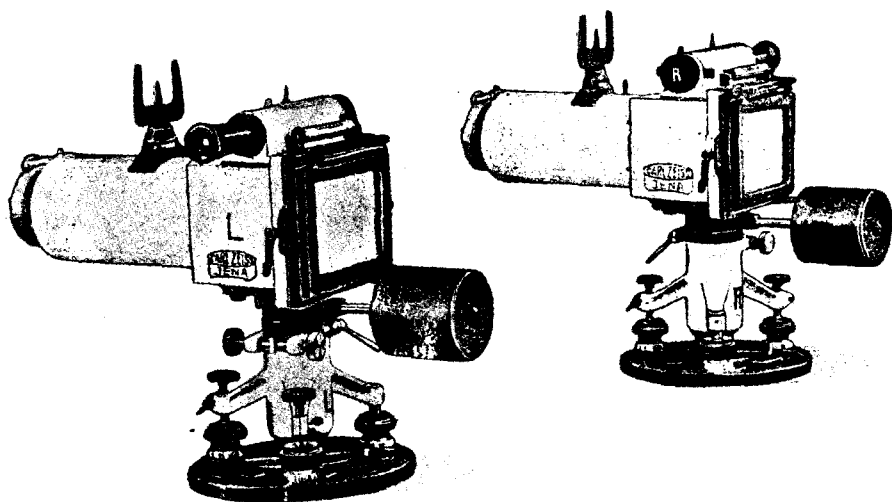
На русскомъ учебномъ суднѣ „Вѣрный“ были установлены стереофототеодолиты, изображенные на фиг. 9, для пластинокъ  $13 \times 18$  см. съ фокуснымъ разстояніемъ объективовъ 181,5 мм. Они устанавливались на деревянныхъ штативахъ, прочно соединенныхъ съ корпусомъ судна.



Фиг. 9.

Объективы снабжены специальными затворами, которые вслѣдствіе своей тяжеловѣсности монтированы на выступахъ металлической подставки; въ дѣйствіе эти затворы приводятся электрическимъ путемъ. Высота объективовъ надъ водой была 5,4 мтр. и длина базиса составляла 54,8 мтр.

Для совершенно иной цѣли были построены стереофото-теодолиты, изображенные на фиг. 10. Они установлены на морскомъ стрѣльбищѣ „Саккорджіана“ около „Полы“ въ Австріи и служатъ для опредѣленія дальности полета орудійныхъ снарядовъ, что необходимо въ виду отсутствія вблизи Полы подходящаго полигона на сушѣ. Мѣсто паденія опредѣляется фотографированіемъ водяного столба, образующагося на поверхности моря при паденіи снаряда. Концы избраннаго для этой цѣли базиса находятся на одинаковой высотѣ надъ уровнемъ моря (31,25 мтр.) въ разстояніи другъ отъ друга въ 696,42 мтр. Стереофототеодолиты установлены на каменныхъ фундаментахъ.



Фиг. 10.

Самые стереофототеодолиты отличаются нѣкоторыми особенностями. Камера состоитъ изъ шестиграннаго ящика съ насаженнымъ на нее цилиндромъ и предназначена для пластинокъ  $9 \times 12$ ; объективъ имѣетъ фокусное разстояніе въ 317,9 мм., которое было выбрано такимъ большимъ въ виду большой дальности полета снарядовъ (до 10 километр.); при опредѣленіи такихъ большихъ разстояній стереоскопическій параллаксъ весьма малъ и можетъ быть съ достаточной точностью полученъ и измѣренъ только вблизи оптической

оси объектива; избранные размѣры объектива и пластинки даютъ уголъ въ  $20^0$ .

Оси вращенія приводятся въ вертикальное положеніе при помощи уровней.

Если необходимо опредѣлить дальность полета снаряда съ какого-нибудь судна, то судно легко можетъ быть установлено такъ, чтобы какъ его изображеніе, такъ и изображеніе водяного столба получилось на обѣихъ пластинкахъ, находящихся въ одной плоскости.

Но эти же аппараты могутъ быть примѣнены и для опредѣленія дальности полета снарядовъ крѣпостныхъ орудій, расположенныхъ нѣсколько ближе къ лѣвому аппарату. Направленіе полета снарядовъ этихъ орудій составляетъ съ направлениемъ базиса уголъ въ  $77^0$  и отклонено влѣво. Чтобы получить при такихъ условіяхъ изображеніе водяного столба на обѣихъ пластинкахъ, аппараты слѣдуетъ изъ нормальнаго положенія отклонить нѣсколько влѣво—правый на  $20^00'15''$  и лѣвый на  $8^001'20''$ . Для точности отклоненія передъ объективами подзорныхъ трубъ помѣщаются призмы, отклоняющія лучи какъ разъ на эти углы.

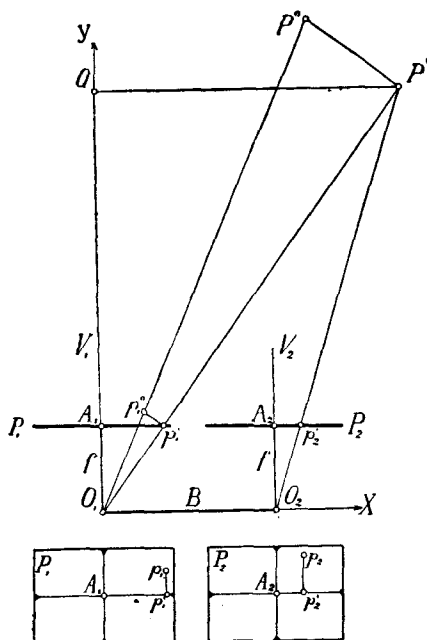
## II. Стереоскопаторы.

Снимки, сдѣланные при помощи описанныхъ выше стереофототеодолитовъ, служатъ для непосредственнаго измѣренія тѣхъ величинъ, которыя необходимы для опредѣленія координатъ точекъ снятаго предмета.

Послѣдующее теоретическое изслѣдованіе покажетъ, какія это величины и какъ ихъ можно использовать для опредѣленія координатъ.

Пусть (фиг. 11)  $O_1$  и  $O_2$  горизонтальныя проекціи перспективныхъ центровъ стереофотограмметрической съемки,  $P_1$  и  $P_2$  оба негатива, которые такъ ориентированы относительно базиса, что ихъ нормальное разстояніе отъ перспективныхъ центровъ равно главному фокусному разстоянію примѣненныхъ для съемки фототеодолитовъ; они должны также находиться въ одной вертикальной плоскости. Пусть вертикальныя плоскости, проходящія чрезъ  $O_1$  и  $O_2$  и перпендикулярныя къ негативамъ, проходятъ чрезъ вертикальныя марки на негативахъ, а горизонтальныя плоскости,

проходящія чрезъ  $O_1$  и  $O_2$ , совпадаютъ съ горизонтальными осями соответственныхъ негативовъ. Тогда лучи, соединяющіе любую точку пространства  $P$  съ центрами  $O_1$  и  $O_2$ , пересѣкутъ негативы какъ разъ въ изображеніяхъ этой точки,  $p_1$  и  $p_2$ . Спроектируемъ теперь изображенія  $p_1$  и  $p_2$ , а также точку  $P$  на горизонтъ центра  $O_1$ ; тогда и проекціи лучей  $O_1 P$  и  $O_2 P$  пройдутъ чрезъ проекціи изображеній точекъ  $P—p_1'$  и  $p_2'$ .



Фиг. 11.

Положеніе проекціи  $p_1'$  и  $p_2'$  опредѣляется абсциссами  $A_1 p_1' = x_1$  и  $A_2 p_2' = x_2$  однозначно. Опредѣлимъ теперь координаты проекціи  $P'$  относительно координатныхъ осей, изъ которыхъ одна совпадаетъ съ базисомъ  $O_1 O_2$ , а другая направлена по перпендикуляру изъ  $O_1$  на негативную плоскость съ центромъ въ  $O_1$ .

Тогда координаты  $O_1 Q = Y$  и  $Q P' = X$  опредѣляютъ положеніе точки  $P$  въ планѣ. Изъ фиг. 11 мы усматриваемъ, что

$$\begin{array}{l} \Delta O_1 Q P^1 \text{ подобенъ } \Delta O_1 A_1 p_1^1 \text{ и} \\ \Delta O_1 O_2 P^1 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \quad \Delta p_1^1 p_2^1 P^1 \end{array}$$

откуда слѣдуетъ, что

$$\begin{array}{l} P^1 Q : Q O_1 = p_1^1 A_1 : A_1 O_1 \text{ и} \\ Q O_1 : Q A_1 = O_1 O_2 : p_1^1 p_2^1. \end{array}$$

Принимая во вниманіе, что

$$p_1^1 p_2^1 = B + x_2 - x_1$$

получимъ:

$$X : Y = x_1 : f \text{ и}$$

$$Y : (Y - f) = B : (B + x_2 - x_1),$$

откуда получаемъ:

$$X = \frac{B \cdot x_1}{x_1 - x_2} \text{ и } Y = \frac{B \cdot f}{x_1 - x_2}.$$

Для опредѣленія числовой отмѣтки точки  $P$  относительно горизонтальной плоскости, проходящей чрезъ центръ  $O_1$ , представимъ себѣ вертикальную плоскость, заключающую точки  $O_1$  и  $P$ , повернутой относительно линіи  $O_1 P'$  на  $90^\circ$  до совпаденія съ горизонтальной плоскостью. Точка  $p_1$  придется тогда въ  $p_1^0$  и разстояніе  $p_1 p_1^0$  будетъ равно разстоянію  $y_1$  изображенія  $p_1$  отъ горизонтальной оси лѣвой фотографии. Искомую величину  $P' P^0$  обозначимъ чрезъ  $h$ .

Изъ подобія треугольниковъ

$$\begin{array}{l} \Delta P^0 P^1 O_1 \propto \Delta p_1^0 p_1^1 O_1 \text{ и} \\ \Delta P^1 Q O_1 \propto \Delta p_1^1 A_1 O_1 \end{array}$$

получимъ

$$\begin{array}{l} h : y_1 = P^1 O_1 : p_1^1 O_1 \text{ и} \\ X : x_1 = P^1 O_1 : p_1^1 O_1 \end{array}$$

откуда

$$\begin{array}{l} h = \frac{y_1 \cdot X}{x_1} \text{ или подставляя} \\ X = \frac{B x_1}{x_1 - x_2} \text{ получаемъ} \\ h = \frac{B \cdot y_1}{x_1 - x_2} \end{array}$$

Величины  $X$ ,  $Y$  и  $h$  представляютъ собою координаты положенія точки въ пространствѣ, которыя могутъ быть опредѣлены для всѣхъ характерныхъ точекъ снятаго пред-

мета; по нимъ могутъ быть построены горизонтальные и вертикальные его разрѣзы.

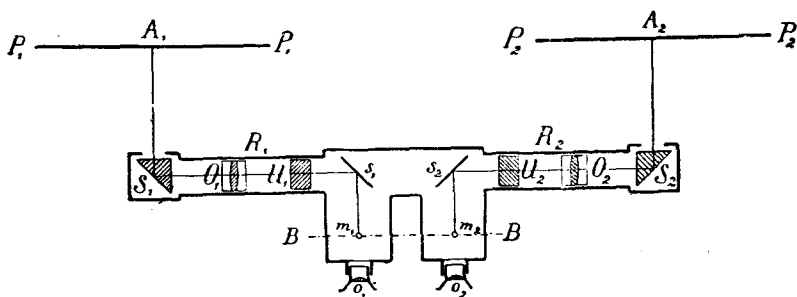
Для вычисленія и построения координатъ  $X_1$ ,  $Y$  и  $h$  необходимо, такимъ образомъ, знаніе величины базиса  $B$ , главнаго фокуснаго разстоянія  $f$  объективовъ фототеодолита координатъ  $x_1$  и  $y_1$  лѣваго изображенія точки относительно горизонтальной и вертикальной оси лѣвой фотографии и разности  $(x_1 - x_2)$  разстояній обоихъ изображеній отъ соответственныхъ вертикальныхъ осей негативовъ. Эта разность  $x_1 - x_2 = a$  является мѣрой сходимости проекцій лучей или параллактическаго угла  $O_1 P' O_2$ .

Эту разность  $x_1 - x_2 = a$  называютъ „стереоскопическимъ параллаксомъ“. Главное фокусное разстояніе для каждого даннаго фототеодолита извѣстно, величина базиса измѣняется непосредственно; такимъ образомъ, измѣреніе пластинокъ должно имѣть цѣлью опредѣленіе величинъ  $x_1$ ,  $y_1$  и  $a$ , каковой цѣли и долженъ удовлетворять стереокомпараторъ.

Изъ предыдущихъ разсужденій вытекаетъ, что для опредѣленія координатъ любой точки пространства необходимо найти на обѣихъ фотограммахъ (соответственныя) изображенія избранной точки снятаго объекта, что сводится къ отождествленію точекъ одной фотографии съ точками другой; такимъ образомъ, приходится рѣшить такую задачу, которая при двухъ плоскихъ снимкахъ, сдѣланныхъ съ различныхъ стоянокъ съ неплоскаго предмета, связана съ большими трудностями и требуетъ много времени. Эти затрудненія обходятся при помощи указаннаго д-ромъ Пульфрихомъ метода; заключается онъ въ томъ, что обѣ фотограммы разсматриваются въ стереоскопъ, въ которомъ онѣ соединяются въ комбинированное пространственное рельефное изображеніе; всѣ необходимыя требованія для возможности подобнаго разсматриванія общихъ фотограммъ въ стереоскопѣ, за исключеніемъ разстоянія между перспективными центрами, которое значительно больше разстоянія между оптическими центрами человѣческихъ глазъ, равнаго прибол. 64 mm.

Такъ какъ длина пластинокъ обыкновенно бываетъ больше 64 mm. и такъ какъ, кромѣ того, между пластинками должно оставаться достаточное пространство для взаимнаго

ихъ другъ относительно друга перемѣщенія, то и разсматриваться они въ обыкновенномъ стереоскопѣ не могутъ. Поэтому ихъ приходится разсматривать въ особыхъ стереокомпараторахъ, построенныхъ по принципу зеркальных стереоскоповъ Гельмгольца; для большаго увеличенія стереокомпараторы снабжены, вмѣсто обыкновенныхъ окуляровъ, микроскопами съ шестикратнымъ увеличеніемъ. Устройство и ходъ лучей въ нихъ показаны схематически на фиг. 12.



Фиг. 12.

Передъ пластинками  $P_1$   $P_1$  и  $P_2$   $P_2$ , лежащими въ одной плоскости, находятся два зеркала  $S_1$   $S_2$ , образующія съ плоскостями пластинокъ уголъ въ  $45^\circ$ . Лучи, исходящія отъ фотограммъ, попадаютъ, отразившись отъ зеркалъ, въ объективы  $O_1$  и  $O_2$ , оптическія оси которыхъ параллельны плоскости пластинокъ; для большей точности и ясности зеркала замѣняются равнобедренными прямоугольными призмами, поверхность гипотенузы которыхъ амальгамирована. Преломившись въ объективахъ  $O_1$  и  $O_2$  и отразившись отъ зеркалъ или призмъ  $s_1$  и  $s_2$ , лучи даютъ въ плоскости  $BB$  изображенія обѣихъ пластинокъ, которыя могутъ быть разсматриваемы бинокулярно чрезъ окуляры  $O_1$  и  $O_2$ . Изображенія такимъ путемъ получаются опрокинутыя; для устраненія этого неудобства между объективами  $O$  и призмами  $s$  включено по дной призмѣ Порро, которая даетъ возможность видѣть изображенія въ такомъ положеніи, въ какомъ находятся пластинки противъ глазъ наблюдателя.

Наблюдатель видитъ въ бинокулярномъ микроскопѣ пространственное изображеніе стереофотограмметрически снятаго предмета, представляющее собою, при условіи параллельности вертикальныхъ осей пластинокъ и при одинаковой высотѣ тождественныхъ частей изображенія пластинокъ относительно общей оптической оси объективовъ  $O_1$  и  $O_2$ , уменьшенную модель снятаго объекта; эта модель во всѣхъ своихъ линейныхъ измѣреніяхъ подобна дѣйствительному предмету, причемъ коэффициентъ подобія зависитъ отъ разстоянія между оптическими центрами глазъ наблюдателя, отъ длины базиса съемки и отъ величины увеличенія микроскопа. Увеличеніе бинокулярнаго микроскопа, какъ слѣдовательно и величина видимаго изображенія, можетъ быть измѣняемо; для этой цѣли объективы  $O$  закрѣплены не наглухо, а подвижно и могутъ измѣнять положеніе вдоль своей общей оптической оси. При помощи индекса соединеннаго съ оправами передвигаемыхъ объективовъ и шкалы на гор. трубѣ (неподвижной) возможно для каждаго даннаго положенія объективовъ видѣть увеличеніе ихъ. При среднемъ положеніи объективовъ, послѣдніе находятся въ двойномъ фокусномъ разстояніи отъ пластинокъ и увеличеніе тогда зависитъ только отъ окуляровъ, фокусное разстояніе которыхъ равно 30 мм.; при наибольшемъ приближеніи объектива къ пластинкамъ—общее увеличеніе восьмикратное, при наибольшемъ удаленіи—четырехкратное.

Объективные трубки  $R_1$  и  $R_2$  соединены съ камерой въ видѣ куба, раздѣленнаго перегородкой на два отдѣленія; въ каждомъ отдѣленіи помѣщено по зеркалу  $s$  и по окуляру  $O$ . Каждый окуляръ имѣетъ въ плоскости  $BB$  марку  $m$ , полученную стереофотограмметрическимъ путемъ на стеклянной пластинкѣ. Установивъ окуляры такимъ образомъ, чтобы правый глазъ видѣлъ ясно марку въ правомъ окулярѣ, а лѣвый глазъ марку въ лѣвомъ окулярѣ, мы увидимъ при параллельности вертикальныхъ черточекъ марокъ одно общее комбинированное изображеніе, производящее впечатлѣніе свободно висящаго въ отдаленіи крестика. Для этого, кромѣ того, необходимо, чтобы разстояніе между центрами окуляровъ соответствовало разстоянію между центрами глазъ наблюдателя; это достигается вза-

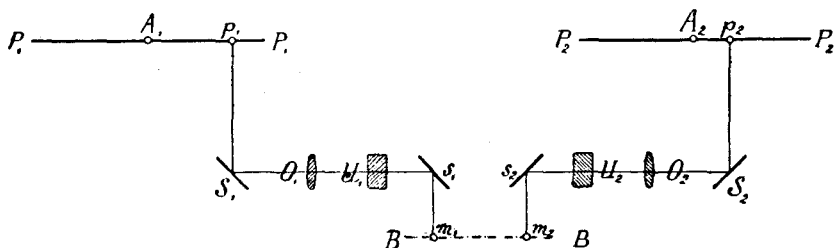
имнымъ передвиженіемъ окуляровъ съ зеркалами  $S$ , скрѣпленными жестко съ соотвѣтственными окулярами.

Въ виду малаго поля зрѣнія микроскопа глазу наблюдателя одновременно доступна только небольшая часть снятаго стереофотограмметрически предмета; вслѣдствіе этого стереокомпараторъ долженъ быть такъ сконструированъ, чтобы передъ зеркалами  $S_1$  и  $S_2$  можно было проводить пластинки, не измѣняя ихъ взаимнаго положенія, или проводить самый микроскопъ-стереоскопъ передъ неподвижными пластинками такъ, чтобы можно было разсматривать любую часть пластинокъ.

При помощи такого бинокулярнаго микроскопа мы имѣемъ возможность опредѣлять величины  $x_1$ ,  $y_1$ , и  $a$  для любой точки простымъ передвиженіемъ пластинокъ. Прежде всего, необходимо достигнуть параллельности вертикальныхъ осей пластинокъ и совмѣщенія верхней осевой точки лѣвой пластинки съ крестикомъ марки лѣваго микроскопа—это достигается монокулярнымъ путемъ. Отсчетъ на масштабѣ, перпендикулярномъ къ вертик. осямъ пластинокъ, даетъ нулевое положеніе лѣвой пластинки  $P_1$ . Ввиду того, что разстояніе отъ верхней осевой точки до горизонтальной оси пластинки дано для каждаго фототеодолита, мы въ состояніи на масштабѣ, параллельномъ вертикальной оси пластинокъ, сдѣлать отсчетъ, соотвѣтствующій положенію марки на горизонтальной оси пластинки. Если теперь разсматривать верхнія осевыя точки обѣихъ пластинокъ бинокулярно, то изображенія обѣихъ осевыхъ точекъ дадутъ изображеніе висящей въ пространствѣ точки, не совпадающей съ таковою марокъ микроскопа; совпаденія этихъ точекъ необходимо достигнуть горизонтальнымъ и вертикальнымъ перемѣщеніемъ правой пластинки.

Измѣренія величинъ  $x_1$ ,  $y_1$  и  $a$ , необходимыхъ для опредѣленія координатъ какой-нибудь точки, можно достигнуть путемъ совмѣщенія частей обѣихъ пластинокъ, содержащихъ данную точку, въ одно стереоскопическое изображеніе вертикальнымъ и горизонтальнымъ совмѣстнымъ передвиженіемъ обѣихъ пластинокъ; если негативы получены со стоянокъ на различныхъ уровняхъ, то кромѣ того необходимо вертикальное перемѣщеніе одной правой пластинки. Рекомендуются произвести совмѣстное перемѣщеніе пла-

стинокъ путемъ монокулярной установки данной точки на лѣвой пластинкѣ противъ крестика марки лѣваго микроскопа. Если теперь взглянуть бинокулярно въ микроскопъ, то мы увидимъ стереоскопическія изображенія марки и данной точки; задача теперь заключается въ совмѣщеніи этихъ точекъ въ пространствѣ, что будетъ достигнуто, когда лѣвая и правая визирныя оси пройдутъ чрезъ соотв. изображенія искомой точки на лѣвой и правой пластинкахъ; относительно лѣваго изображенія это условіе уже соблюдено; *горизонтальнымъ перемѣщеніемъ* одной правой пластинки мы достигаемъ цѣли. Величина этого горизонтальнаго перемѣщенія, какъ усматривается изъ фиг. 13, въ которой



Фиг. 13.

$p_1$  и  $p_2$  два изображенія этой точки, соотвѣтствуетъ искомому стереоскопическому параллаксу  $a$ , между тѣмъ какъ совмѣстное горизонтальное и вертикальное перемѣщеніе обѣихъ пластинокъ дастъ на масштабахъ искомыя величины  $x_1$  и  $y_1$ .

Такимъ образомъ, стереокомпараторъ долженъ имѣть такое устройство, чтобы

1) Полученные путемъ стереофотограмметрической съемки негативы можно было на стереокомпараторѣ укрѣпить въ одной плоскости при условіи параллельности ихъ вертикальных осей.

2) Чтобы находящійся предъ обѣими пластинками микроскопъ-стереоскопъ могъ устанавливаться по глазамъ наблюдателя и чтобы возможно было совмѣщать плоскость изображенія пластинокъ съ плоскостью марокъ.

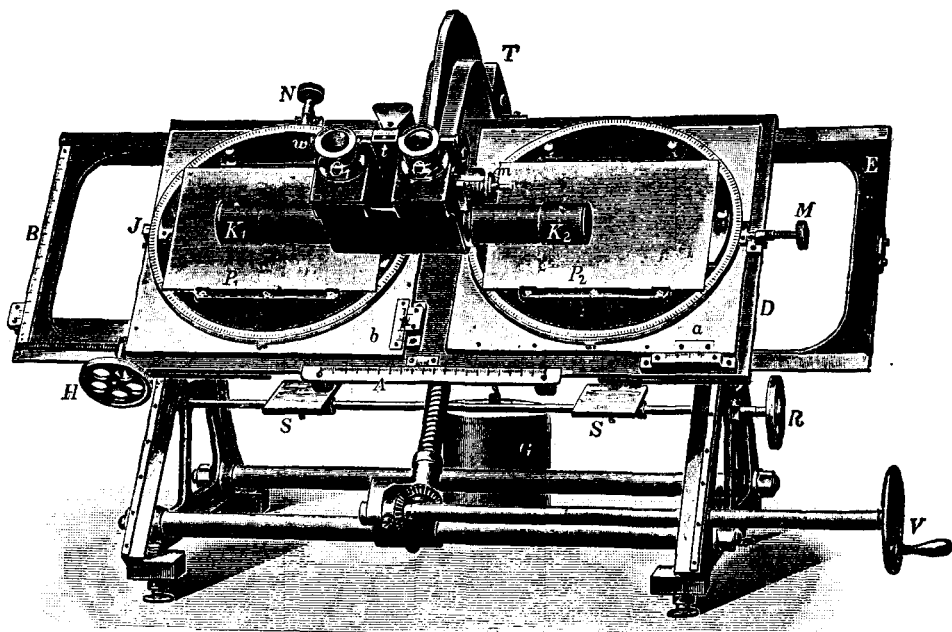
3) Чтобы было возможно совмѣстное параллельное и перпендикулярное къ вертикальнымъ осямъ пластинокъ пере-

мѣщеніе ихъ. Аппаратъ долженъ быть снабженъ масштабами съ ноніусами для возможности измѣренія всѣхъ необходимыхъ перемѣщеній. Подвижность пластинокъ можетъ быть замѣнена подвижностью микроскопа-стереоскопа (опредѣленіе  $x_1$  и  $y_1$ ).

4) Чтобы правую пластинку возможно было независимо отъ лѣвой перемѣщать въ направленіи, параллельномъ и перпендикулярномъ къ ея вертикальной оси, причемъ это перемѣщеніе должно измѣряться тщательно и точно (опредѣленіе стереоскопическаго параллакса  $a$ ).

Фирма Карлъ Цейсъ построила нѣсколько моделей стереокомпараторовъ для различныхъ размѣровъ пластинокъ. Ниже мы опишемъ эти приборы въ порядкѣ ихъ возникновенія.

Первое пробное воспроизведеніе стереокомпаратора представлено на фиг. 14. На станкѣ, который при помощи че-



Фиг. 14.

тырехъ винтовъ можетъ быть прочно установленъ на неподвижной и ровной поверхности, можетъ передвигаться рама *E*. Рама *E* лежитъ на гладко полированной поверхности направляющихъ станка и наглухо соединена съ гайкой отчасти видимаго на фиг. винта. При помощи рукоятки *V* и коническихъ зубчатыхъ колецъ возможно перемѣщать раму *E* вверхъ и внизъ. Это перемѣщеніе измѣряется при помощи масштаба по лѣвому краю рамы *E* и нониуса на выступѣ станка въ миллиметрахъ. Съ рамой *E* соединенъ противовѣсъ *G*, облегчающій ея перемѣщеніе.

Рама *E* имѣетъ горизонтальныя направляющія для передвиженія салазокъ *D* въ горизонтальномъ направленіи при помощи кремальеры и колеса *H*. Измѣряется это перемѣщеніе салазокъ при помощи соединеннаго съ рамой *E* масштаба *A* и прикрѣпленнаго къ салазкамъ *D* нониуса.

Непосредственно на салазкахъ *D* прикрѣпляется лѣвая пластинка *P*<sub>1</sub>. Для этой цѣли на салазкахъ *D* имѣется большое круглое отверстіе, въ которомъ помѣщается круглый дискъ, могущій вращаться въ немъ вокругъ своего центра; на посеребренномъ краю диска имѣется градусное дѣленіе, служащее вмѣстѣ съ индексомъ *J* для измѣренія вращенія диска. Пластинка *P*<sub>1</sub> прикрѣпляется на дискъ при помощи 4 реекъ, изъ которыхъ верхняя и лѣвая подвижны и могутъ быть закрѣплены при помощи прижимныхъ винтовъ. На правой половинѣ салазокъ *D* имѣется приспособленіе для передвиженія помѣщенной тамъ правой пластинки, какъ въ направленіи параллельномъ перемѣщенію салазокъ *D*, такъ и въ перпендикулярномъ къ нему. Достигается это при помощи винтовъ *N* и *M*; перемѣщенія эти измѣряются при помощи масштабовъ и нониусовъ *a* и *b* (винтъ *N* и нониусъ съ масштабомъ „*b*“ надо себѣ представить на правой сторонѣ салазокъ *D*). Правая пластинка *P*<sub>2</sub> помѣщается также на дискѣ, могущемъ вращаться съ измѣреніемъ этого вращенія при помощи градуснаго дѣленія по краю диска. Пластинки *P*<sub>1</sub> и *P*<sub>2</sub> должны имѣть подъ собой просвѣты и въ каждой своей части безпрепятственно освѣщаться снизу при помощи плоскихъ зеркалъ *S*. Зеркала эти помѣщаются на общемъ валѣ и могутъ быть поворачиваемы при помощи колесика *K*; они отбрасываютъ свѣтъ на два находящихся подъ пластинками *P*<sub>1</sub> и *P*<sub>2</sub> матовыхъ

стекла. Для болѣе точной установки и приведенія картинныхъ плоскостей въ одну общую плоскость—правая пластинка можетъ передвигаться въ направленіи перпендикулярномъ къ своей плоскости на нѣсколько миллиметровъ.

Для разсматриванія пластинокъ  $P_1$  и  $P_2$  и для ихъ соединенія въ одно стереоскопическое изображеніе служить микроскопъ-стереоскопъ, покоящійся на выступѣ  $T$ , соединенномъ со станкомъ неподвижно.  $K_1$  и  $K_2$ —объективные трубы,  $o_1$  и  $o_2$ —окуляры, разстояніе между оптическими осями которыхъ можетъ быть измѣняемо при помощи винта  $w$ . При помощи особаго винта микроскопъ можетъ перемѣщаться въ направленіи перпендикулярномъ къ плоскости пластинокъ по направляющей  $t$  и закрѣпляться прижимнымъ винтомъ въ любомъ разстояніи отъ пластинокъ. При этомъ окуляры выдвигаются настолько, чтобы марки были видны совершенно отчетливо, и раздвигаются по глазамъ наблюдающаго, послѣ чего разсматриваютъ лѣвую пластинку однимъ лѣвымъ глазомъ и передвиженіемъ всего микроскопа по направляющей  $t$  приводятъ въ совпаденіе плоскость изображенія съ плоскостью марки и закрѣпляютъ микроскопъ въ этомъ положеніи зажимнымъ винтомъ. Если послѣ этого такое совпаденіе плоскостей имѣетъ мѣсто и въ правой части микроскопа, то картинныя плоскости пластинокъ  $P_1$  и  $P_2$  находятся, очевидно, въ одной плоскости; въ противномъ случаѣ, приходится передвиженіемъ одной правой пластинки въ направленіи, параллельномъ визирной оси окуляровъ, добиться совпаденія плоскости изображенія съ плоскостью марки, а также картинныхъ плоскостей пластинокъ между собою. Этой операціей закончена установка микроскопа.

Фирма К. Цейссъ снабжаетъ правый микроскопъ микрометреннымъ винтомъ, передвигающимъ марку этого микроскопа въ плоскости  $BB$ —см. фиг. 12—и даетъ возможность измѣрить это перемѣщеніе. Измѣреніе разстоянія между марками стереомикроскопа производитъ тотъ же физиологическій эффектъ, какъ и горизонтальное перемѣщеніе пластинки  $P_2$  при помощи винта  $M$ ; такимъ образомъ, стереоскопическій параллаксъ можетъ быть также опредѣленъ микрометрическимъ передвиженіемъ правой марки винтомъ  $m$ . Одному полному повороту винта соотвѣтствуетъ перемѣ-

шеніе марки на 0,2 мм.; барабанъ винта раздѣленъ на 200 частей и даетъ возможность измѣрять параллаксъ съ точностью до 0,001 мм. Слѣдуетъ здѣсь замѣтить, что общая оптическая ось объективовъ и линія, соединяющая центральныя точки крестиковъ марокъ, должны быть строго параллельны направленію передвиженія салазокъ *D*.

Пластинкамъ  $P_1$  и  $P_2$  должно быть придано такое положеніе, чтобы ихъ вертикальныя оси были параллельны направленію передвиженія рамы *E*. Для подобной установки пластинокъ совмѣщаютъ верхнюю марку лѣваго микроскопа съ верхней вертикальной маркой лѣвой пластинки, а марку праваго микроскопа съ верхней вертикальной маркой правой пластинки; указатель микрометреннаго винта „*m*“ при этомъ долженъ стоять на нуль; достигается эта установка совмѣстнымъ вертикальнымъ и горизонтальнымъ перемѣщеніемъ обѣихъ пластинокъ и послѣдующимъ перемѣщеніемъ одной правой пластинки при помощи винтовъ *M* и *N*. Если затѣмъ сдвинуть ручкой *V* раму съ пластинками настолько, чтобы нижнія марки появились въ полѣ зрѣнія микроскоповъ, то при совпаденіи этихъ марокъ съ соотвѣтственными марками микроскоповъ будетъ соблюдено вышеупомянутое условіе параллельности направленія передвиженія рамы *E* и вертикальныхъ осей пластинокъ. Въ противномъ случаѣ необходимо поворачивать пластинки до тѣхъ поръ пока означенное совпаденіе не будетъ достигнуто.

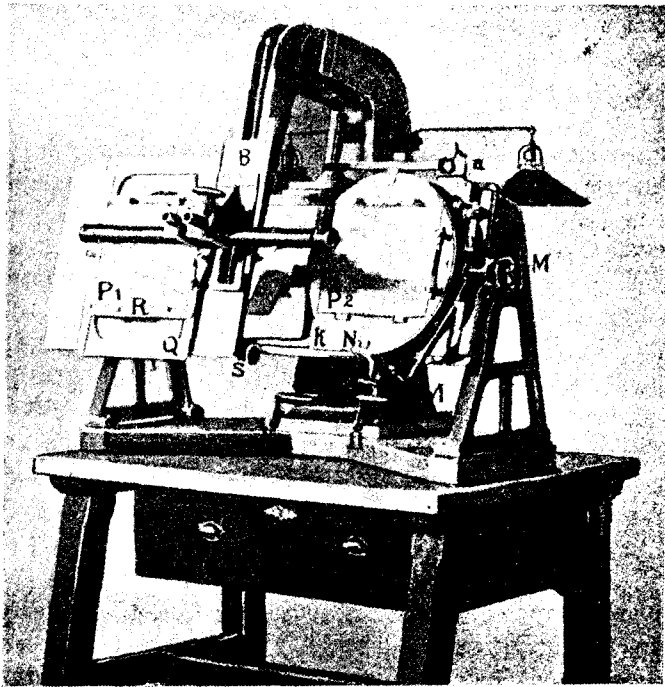
Вслѣдъ за этимъ должны быть опредѣлены и проверены нулевыя точки масштабовъ; масштабъ *A* служитъ для опредѣленія абсциссы  $x_1$ , *B* ординаты *y*, и *a* или *b* для опредѣленія горизонтальнаго или вертикальнаго параллакса. Для этой цѣли марки микроскоповъ опять устанавливаются монокулярно на верхнія вертикальныя марки соотв. пластинокъ; отсчеты на масштабахъ *A* и *a* непосредственно даютъ положеніе нулевыхъ точекъ для измѣренія абсциссы  $x_1$  и горизонтальнаго параллакса; нулевыя же точки масштабовъ *B* и *b* получаютъ изъ отсчетовъ по нимъ и изъ извѣстнаго намъ разстоянія отъ вертикальныхъ верхнихъ марокъ до горизонтальной линіи пластинокъ. Для удобства употребленія масштабы дѣлаются подвижными, такъ чтобы послѣ установки марокъ микроскоповъ на верхнія вертикальныя марки пластинокъ масштабы могли быть сдвинуты и закрѣ-

плены въ положеніи совпаденія нулей ноніусовъ съ нулями масштабовъ для масштабовъ  $a$  и  $A$ ; что же касается масштабовъ  $b$  и  $B$ , то они могутъ быть сдвинуты настолько, чтобы ноніусы давали отсчеты, равные данному фототеодолитомъ разстоянію отъ вертикальной марки до горизонтальной линіи. Отсчетъ элементовъ  $x$ ,  $y$  и  $a$ , необходимыхъ для стереофотограмметрическаго опредѣленія положенія любой точки, производится такъ, какъ это уже выше было указано; стереоскопическій параллаксъ  $a$  опредѣляется или передвиженіемъ всей правой пластинки винтомъ  $M$  и отсчетомъ на масштабъ  $a$ , или передвиженіемъ одной марки праваго микроскопа при помощи винта  $m$ . Обыкновенно это измѣреніе параллакса достигается первымъ способомъ, такъ какъ въ большинствѣ случаевъ параллаксъ  $a$  бываетъ больше діаметра поля зрѣнія микроскопа. Микрометренный винтъ  $m$  слѣдуетъ примѣнять лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда необходимо опредѣлить *разницу* параллаксовъ двухъ какихъ-либо точекъ или для опредѣленія весьма малыхъ параллаксовъ весьма удаленныхъ точекъ. Точность ноніусовъ въ зависимости отъ вліянія ошибокъ отсчета на конечный результатъ избрана разная. Ноніусы  $A$  и  $B$  для опредѣленія координатъ  $x$ , и  $y$ , имѣютъ точность въ 0,1 мм.; а ноніусы  $a$  и  $b$  для отсчета параллаксовъ—имѣютъ точность въ 0,02 мм. и даютъ возможность производить отсчеты съ точностью до 0,01 мм.

Кромѣ горизонтальной проекціи базы и разности отмѣтокъ стоянокъ фототеодолита, можетъ также найти примѣненіе гипотенуза треугольника, катетами котораго служатъ вышеназванныя проекція базы и разность отмѣтокъ. При этомъ методѣ стереофотограмметріи вертикальныя оси пластинокъ  $P_1$  и  $P_2$  должны на стереокомпараторѣ составлять съ направленіемъ перемѣщенія рамы  $E$  уголъ наклона гипотенузы вышеупомянутаго треугольника къ горизонту, что легко достигается поворачиваніемъ дисковъ; въ остальномъ ходѣ опредѣленія элементовъ  $x_1$ ,  $y_1$  и  $a$  ничѣмъ не отличается отъ уже описаннаго для горизонтальной проекціи двумя противовѣсами, ведомыми въ данномъ случаѣ, для базы. Описанный приборъ предназначенъ для пластинокъ  $13 \times 18$ ; при помощи вкладышей онъ можетъ быть приспособленъ и для любого меньшаго формата пластинокъ.

Вслѣдъ за описанной пробной моделью стереокомпаратора фирмой Цейссъ были изготовлены еще двѣ модели, которыя отличаются другъ отъ друга только форматомъ пластинокъ и имѣютъ по сравненію съ первой моделью нѣкоторыя, выработанныя практикою, улучшения.

Большая модель (модель А, фиг. 15) приспособлена для



Фиг. 15.

размѣровъ пластинокъ до  $24 \times 30$  см., а меньшая для пластинокъ до  $16 \times 18$  см. (модель В). Для совмѣстнаго перемѣщенія обѣихъ пластинокъ модель В имѣетъ двойныя салазки, какъ и у первой пробной модели, уравновѣшенныя уменьшенія ихъ раскачиванія, двумя тонкими прутьями, прикрѣпленными къ подставкѣ. У большой модели вертикальное перемѣщеніе рамы съ пластинками замѣнено, ввиду большого ея вѣса, вертикальнымъ перемѣщеніемъ микроскопа-стереоскопа.

Для этой цѣли стереоскопъ прикрѣпленъ къ салазкамъ *B*, скользящимъ въ направляющихъ, прикрѣпленныхъ къ состоящей изъ двухъ одинаковыхъ частей консоли *T*; при помощи винта и гайки салазки съ микроскопомъ могутъ быть приподняты или опущены вращеніемъ рукоятки *V*. Масштабъ для измѣренія этого передвиженія прикрѣпленъ къ консоли *T*, а ноніусъ къ салазкамъ.

Дальнѣйшую разницу обѣихъ новыхъ моделей съ испытательнымъ инструментомъ составляютъ двойныя салазки *QR* для перемѣщеній одной лѣвой пластинки  $P_1$  отъ руки вверхъ и внизъ, вправо и влево; размѣры рамокъ этихъ салазокъ выбраны такъ, что наибольшая пластинка можетъ быть передвинута на половину своей ширины и длины; это имѣетъ особенно большое значеніе при разсматриваніи снимковъ одинаковыхъ частей небеснаго свода. Дискъ новой пластинки не имѣетъ градуснаго дѣленія и можетъ быть прямо отъ руки или при помощи винта *S* повернуть около своего центра. Подъ правой пластинкой  $P_2$  имѣются двойныя салазки, горизонтальное перемѣщеніе которыхъ отсчитывается на масштабъ *a*; вертикальное перемѣщеніе, служа для выравниванія разности высоты стоянокъ фототеодолита во время съемки, можетъ быть отсчитываемо на специальномъ масштабѣ. Правый дискъ снабженъ градуснымъ дѣленіемъ и вращается только отъ руки.

Въ остальномъ конструкція обѣихъ моделей мало разнится отъ испытательнаго инструмента; онѣ построены удобнѣе въ обращеніи и устойчивѣе. Консоль для микроскопа-стереоскопа совершенно отдѣльно прикрѣплена къ нижней плитѣ, не имѣя никакой другой связи съ подставками, на которыхъ укрѣплены рамы для держанія и передвижки пластинокъ; этимъ избѣгнуты дрожанія стереоскопа.

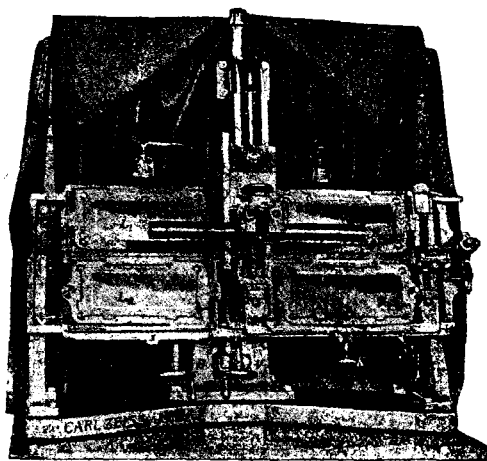
Измѣреніе параллакса производится или передвижкой пластинки  $P_2$  при помощи винта *M* непосредственно справа пластинки, или при помощи рукоятки *M* подъ пластинкой, которая посредствомъ передачи дѣйствуетъ на валъ перваго винта *M*; этимъ достигается возможность первоначальной грубой установки для окончательной-точной, каковой приемъ значительно ускоряетъ работу.

Большая модель особенно пригодна для астрономиче-

скихъ работъ, а меньшая для измѣренія стереофотограмметрическихъ снимковъ, для геодезическихъ цѣлей.

Дальнѣйшій типъ стереокомпаратора, модель *C* фирмы К. Цейсса (фиг. 16) предназначенъ для съемокъ береговъ съ судна. Этотъ типъ тѣмъ существенно отличается отъ предыдущихъ, что на немъ одновременно могутъ быть помѣщены двѣ пары пластинокъ формата  $12 \times 30$  см.

При этихъ съемкахъ имѣть громадное значеніе правильная смычка отдѣльныхъ реконструированныхъ со снимковъ участковъ береговой полосы, что особенно трудно ввиду того, что отдѣльныя стоянки, съ которыхъ были сдѣланы снимки, ничѣмъ другъ съ другомъ не связаны; поэтому не-



Фиг. 16.

обходимо, чтобы каждая отдѣльная съемка захватывала части сосѣднихъ участковъ, по которымъ возможно было бы произвести связку. Вслѣдствіе возможности одновременно установить на аппаратъ двѣ пары пластинокъ облегчается отыскиваніе общихъ точекъ безъ перемѣны пластинокъ и новой каждый разъ установки и провѣрки осей, чѣмъ сберегается много времени.

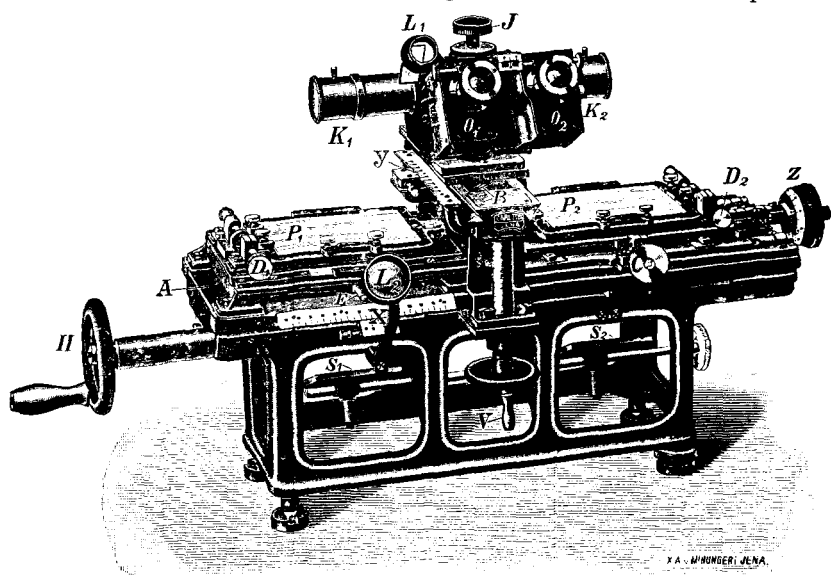
Построеніе модели *C* въ остальномъ мало отличается отъ *A*; рама, общая для обѣихъ паръ пластинокъ, можетъ быть передвигается въ горизонтальномъ направленіи при помощи винта *H*, причемъ это перемѣщеніе измѣряется на масштабѣ

Х. Вертикальное перемѣщеніе пластинокъ замѣнено таковымъ микроскопа-стереоскопа, достигаемого винтомъ *V* и измѣряемого масштабомъ *y*. Для вторичнаго перемѣщенія въ горизонтальномъ направленіи обѣихъ правыхъ пластинокъ  $R_1$  и  $R_2$  служить винтъ *P*, находящійся нѣсколько ниже пластинокъ; это перемѣщеніе, соотвѣтствующее величинѣ параллакса измѣряется крайнимъ правымъ масштабомъ, снабженнымъ микроскопомъ *Z*. Такая точность отсчета параллакса необходима для съемокъ береговой полосы ввиду большихъ разстояній до снимаемыхъ предметовъ. Упомянутый микроскопъ *Z* въ данномъ случаѣ замѣняетъ окулярный винтъ, который отсутствуетъ у разсматриваемаго аппарата. Подгонка высотъ достигается при помощи винта *H*. Всѣ необходимые для перемѣщенія пластинокъ винты и рукоятки сгруппированы въ одномъ мѣстѣ, недалеко другъ отъ друга, что облегчаетъ и ускоряетъ работу.

Кромѣ того, модель *C* отличается отъ предыдущихъ тѣмъ что не имѣетъ вращающихся дисковъ, замѣненныхъ рамками, вращающимися около центровъ, находящихся у короткихъ сторонъ снаружи рамокъ; вращеніе достигается при помощи винтовъ, упирающихся въ выступы противоположной короткой стороны рамокъ. Это нововведеніе сильно упростило конструкцію. Кромѣ того, каждая рамка при помощи особыхъ винтовъ можетъ быть сдвинута въ горизонтальномъ направленіи для сведенія въ одну плоскость, перпендикулярную направленію горизонтальныхъ перемѣщеній, обѣихъ вертикальныхъ осей пластинокъ, помѣщенныхъ одна надъ другой; сдѣлано это для совпаденія нулей при измѣреніи параллаксовъ обѣихъ паръ пластинокъ.

Вышеописанныя модели стереокомпаратора отличаются своей солидной массивной конструкціей и большимъ вѣсомъ ввиду того, что они предназначены для пластинокъ большого формата; они должны устанавливаться на устойчивыхъ основаніяхъ и перемѣщеніе ихъ съ мѣста на мѣсто связано съ большими неудобствами и съ соблюденіемъ всевозможныхъ предосторожностей. Между тѣмъ, во многихъ случаяхъ практическаго примѣненія стереофотограмметріи какъ инженерами, такъ и топографами, является необходимымъ производить измѣренія пластинокъ на мѣстѣ ихъ изготовленія: такимъ только образомъ возможно убѣдиться въ пригод-

ности полученных пластинок на мѣстѣ работъ. Ввиду всего вышеизложеннаго фирма К. Цейсѣ сконструировала по указаніямъ д-ра К. Пульфриха стереокомпараторъ для пластинокъ  $9 \times 12$ , который съ легкостью можетъ быть передвигаемъ съ мѣста на мѣсто, причемъ таковая его подвижность достигнута отнюдь не за счетъ его точности; даваемые имъ результаты обладаютъ такой же точностью, какъ и предыдущіе аппараты большихъ моделей. Эта модель *D* (фиг. 17) особенно пригодна для желѣзнодорож-



Фиг. 17.

ныхъ изысканій въ горной мѣстности, для маневровъ и военныхъ цѣлей; инструментъ разбирается на двѣ части, съ легкостью перевозится и устанавливается въ любомъ мѣстѣ.

Модель *D* состоитъ изъ нижняго чугунаго столика, который несетъ на себѣ двѣ горизонтальныя пластинки  $P_1$  и  $P_2$  вмѣстѣ съ необходимыми для ихъ передвижки салазками и микроскопомъ-стереоскопомъ; для неподвижной установки одна ножка столика снабжена подъемнымъ винтомъ. Рама *A* можетъ быть передвигаема при помощи винта *H* параллельно длинной сторонѣ столика; для измѣренія этого перемѣщенія служитъ масштабъ *x* съ ноніусомъ

и лупой  $L_2$ . Къ срединѣ стола привинченъ чугунный мостикъ для вторыхъ салазокъ  $B$ , перемѣщеніе которыхъ нормально перемѣщенію рамы  $A$ ; къ этимъ салазкамъ прикрѣпляется винтомъ  $J$  микроскопъ-стереоскопъ съ объективными трубками  $K_1$  и  $K_2$  и окулярами  $O_1$  и  $O_2$ . Передвиженіе микроскопа достигается винтомъ  $V$ .

Положеніе салазокъ измѣряется масштабомъ  $y$  при помощи нониуса, зеркала и лупы  $L_1$ .

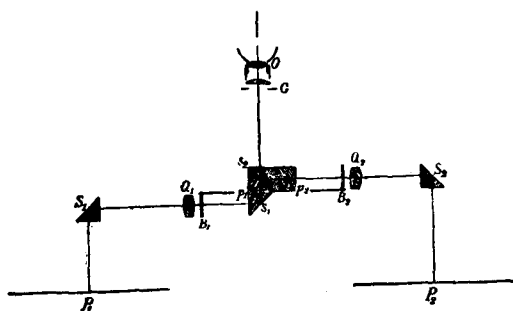
На лѣвой половинѣ рамы  $A$  помѣщаются вторыя салазки, связанныя непосредственно съ рамкой, несущей пластинку  $P_1$ , и могущія передвигаться параллельно передвиженію всей рамы  $A$ . По освобожденіи зажимнаго винта  $E$  это перемѣщеніе достигается просто рукой и имѣетъ цѣлью привести въ совпаденіе вертикальную ось пластинки съ маркой лѣваго микроскопа при совпаденіи нулей нониуса и масштаба  $x$ . На правой половинѣ рамы  $A$ , какъ и въ предыдущихъ моделяхъ, помѣщаются двойныя салазки, дающія возможность перемѣщать пластинку въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ направленіяхъ. Нижняя часть салазокъ передвигается винтомъ  $C$  параллельно салазкамъ  $B$  и служитъ для измѣренія и выравниванія разницы высоты стояночекъ при съемкѣ. Величина этой передвижки не можетъ быть измѣрена на изображенномъ на фиг. 17 аппаратѣ; но онъ легко можетъ быть дополненъ микрометреннымъ винтомъ и масштабомъ для измѣренія вертикальныхъ параллаксовъ взамѣнъ простаго винта  $C$ , какъ это сдѣлано для измѣренія горизонтальныхъ параллаксовъ. Верхняя половина салазокъ передвигается параллельно передвиженію всей рамы  $A$  и измѣряется микрометреннымъ винтомъ  $Z$ . Барабанъ микрометреннаго винта можетъ быть передвигаемъ до совпаденія нулей нониуса и масштаба и раздѣленъ на 100 равныхъ частей по периферіи, такъ что параллаксъ можетъ быть измѣренъ съ весьма большой точностью. Для измѣренія цѣлыхъ поворотовъ винта имѣется масштабъ.

Обѣ пластинки  $P_1$  и  $P_2$ , какъ и въ модели  $C$ , прикрѣпляются къ прямоугольнымъ рамкамъ, которыя при помощи винтовъ  $D_1$  и  $D_2$  могутъ быть нѣсколько поворачиваемы въ своихъ плоскостяхъ. Освѣщеніе пластинокъ достигается снизу зеркалами  $S_1$  и  $S_2$ , поворачиваемыми винтомъ справа.

Для перевозки аппаратъ разбирается; микроскопъ-стерео-

скопъ отвинчивается винтомъ *J* и какъ микроскопъ, такъ и столикъ укладываются отдѣльно въ ящикъ. Эта модель *D* стереокомпаратора вмѣстѣ со стереофототеодолитомъ для пластинокъ  $9 \times 12$  дополняютъ другъ друга до комплекта инструментовъ для производства разнообразныхъ съемокъ.

При построении описанныхъ выше стереокомпараторовъ предполагалось, что пользующійся ими наблюдатель способенъ видѣть стереоскопически, т. е. что его глаза обладаютъ способностью соединять въ одно общее пространственное изображеніе—два отдѣльно получающихся на сѣтчатыхъ оболочкахъ обоихъ глазъ плоскихъ изображенія; въ этомъ пространственномъ изображеніи глазъ долженъ отличать разстоянія до глаза всѣхъ предметовъ. Но большой процентъ наблюдателей не въ состояніи видѣть стереоскопически, по крайней мѣрѣ въ совершенствѣ, въ особенности, лица, которыя должны подолгу производить наблюденіе монокулярно.

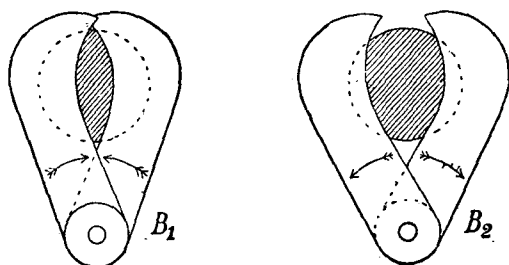


Фиг. 18.

Исходя изъ вышеизложенныхъ соображеній, д-ръ Пульфрихъ на столько измѣнилъ конструкцію микроскопа-стереоскопа, что явилась возможность въ нѣкоторыхъ случаяхъ производить наблюденія однимъ лишь глазомъ: при этомъ на сѣтчатой оболочкѣ глаза получались чрезъ небольшіе промежутки времени поочередно изображенія обоихъ пластинокъ и создавали такимъ образомъ комбинированное изображеніе снятаго предмета. Такъ какъ тутъ оба изображенія получаются въ одномъ глазу, то отпадаетъ необходимость въ стереоскопическомъ зрѣніи, и всякій зрящій наблюдатель въ состояніи при помощи такого микроскопа сравнивать и

измѣрять пластинки, чего въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываетъ достаточно.

Микроскопъ такого устройства называется „мигающимъ“; онъ отличается отъ микроскопа-стереоскопа, главнымъ образомъ, тѣмъ, что изображенія пластинокъ накладываются другъ на друга въ одномъ окулярѣ, причемъ впечатлѣнiе на сѣтчатую оболочку глаза производитъ каждое изображенiе самостоятельно попеременно чрезъ весьма малые промежутки времени; это достигается при помощи щипцевидныхъ ширмъ. Въ мигающемъ микроскопѣ, представленномъ на фиг. 18 схематически, получаютъ реальныя изображенiя обѣихъ пластинокъ въ плоскости марокъ  $G$  окуляра  $O$ ; достигается это призмами  $S_1$  и  $S_2$  и ахроматическими объективами  $Q_1$  и  $Q_2$ . Призмы  $s_1$  и  $s_2$  соприкасаются



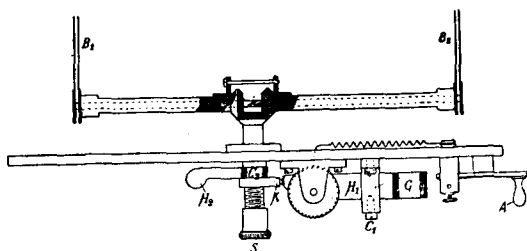
Фиг. 19.

одна съ другой по одной сторонѣ; между соприкасающимися плоскостями находится слой настолько прозрачнаго серебра, что половина падающихъ на него подъ угломъ въ  $45^\circ$  лучей проходитъ чрезъ него, а другая отражается. Лучи, исходящіе отъ пластинки  $P_1$ , по отклоненiи призмой  $S_1$  и  $s_1$  и по прохожденiи чрезъ объективъ  $Q_1$ , попадаютъ на серебряный слой и частью проходятъ чрезъ него, а частью отражаются; прошедшіе чрезъ слой лучи даютъ изображенiе въ плоскости  $G$ ; лучи, исходящіе отъ пластинки  $P_2$ , аналогичнымъ путемъ попадаютъ чрезъ  $S_2$ ,  $Q_2$  и  $s_2$  на серебряный слой, частью чрезъ него проходятъ, а частью отражаются и создаютъ изображенiе пластинки въ той же плоскости  $G$ .

Такимъ путемъ, въ плоскости  $G$  получаютъ два изображенiя пластинокъ  $P_1$  и  $P_2$ , которыя поочередно попадаютъ

въ глазъ наблюдателя; попеременное затемненіе пластинокъ достигается щипцевидными ширмами  $B_1$  и  $B_2$ , помѣщающимися между призмами  $s_1$ ,  $s_2$  и объективами  $Q_1$  и  $Q_2$ ; каждая ширма состоитъ изъ двухъ серповидныхъ жестяныхъ частей (фиг. 19), прикрѣпленныхъ къ двумъ разнымъ валамъ, вращающимся въ разныя стороны; когда одна серповидная ширма совершенно затемняетъ изображеніе, другая его совершенно открываетъ; когда одна его въ нѣкоторой только степени затемняетъ, то другая его въ такой же степени открываетъ  $G$ .

Способъ, какимъ связаны между собой обѣ ширины  $B_1$  и  $B_2$ , и механизмъ, который приводитъ ихъ въ дѣйствіе, усматриваются изъ фиг. 20. Этотъ механизмъ состоитъ изъ двухъ

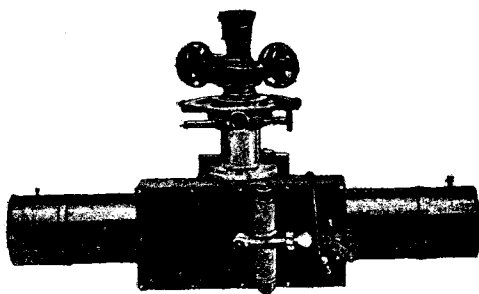


Фиг. 20.

валовъ разной толщины съ совпадающими осями; валы—разныхъ діаметровъ, причемъ болѣе тонкій находится внутри толстаго. Съ концами этихъ валовъ связаны серпики ширмъ; полый валъ посрединѣ разрѣзанъ для помѣщенія зубчатой передачи при помощи трехъ коническихъ колесъ, но связь этихъ разрѣзанныхъ частей достигается, какъ это видно изъ рисунка. Валы вращаются въ разныя стороны. Вращеніе средняго колеса достигается при помощи рукоятки  $H_2$  отъ руки; при поворачиваніи рукоятки то вправо, то влѣво, происходитъ смѣна изображеній. Поворачиваніе рукоятки ограничено штифтиками.

Это поворачиваніе можетъ быть достигнуто также при помощи особаго мотора. Этой цѣли служить рычагъ  $H_1$ , вращающійся на остріяхъ  $C_1$ ; онъ уравновѣшенъ противовѣсомъ попеременно притягивающіе рычагъ  $H_1$  и сообщающіе ему колебательное движеніе, которое передается ширмамъ, открыва-

вающимъ и закрывающимъ изображенія автоматически; направление тока измѣняется при помощи коммутатора, приводимаго въ дѣйствіе моторомъ, дѣйствующимъ нагрѣтымъ воздухомъ отъ спиртовой лампы. Рычагъ  $H_1$  заканчивается шарикомъ, входящимъ между выступами кольца, которое при помощи винта  $S$  можетъ быть соединено и разъединено съ валомъ средняго конического колеса. При разъединенномъ кольцѣ, смѣна изображеній можетъ быть достигнута отъ руки, или ширмы могутъ быть обѣ одновременно открыты для совмѣстнаго одновременнаго наблюденія обоихъ изображеній. Кромѣ того имѣется выключатель  $A$ . На фиг. 21



Фиг. 21.

представленъ мигающій микроскопъ въ исполненіи фирмы К. Цейссъ; онъ снабженъ револьвернымъ окуляромъ съ фокуснымъ разстояніемъ въ 30 и 15 мм.; послѣдній можетъ быть замѣненъ измѣрительнымъ окуляромъ, показаннымъ на рисункѣ. Онъ изготовляется въ двухъ размѣрахъ; большая модель предназначена для стереокомпаратора (модель  $A$ ) съ 8-кратнымъ увеличеніемъ; меньшая модель предназначена для стереокомпаратора типа  $B$  и даетъ четырехкратное или 4-хъ и 8-кратное увеличеніе. При примѣненіи револьвернаго окуляра увеличеніе соотвѣтственно шестнадцати- и восьмикратное. Измѣрительные окуляры снабжены двумя взаимно перпендикулярными микрометренными винтами и кругомъ, раздѣленнымъ на градусы; этимъ весь окуляръ можетъ быть повернуть около своей оси на опредѣленное число градусовъ и можетъ быть произведено линейное измѣреніе въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ направленіяхъ. Лимбъ снабженъ зажимнымъ и микрометреннымъ винтами. На фиг. 21

видны также приспособленія для автоматической перемѣны изображеній пластинокъ: видны оба электромагнита съ качающимся между ними рычагомъ  $H_1$ , винтъ  $S$  для выключенія его; также рычагъ  $H_2$  для перемѣны отъ руки изображеній. Винтики 1, 2 и 3 служатъ для прикрѣпленія проводовъ, идущихъ отъ коммутатора, причемъ винты 1 и 3 соединены съ обмоткой электромагнитовъ, а винтъ 2 представляетъ собою контактъ для выключателя  $A$ , который также находится въ соединеніи съ электромагнитами. Фиг. 21 представляетъ выключатель въ томъ положеніи, когда онъ прерываетъ цѣпь. Очень важно соразмѣрить правильно серпики ширмъ и вѣрно прикрѣпить ихъ къ валамъ: въ противномъ случаѣ оптическія свойства изображенія будутъ мѣняться; кромѣ того, сумма отверстій обѣихъ ширмъ должна равняться одному полному отверстию, такъ какъ иначе будутъ происходить колебанія въ освѣщеніи и мѣшать точности измѣренія. На этомъ же основаніи ширмы должны помѣщаться у самыхъ объективовъ.

Мигающій микроскопъ всегда можетъ быть примѣненъ съ успѣхомъ тамъ, гдѣ дѣло идетъ объ установленіи различій въ двухъ снимкахъ земной поверхности или небснаго свода, происшедшихъ въ извѣстный промежутокъ времени. Кромѣ того, онъ можетъ быть утилизированъ для цѣлей измѣренія исключительно въ астрономіи, такъ какъ тутъ, простымъ вертикальнымъ и горизонтальнымъ перемѣщеніемъ пластинки, можетъ быть измѣрено разстояніе между звѣздами, передвиженіе планетъ и т. д. Онъ можетъ быть также примѣненъ для измѣренія длинъ и сравненія масштабовъ. Тамъ же, гдѣ требуется опредѣленіе расположенія точекъ въ пространствѣ, какъ въ топографіи и геодезін, мигающій микроскопъ примѣненъ быть не можетъ.

### Точность стереофотограмметрической съемки.

#### 1. Ошибки отъ неправильностей установки стереофототеодолита.

Пусть  $M_1$  и  $M_2$ —оптическіе центры объективовъ стереофототеодолитовъ (см. чр. 22);  $P_1$  и  $P_2$ —лежащіе въ одной плоскости свѣточувствительныя поверхности пластинокъ;  $O_1$  и  $O_2$ —основанія перпендикуляровъ, опущенныхъ изъ  $M_1$  и  $M_2$  на поверхности  $P_1$  и  $P_2$ ;  $YY$  и  $XX$ —главныя взаимно перпенди-

кулярныя оси пластинокъ;  $h$ —кратчайшее разстояніе между двумя плоскостями  $M_1 O_1 X$  и  $M_2 O_2 X$ ;  $B$ —базисъ, равный разстоянію  $M_1 M_2$ ;  $P$ —любая точка въ пространствѣ;  $Z$ —длина линіи пересѣченія плоскостей  $M_1 M_2 P$  съ плоскостью, проходящей чр. т.  $P$  и перпендик. къ  $XX$  отъ т.  $P$  до линіи  $M_1 M_2$ ;  $f$ —фокусное разстояніе объективовъ;  $f_1$ —равно длинѣ линіи  $M_1 k_1$ ;  $\mu$ —уголъ между  $M_1 M_2$  и  $XX$ ;  $a = p_1 p_2 - M_1 M_2 = p_1 p_2 - B$ ; тогда

$$\frac{Z}{B} = \frac{f_1}{a}; \quad Z = \frac{B}{a} \cdot f_1;$$

$p_1$  и  $p_2$  суть изображенія точки  $P$  на пластинкахъ  $P_1$  и  $P_2$ ; если мы проведемъ чрезъ  $P$  прямую, параллельную  $JJ$ , то ея изображеніями на пластинкахъ  $P_1$  и  $P_2$  будутъ также прямая, проходящая чрезъ точки  $p_1$  и  $p_2$  и параллельная  $JJ$ ; для любой точки этой прямой, проходящей чрезъ  $P$ —разстояніе между двумя ея изображеніями на пластинкахъ  $P_1$  и  $P_2$  будетъ равно  $p_1 p_2$  и  $a = p_1 p_2 - B = \text{const.}$ , такъ какъ

$$\frac{a}{B} = \frac{f_1}{Z} = \frac{f}{Z_1} \quad \text{или} \quad a = B \frac{f}{Z_1}, \quad \text{гдѣ } Z_1 \text{— проекція } Z \text{ на плоскость } M_1 O_1 X.$$

$B$ ,  $f$  и  $Z_1$  не мѣняются при перемѣщеніи точки  $P$  по линіи  $PP'$ , парал.  $JJ$ , такъ что  $a = \frac{f}{Z_1} \cdot B$  для данной прямой величина постоянная; нетрудно убѣдиться, что  $Z_1$  есть также величина постоянная для любой точки плоскости, проходящей чрезъ данную точку  $P$  и параллельной плоскости пластинокъ  $P_1$  и  $P_2$ ; отсюда и  $a = \frac{f}{Z_1} \cdot B$ —есть величина постоянная для всякой такой точки, причемъ  $Z_1$  есть длина перпендикуляра, опущеннаго изъ  $M_1$  или  $M_2$  на рассматриваемую плоскость.

Изъ предыдущаго уравненія имѣемъ:

$$Z_1 = \frac{f}{a} \cdot B;$$

$$\text{но } a = \frac{a'}{Cs \mu} \text{ и } B = \frac{B'}{Cs \mu}, \text{ откуда}$$

$$Z_1 = \frac{f}{a'} \cdot B'.$$

$a' = p_1' p_2' - B'$  (гдѣ  $p_1'$  и  $p_2'$  суть проекціи точекъ  $p_1$  и  $p_2$

на плоскость  $M_1 O_1 X$ ) и представляет собою ту величину, которая называется *стереоскопическим параллаксом* и измѣряется непосредственно на стереокомпараторѣ;  $B'$ —есть проекція разстоянія между центрами (или оптическими осями) объективовъ стереофототеодолитовъ на плоскость  $M_1 O_1 X$  и измѣряется при помощи рейки, трубы и микрометричнаго винта при стереофототеодолитѣ передъ съемкой;  $f$ —есть фокусное разстояніе объектива—всегда намъ извѣстное. Такимъ образомъ, какъ результатъ съемки и измѣреній, на стереокомпараторѣ мы всегда въ состояніи получить

$$Z_1 = \frac{f}{a'} \cdot B'.$$

т. е., кратчайшее разстояніе отъ центра объектива до плоскости, проходящей чрезъ любую снятую точку и параллельной плоскости пластинокъ.

Предположимъ теперь, что оптическія оси объективовъ стереофототеодолитовъ не параллельны и направленія ихъ составляютъ нѣкоторый уголъ  $\lambda_2$  между собой; вслѣдствіе перпендикулярности къ оптическимъ осямъ плоскостей пластинокъ, послѣднія заключаютъ между собой также уголъ  $\lambda$ , причемъ обѣ остаются перпендикулярными къ плоскости  $M_1 O_1 X$  (см. черт. 23).

Вычислимъ поправку для стереоскопическаго параллакса въ зависимости отъ угла  $\lambda_2$ :

$$a' = b_1 - b_2 = b_1 - b_2' + [-(b_2 - b_2')] \\ \Delta a_2' = -(b_2 - b_2'); \quad b_2 = f \cdot \operatorname{tg} \alpha; \quad b_2' = f \cdot \operatorname{tg} (\alpha - \lambda_2);$$

$$\text{отсюда } b_2 = \frac{f (b_2' + f \cdot \operatorname{tg} \lambda_2)}{f - b_2' \cdot \operatorname{tg} \lambda_2};$$

$$\Delta a_2' = b_2' - b_2 = - \frac{[(b_2')^2 + f^2] \cdot \operatorname{tg} \lambda_2}{f - b_2' \cdot \operatorname{tg} \lambda_2}.$$

При  $b_2' = 60$  мм.;  $f = 127$  мм. и  $\lambda_2 = 30''$ — $\Delta a_2' = 0,024$  мм., что при измѣреніи стереоскопическаго параллакса съ точностью до 0,01 мм. недопустимо; поэтому, для уничтоженія источника такихъ большихъ ошибокъ должны быть приняты всѣ мѣры.

Исправивъ величину полученнаго измѣреніемъ на стерео-

компараторъ стереоскопическаго параллакса на  $\Delta a$  и вставивъ эту исправленную величину въ формулу

$$Z_1 = \frac{f}{a'} \cdot B'', \text{ гдѣ } B'' =$$

$$= \sqrt{B'^2 - 4k^2 \left( \text{Sn } \frac{\lambda_2}{2} \right)^2} \text{ и } \begin{cases} k \text{ есть разстояніе отъ центра} \\ \text{объектива } M_2 \text{ до оси вращенія} \\ \text{стереофототеодолита} \end{cases}$$

мы получаемъ кратчайшее разстояніе отъ точки  $M_1$  до плоскости, проведенной параллельно пластинкѣ  $P_1$  черезъ изслѣдуемую точку  $P$ .

Если и другая оптическая ось отклонена отъ своего нормальнаго положенія на уголъ  $\lambda_1$  въ плоскости  $M_1 O_1 X$ , то  $a' = b_1 - b_2 = b_1' - b_2' + [-(b_1 + b_1' + b_2 - b_2')] = b_1' - b_2' + [+ (b_1 - b_1') - (b_2 - b_2')]$ ;

$$\Delta a' = \Delta a_1' + \Delta a_2' = + \frac{[(b_1')^2 + f^2] \cdot \text{tg } \lambda_1}{f - b_1' \cdot \text{tg } \lambda_1} - \frac{[(b_2')^2 + f^2] \cdot \text{tg } \lambda_2}{f - b_2' \cdot \text{tg } \lambda_2} \text{ и}$$

$$B'' = \sqrt{B'^2 - k^2 (Cs \lambda_2 - Cs \lambda_1)^2 + k^2 (Sn \lambda_2 - Sn \lambda_1)} \text{ для случая } \lambda_1 > \lambda_2 > 0$$

Тогда по формулѣ

$$Z_1 = \frac{f}{a'} \cdot B''$$

получимъ длину перпендикуляра, опущеннаго изъ точки  $P$  на плоскость, проведенную чрезъ  $M_1$  и  $M_2$  перпендикулярно къ плоскостямъ  $M_1 O_1 X$  и  $M_2 O_2 X$ .

*Случай непараллельности плоскостей  $M_1 O_1 X$  и  $M_2 O_2 X$ .*

Положимъ, что плоскость  $M_2 O_2 X$  образуетъ съ  $M_1 O_1 X$  уголъ  $i$ , причемъ линія  $X O_2 X$  параллельна плоскости  $M_1 O_1 X$ ; пусть  $MM \perp$  пл.  $M_1 O_1 X$  и  $M_2 O \parallel$  пл.  $M_1 O_1 X$ ; тогда ось  $yy$  пересѣчетъ  $MM$  въ нѣкоторой точкѣ  $N$ , чрезъ которую пройдутъ всѣ линіи пересѣченія плоскости пластинки  $P_2$  съ плоскостями, проходящими чрезъ линію, проведенную чрезъ любую точку пространства  $P$  параллельно  $MM$ . Пусть  $O_2 k \parallel OM_2$  и равно  $f'$ ; пусть  $a$  и  $b$ , длина сторонъ пластинки  $P_2$ ; тогда (см. черт. 24):

$$x = f' \cdot \text{tg } \alpha = f \cdot \text{Csi} \cdot \text{tg } \alpha; \text{ tg } \alpha = \frac{x}{f \cdot \text{Csi}};$$

При  $M_2 O_2 X \parallel M_1 O_1 X$  мы имѣли бы

$$x' = f \cdot \text{tg } \alpha$$

$$\begin{aligned} \text{Разница составит } x' - x &= f \cdot \operatorname{tg} \alpha - f \cdot \operatorname{Csi} \cdot \operatorname{tg} \alpha = \\ &= f (1 - \operatorname{Csi}) \cdot \operatorname{tg} \alpha = \Delta x \end{aligned}$$

$$\Delta x = \frac{x \cdot f (1 - \operatorname{Csi})}{f \cdot \operatorname{Csi}} = x \cdot \frac{1 - \operatorname{Csi}}{\operatorname{Csi}}$$

$$\max. \Delta x = \frac{a}{2} \cdot \frac{1 - \operatorname{Csi}}{\operatorname{Csi}}$$

Если мы примемъ уголъ  $i = \frac{1}{2}$  минутъ,  $a = 120$  мм., то

$$\max. \Delta x = 60 \frac{1 - 1}{1} = 0$$

По высотѣ пластинки, при разныхъ положеніяхъ точки по прямой, проходящей черезъ точку  $P$ , величина  $x$  можетъ измѣняться

$$\Delta x' = x' - x = (O_2 N - y) \cdot \operatorname{tgr} - O_2 N \cdot \operatorname{tgr} = -y \cdot \operatorname{tgr};$$

$$\operatorname{tgr} = \frac{x}{O_2 N}; O_2 N = \frac{f}{\operatorname{tgi}}; \operatorname{tgr} = \frac{x \cdot \operatorname{tgi}}{f}; \Delta x' = -y x \frac{\operatorname{tgi}}{f}$$

$$\max. \Delta x' = \frac{-ab \cdot \operatorname{tgi}}{4 \cdot f}$$

$$\begin{aligned} \text{при } i = \frac{1}{2}; a = 120 \text{ мм.}; b = 90 \text{ мм. и } f = 127 \text{ мм. } \max \Delta x' &= - \\ &= - \frac{120 \cdot 90 \cdot f g 30''}{4 \cdot 127} = - \frac{2700 \cdot 0,00015}{127} = - 0,003 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Принимая во вниманіе, что въ исключительно рѣдкихъ случаяхъ далекія точки будутъ находиться въ крайнемъ углу пластинки и что уголъ отклоненія плоскостей  $МОХ$  въ  $\frac{1}{2}$  минуты сильно преувеличенъ (нивеллиры при отклоненіи оптич. оси на  $30''$  и визированіи на 50 саж. давали бы ошибку въ  $50 \cdot \operatorname{tg} 30'' = 50 \cdot 0,00015 = 0,008$  саж., что очевидно преувеличено при современномъ совершенствѣ устройства уровней), мы можемъ заключить, что при достаточной тщательности установки этой ошибкой можно пренебречь.

То же можно сказать и объ ошибкахъ, проистекающихъ отъ нарушенія параллельности оси  $УУ$  съ плоскостью  $O_2 ММ$ , имѣя въ виду, что наиболѣе отдаленныя точки, опредѣленіе координатъ которыхъ требуетъ наибольшей точности измѣренія, не будутъ выходить изъ средней трети пластинки.

При всевозможнаго рода съемкахъ на сушѣ стереофото-теодолиты устанавливаются такимъ образомъ, чтобы плоскости  $М_1 O_1 X$  и  $М_2 O_2 X$  были горизонтальны; тогда измѣренія на стереокомпараторѣ дадутъ необходимыя данныя  $a$ ,  $x$

и  $y$  для вычисленія координатъ любой точки относительно прямоугольной координатной системы съ началомъ въ  $M_1$ , при чемъ оси  $OX$  и  $OY$  горизонтальны и совпадаютъ: первая съ направлениемъ гор. оси пластинки, вторая съ оптической осью объектива; ось  $OZ$ —вертикальна.

Зная истинныя координаты трехъ какихъ либо снятыхъ точекъ (изъ предварительно разбитой и проинивеллированной магистрали)  $x_1 y_1 z_1$ ;  $x_2 y_2 z_2$  и  $x_3 y_3 z_3$  и вставивъ ихъ въ уравненія

$$\left. \begin{aligned} x' &= ax + by + cz \\ y' &= a'x + b'y + c'z \\ z' &= a''x + b''y + c''z \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{формулы для преобразованія} \\ \text{пространственныхъ прямо-} \\ \text{угольныхъ координатъ} \end{array}$$

на мѣсто  $x'$   $y'$  и  $z'$  и подставивъ вмѣсто  $x$ ,  $y$ ,  $z$  вычисленные на основаніи измѣреній стереофотограмметріи координаты соотвѣтственныхъ точекъ, получимъ 9 уравненій, изъ которыхъ вычислимъ  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $a'$ ,  $b'$ ,  $c'$ ,  $a''$ ,  $b''$ ,  $c''$ .

По этимъ коэффициентамъ, такимъ образомъ, можетъ быть исчислена поправка или истинная координата любой точки.

Замѣтимъ, что вычисленные коэффициенты должны удовлетворять уравненіямъ:

$$\left. \begin{aligned} a^2 + a'^2 + a''^2 &= 1 \\ b^2 + b'^2 + b''^2 &= 1 \\ c^2 + c'^2 + c''^2 &= 1 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} bc + b'c' + b''c'' = 0 \\ \text{и } ca + c'a' + c''a'' = 0 \\ ab + a'b' + a''b'' = 0 \end{array}$$

Если  $a$ ,  $b'$ ,  $c''$  получатся равными единицѣ, а остальные  $b$ ,  $c$ ,  $a'$ ,  $c'$ ,  $a''$   $b''$  равными нулю, то и поправка равна нулю для любой точки.

Въ противномъ случаѣ для каждой точки придется вводить поправки въ опредѣленные съемкой координаты.

Такимъ образомъ, мы въ состояніи всегда провѣрить, выходятъ ли ошибки съемки за предѣлы ошибокъ измѣренія на стереокомпараторѣ, къ опредѣленію которыхъ мы теперь и перейдемъ.

## 2. Точность стереоскопическихъ измѣреній.

Стереофотограмметрія основывается на принципахъ стереоскопіи и стереоскопическаго видѣнія нашихъ глазъ, требуя для своего примѣненія, помимо чертежнаго прибора,

еще спеціального, построеннаго фирмой Цейссь, прибора—стереокомпаратора, значительно облегчающаго разсмотрѣніе деталей фотографическихъ снимковъ мѣстности, но зато значительно затрудняющаго примѣненія этого метода, благодаря высокой стоимости самаго прибора (около 1.350 р.)

Намъ хорошо извѣстно, что глазъ человѣка можно уподобить фотографической камерѣ, а совокупность двухъ глазъ человѣка сравнивать съ дальномѣромъ съ переменнымъ угломъ и съ постояннымъ базисомъ, равнымъ разстоянію между центрами глазъ, принимаемому въ среднемъ равнымъ 65 миллиметрамъ. Изображенія весьма удаленнаго, напр., находящагося на нашемъ горизонтѣ, предмета  $O$  въ обоихъ нашихъ глазахъ  $A$  (черт. 25) получаются на одинаково въ нихъ расположенныхъ точкахъ  $a$  и  $a$ . Приближеніе предмета изъ  $O$  въ  $O_1$ , а затѣмъ въ  $O_2$  заставляетъ насъ по получаемымъ въ глазахъ изображеніямъ  $a_1$  и  $a_1$  или  $a_2$  и  $a_2$  сводить обѣ главныя оси нашихъ глазъ на предметъ  $O_1$  подъ угломъ  $\alpha_1$  или въ  $O_2$  — подъ угломъ  $\alpha_2$ . Понятно, что чѣмъ болѣе удаленъ предметъ  $O$  отъ нашихъ глазъ  $A$ , находящихся на постоянномъ разстояніи (базисѣ)  $b$ , тѣмъ менѣе параллактической уголъ  $\alpha$ .

Изъ равнобедреннаго треугольника съ параллактическимъ угломъ  $\alpha_1$  при вершинѣ  $O_1$  и съ основаніемъ  $b$  легко находится его высота  $r$  — разстояніе предмета  $O_1$  отъ линіи глазъ  $AA$  наблюдателя—по формулѣ:

$$r = \frac{1}{2} \cdot b \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2}.$$

Предѣльная величина для угла  $\alpha$  равна  $30''$ ; дѣло въ томъ, что наши глазные нервы для точекъ  $O$  съ болѣе острымъ угломъ не могутъ усматривать разницы въ разстояніи ихъ отъ глазъ наблюдателя. Итакъ, если принять  $\alpha = 30''$

$$\text{и допустить } \operatorname{tg} \frac{1}{2} \alpha = \operatorname{Sn} \frac{1}{2} \alpha = \frac{\alpha}{2}, \text{ то } \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 13751$$

$$\text{и } r = \frac{65}{2} \cdot 13751 = 446,91 \text{ мтр.,}$$

т. е. равнымъ, круглымъ числомъ, около полуверсты; за этимъ предѣломъ удаленные предметы кажутся намъ какъ бы плоскими, т. е., малорельефными. У молодыхъ людей предѣльная величина параллактическаго угла доходить даже

до 10'', а имѣя въ виду, что  $b$  колеблется отъ 58 до 72 мм., можно сказать, что воспріятіе глубинъ можетъ у молодыхъ людей достигать до полутора верстъ.

Предѣлъ пространственнаго видѣнія нашихъ глазъ можно искусственно увеличивать, притомъ двояко:

1) путемъ увеличенія самихъ изображеній предмета, примѣняя зрительныя трубы, увеличивающія изображенія на сѣтчатой оболочкѣ глазъ, а вмѣстѣ съ ними и разстоянія  $a_1 a_1$  и  $a_2 a_2$  (черт. 25), обусловливающія степень воспріятія глубинъ; такъ, рассматривая пейзажъ въ полевой бинокль съ шестикратнымъ увеличеніемъ, мы въ 6 разъ увеличиваемъ изображенія на сѣтчатой оболочкѣ, а съ ними увеличиваются и параллактическія разницы направленій и подъ тѣмъ же предѣльнымъ параллактическимъ угломъ въ 30'' мы увидимъ предметы въ удаленіи не 400—500, а 2.400—3.000 метровъ; 2) можно искусственно увеличивать глазной базисъ  $B$ , примѣняя, напр., телестереоскопъ Гельмгольца; тогда предѣлъ пространственнаго воспріятія глубинъ увеличится въ отношеніи  $B:b$ . Такъ, при  $b = 65$  мм. и  $B = 650$  мм. предѣлъ воспріятія глубинъ достигнетъ  $4\frac{1}{2}$  километровъ.

Если одновременно увеличить базисъ въ отношеніи  $\frac{B}{b}$  и примѣнить увеличеніе  $V$ , то, очевидно, предѣлъ пространственнаго воспріятія глубинъ увеличится въ  $\frac{B}{b}$  разъ  $V$ , т. е. если предѣлъ пространственнаго воспріятія глубинъ невооруженными глазами равенъ „ $r$ “, то предѣлъ рельефнаго зрѣнія  $Z$  телестереоскопа Цейсса, въ которомъ соединены оба упомянутыхъ выше принципа, будетъ

$$Z = \frac{B}{b} \cdot V \cdot r = k \cdot r.$$

Величина  $k = \frac{B}{b} \cdot V$  называется „полной пластикой“. Для невооруженныхъ глазъ полная пластика равна единицѣ, а для телестереоскопа съ  $\frac{B}{b} = 10$  и  $V = 6$  „полная пластика“ равна 60 и предѣлъ рельефнаго зрѣнія

$$Z = 60 \cdot r = \infty 27 \text{ километрамъ.}$$

*Точность свободного зрѣнія.*

Если при данномъ  $b$  разстоянію  $R$  до предмета соотвѣтствуетъ параллактической уголъ  $\Delta$ , то  $R = \frac{b}{\Delta}$  и  $dR = -\frac{b \cdot d\Delta}{\Delta^2} = -\frac{R \cdot d\Delta}{\Delta}$ ; если принять  $b = 60$  мм. и  $d\Delta$  равнымъ предѣльному размѣчаемому глазами углу въ  $\frac{1'}{2}$ , то получимъ слѣдующую таблицу точностей свободного нормального зрѣнія:

| при $R$ | $\frac{dR}{R} = \frac{d\Delta}{\Delta}$ | $R \cdot \frac{d\Delta}{\Delta}$ | $\frac{1}{2} = \frac{1}{6.876} = d\Delta$ |
|---------|-----------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|
| 1 мтр.  | $\frac{1}{413}$                         | $2 \frac{1}{2}$ мм.              | $\Delta = \frac{60}{1.000} = 0,06$        |
| 2 "     | $\frac{1}{207}$                         | 10 "                             | $\Delta = \frac{60}{2.000} = 0,03$        |
| 20 "    | $\frac{1}{21}$                          | 1 мтр.                           | $\Delta = \frac{60}{20.000} = 0,003$      |
| 40 "    | $\frac{1}{10}$                          | 4 "                              | $\Delta = \frac{60}{40.000} = 0,0015$     |
| 400 "   | 1                                       | 400 "                            | $\Delta = \frac{60}{400.000} = 0,00015.$  |

$$\text{Если } \Delta = \frac{b}{R}, \quad d\Delta = \frac{b}{r}, \quad \text{то } \frac{d\Delta}{\Delta} = \frac{R}{r}; \quad \text{но такъ какъ } \frac{dR}{R} = -\frac{d\Delta}{\Delta}, \quad \text{то } dR = \pm \frac{R^2}{r},$$

гдѣ  $r$  — предѣль рельефнаго зрѣнія.

*Точность зрѣнія помощью телестереоскопа.*

Пусть для даннаго телестереоскопа  $\frac{B}{b} = 10 = u$  и  $V = 10$ ; пусть  $A_1$  и  $A_2$  — центры окуляровъ,  $MN$  — плоскость изображенія окуляровъ (см. черт. 26).

Если представить себѣ въ точкахъ  $A_1$  и  $A_2$  центры глазъ наблюдателя, то лучи, исходящіе изъ точки  $A'$  и проходящіе

черезъ центры глазъ, пересѣкутъ плоскость  $MN$  въ точкахъ  $m_1$  и  $n_1$ ; если же мы имѣемъ дѣло съ двумя системами оптическихъ стеколъ съ геометрическими осями  $mm'$  и  $nn'$ , дающими два изображенія точки  $A$  въ плоскости  $PQ$ , то наблюдатель черезъ окуляры увидитъ эти изображенія въ увеличенномъ видѣ въ плоскости  $MN$  въ точкахъ  $n_2$  и  $m_2$ , такъ что

$$nn_2 = v. nm_1 \text{ и } mm_2 = v. mn_1$$

$$R = v. R_1 \text{ и } \Delta_1 = v. \Delta.$$

$$dR_1 = - \frac{R_1 \cdot d\Delta}{\Delta_1}$$

$$R + dR = v (R_1 + dR_1); dR = v. dR_1$$

Если мы себѣ теперь представимъ окуляры  $A_1$  и  $A_2$  съ ихъ изображеніями, сближенными до разстоянія между геометрическими осями „ $b$ “, то увидимъ изображеніе точки въ  $A'''$  въ разстояніи  $R_2$ , причемъ  $R = \frac{B}{b} \cdot v. R_2$ ;  $R = \frac{b}{B} \cdot R_1$

$$dR_2 = - \frac{R_2 \cdot d\Delta}{\Delta_1} = - \frac{b \cdot R \cdot d\Delta}{B \cdot v \cdot \Delta_1} = - \frac{b \cdot R \cdot d\Delta}{B \cdot v^2 \cdot \Delta}$$

$$dR = \frac{B}{b} v. dR_2 = - \frac{R \cdot d\Delta}{v \cdot \Delta} = - \frac{R \cdot d\Delta}{v \cdot \Delta}.$$

При свободномъ зрѣніи и разстояніи между глазами „ $b$ “

$$(dR) = - \frac{R \cdot d\Delta}{\frac{b}{B} \cdot \Delta}$$

Отношеніе точностей при наблюденіи при помощи телестереоскопа и невооруженнымъ глазомъ:

$$q = \frac{dR}{(dR)} = \frac{\frac{R \cdot d\Delta}{v \cdot \Delta}}{\frac{R \cdot d\Delta}{\frac{b}{B} \cdot \Delta}} = \frac{\frac{b}{B} \cdot \Delta}{v \cdot \Delta} = \frac{1}{\frac{B}{b} \cdot \Delta}.$$

$$\text{Въ нашемъ случаѣ } k = \frac{B}{b} \cdot v = 100 \text{ и } q = \frac{1}{100}.$$

Если принять  $d\Delta = \frac{1}{2}$ ,  $v = \frac{B}{b} = 10$ , то получимъ

таблицу:

| при $R$ | $dR: R$          | $\frac{Rd\Delta}{v \cdot \Delta}$ | $d\Delta = \frac{1}{6876} = \frac{1}{2}$ |
|---------|------------------|-----------------------------------|------------------------------------------|
| 20 мтр. | $\frac{1}{2063}$ | 10 мм.                            | $\Delta = \frac{600}{20000} = 0,03$      |
| 40 "    | $\frac{1}{1031}$ | 40 "                              | $\Delta = \frac{600}{40000} = 0,015$     |
| 80 "    | $\frac{1}{518}$  | 160 "                             | $\Delta = \frac{600}{80000} = 0,0075$    |
| 160 "   | $\frac{1}{258}$  | 640 "                             | $\Delta = \frac{600}{160000} = 0,00375$  |

Предѣльное разстояніе воспріятія глубинъ для  $R_2$

$$R_2 = \frac{b}{d\Delta} \text{ и соотвѣтствующее ему}$$

$$R = \frac{B \cdot v}{d\Delta} = E - \text{предѣлъ рельефнаго зрѣнія системы.}$$

$$dR = - \frac{R \cdot d\Delta \cdot B}{v \cdot \Delta \cdot B} = \pm \frac{R^2}{E}.$$

*Точность стереофотограмметрическаго измѣренія негативовъ.*

Точность построенія плана въ стереофотограмметрическомъ способѣ зависитъ отъ точности опредѣленія разстоянія  $R$  и координатъ  $X$  и  $Y$ , а онѣ въ свою очередь зависятъ отъ точности измѣренія  $x$ ,  $y$  и  $a$  на стереокомпараторѣ.

Изъ выраженія  $R = \frac{Bf}{a}$  слѣдуетъ, что

$$dR = -B \cdot f \cdot \frac{da}{a^2} + \frac{f \cdot dB}{a} = \frac{R \cdot dB}{B} - \frac{R^2 da}{B \cdot f} \quad (1)$$

Замѣняя линейную разность параллаксавъ  $da$  чрезъ разность конвергентныхъ угловъ  $\delta$  по формулѣ  $da = \varphi \cdot \delta$ , гдѣ  $\varphi$  — фокусное разстояніе окуляра; принимая дальше во вниманіе, что при  $v$  — полномъ увеличеніи снятаго предмета въ стереокомпараторѣ,  $\xi$  — увеличеніи однихъ объективовъ стереокомпараторовъ (см. черт. 27).

$$A_1 = \frac{f}{v \cdot \varphi} A_3; A_2 = v \cdot \xi \cdot A_1 = v \cdot \xi \cdot \frac{f}{v \cdot \varphi} A_3$$

$$A_2 = \xi \cdot \frac{f}{\varphi} \cdot A_3; \frac{A_2}{A_3} = \xi \cdot \frac{f}{\varphi} = V$$

$v$  — увеличеніе окуляровъ.

Пусть  $V \frac{B}{b} = k$  — полная пластика системы;

тогда 
$$dB = \frac{R \cdot dB}{B} - \frac{R^2 \cdot \delta \cdot \xi}{b \cdot k} \dots \dots (2)$$

Принимая во вниманіе, что  $b = r \cdot \delta$ ,

$$dR = \frac{R \cdot dB}{B} \pm \frac{R^2 \xi}{r \cdot k}$$

Такъ какъ  $k \cdot r = Z$  есть рельефное зрѣніе стереоскопической трубы (стереофототеодолита въ соединеніи со стереокомпараторомъ), то

$$dR = \frac{R \cdot dB}{B} \pm \frac{R^2}{Z} \cdot \xi.$$

При  $dB = 0$  и  $\xi = 1$  (шестикратное увеличеніе окуляровъ).

$$dR = \pm \frac{R^2}{Z}.$$

Для вычисленія ошибокъ при  $= 30$  мм. въ формулу (1) необходимо вставлять  $da = 0,01$  мм., а въ формулу (2)  $S = 1'$ , такъ какъ  $a$  измѣряется съ точностью до 0,005 мм. и углу въ  $30''$  соотв.  $da = 0,005$  мм.; такимъ образомъ, будутъ учтены ошибки зрѣнія и измѣренія параллакса на стереокомпараторѣ, принимая первую въ  $\frac{1'}{2}$  и вторую въ 0,005 мм.

$dB$  опредѣлимъ слѣдующимъ образомъ:

$B = \frac{10.000 \cdot L}{d}$ , если  $L$ —длина рейки и  $d$ —отсчетъ съ точностью до  $\frac{1}{20}$  дѣленія барабана

$$dB = - \frac{10.000 \cdot L}{d^2} \Delta d = - \frac{B \cdot \Delta d}{d}$$

При  $L = 3$  мтр. и  $B = 200$  мтр.,  $d = 150$ , такъ какъ

$$L = 2 \cdot B \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; 2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{3}{200} = 0,015 \text{ (см. черт. 28).}$$

$$\text{Отсюда } dB = \pm \frac{220 \cdot 1}{20 \cdot 150} = \pm \frac{1}{15} = \pm 0,067 \text{ мтр.}$$

или  $dB = \pm 0,00035 \cdot B$ .

$$\text{Отсюда уже опредѣлимъ } dB = \frac{R \cdot dB}{B} - \frac{R^2 \cdot da}{B \cdot f}.$$

Примемъ  $f = 0,127$  мтр. и допустимъ для плана въ

масштабъ  $\frac{1}{5000}$  ошибку въ опредѣленіи разстояній до 3 мтр., тогда получимъ выраженіе для базиса

$$\pm \frac{R \cdot 0,00035}{dR} - \frac{R^2 \cdot da}{B \cdot f \cdot dR} = 1$$

$$\frac{R^2 da}{B \cdot f \cdot dR} = -1 + \frac{\pm R \cdot 0,00035}{dR} = \frac{-dR \mp R \cdot 0,00035}{dR}$$

$$B = \frac{R^2 \cdot dR \cdot da}{f \cdot dR [\pm R \cdot 0,00035 - dR]} = \pm \frac{R^2 \cdot da}{f(0,00035 \cdot R \mp dR)}$$

при  $da_1 = 0,00001$  и  $dR = 3$  получимъ

для  $R = 500$  —  $B = \infty$  6 мтр.

„  $R = 1000$  —  $B = \infty$  23 „

„  $R = 2000$  —  $B = \infty$  85 „

„  $R = 3000$  —  $B = \infty$  175 „

При съёмкахъ съ судна и въ аналогичныхъ случаяхъ, гдѣ величина  $B$  можетъ быть разъ навсегда точно измѣрена, можно пользоваться формулой

$$dR = - \frac{R^2 \cdot da}{Bf} = - \frac{R^2}{Z}.$$

Высота точки надъ горизонтомъ объектива опредѣляется по формулѣ:

$$Y = \frac{R}{f} \cdot y.$$

Отсюда ошибка

$$\Delta Y = \frac{y \cdot \Delta R + R \cdot \Delta y}{f}; \quad R = \frac{f \cdot \Delta Y - y \cdot \Delta R}{\Delta y}.$$

Принимая далѣе во вниманіе, что самыя отдаленныя точки, обыкновенно, не выходятъ изъ средней трети пластинки и что  $\Delta y$  не можетъ быть больше 0,00005 мтр., получимъ для  $y = 0,015$  мтр.,  $\Delta R = 3$  мтр.,  $\Delta y = 0,00005$  мтр.  $f = 0,127$  мтр. и  $\Delta Y = 0,50$  мтр.

$$R = \frac{0,127 \cdot 0,5 - 0,015 \cdot 3}{0,00005} = \frac{0,019}{0,00005} = \frac{1900}{5} = 380 \text{ мтр.} = \infty 400 \text{ мтр.}$$

при  $\Delta Y = 1,000$  мтр.

$$R = \frac{0,127 - 0,015 \cdot 3}{0,00005} = \frac{0,08200}{0,00005} = 1640 \text{ мтр.}$$

Для абсциссъ получимъ

$$X = \frac{R}{f} \cdot x; \quad \Delta X = \frac{x \cdot \Delta R + R \cdot \Delta x}{f}$$

$$R = \frac{f \cdot \Delta X - x \cdot \Delta R}{\Delta x}$$

при  $\Delta X = 3$  мтр.

$$R = \frac{0,127 \cdot 3 - 0,06 \cdot 3}{0,00005} = \frac{20100}{5} = 4020 \text{ мтр.}$$

Такимъ образомъ, наибольшія ошибки въ планѣ будутъ  $3 \cdot 1,14 = \infty 3,5$  мтр. и наибольшія ошибки въ отмѣткахъ не превысятъ 1 мтр. при разстояніи до снимаемаго предмета не большемъ 1640 метровъ и — 0,50 мтр. при разстояніи до снимаемаго предмета не большемъ 400 мтр.

### ЗАКЛЮЧЕНІЕ.

При желѣзнодорожныхъ изысканіяхъ точное опредѣленіе высотъ точекъ имѣетъ весьма важное значеніе; поэтому нелишнимъ было бы снабдить стереокомпараторъ микрометреннымъ винтомъ для измѣренія не только параллаксовъ  $a$ , но и ординатъ  $y$  съ точностью до 0,005 миллиметра.

Другимъ затрудненіемъ для примѣненія стереофотограмметріи, кромѣ дороговизны инструмента, для желѣзнодорожныхъ изысканій является то обстоятельство, что всѣ размѣры при измѣреніи на существующихъ инструментахъ получаются въ метрической системѣ.

#### *Примѣненіе стереофотограмметріи при желѣзнодорожныхъ изысканіяхъ.*

Если ограничиться точностью плана въ  $\pm 3,5$  метра и отмѣтокъ въ 1 метръ для наиболѣе удаленныхъ отъ стоянки точекъ, то является возможность, производя съемку отъ разбитой предварительно магистрали, снять полосу шириной въ 3 версты, устанавливая инструментъ, если мѣстность это позволить, чрезъ каждыя двѣ версты. При средней успѣшности работы съ однимъ стереофототеодолитомъ въ 6 кв. верстъ въ день одна изыскательная партія сниметъ въ мѣсяцъ около 150 кв. верстъ; для того, чтобы кабинетная работа по измѣренію негативовъ поспѣвала за съемкой, въ

каждой партіи на одинъ стереофототеодолитъ полезно имѣть два стереокомпаратора.

Особенную пользу стереофотограмметрическая съемка можетъ принести въ мѣстахъ гористыхъ, недоступныхъ для съемки тахеометрической.

Неоцѣнимую услугу стереофотограмметрическая съемка можетъ оказать при изслѣдованіяхъ движенія воды въ рѣкахъ и каналахъ, прохода воды черезъ искусственныя сооруженія — мосты, трубы и плотины. Въ самомъ дѣлѣ, рядъ поплавковъ, пущенныхъ выше сооруженія, можетъ быть сфотографированъ чрезъ нѣкоторые опредѣленные промежутки времени; по полученнымъ негативамъ возможно опредѣлить для каждого даннаго момента положеніе любого поплавка въ пространствѣ; по этимъ даннымъ можетъ быть подобрано уравненіе движенія для любой струи и нарисована проекція ея траекторіи и кривая скоростей.

Казалось бы, что этотъ методъ могъ бы оказаться весьма полезнымъ при изслѣдованіи водяныхъ воронокъ и бугровъ у искусственныхъ сооруженій при пересѣченіи водотоковъ желѣзнодорожной насыпью.

*Инженеръ В. О. Фрейбергъ.*

