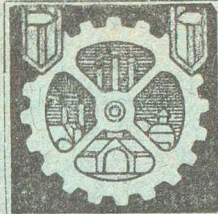




ИНЖЕНЕРНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ  
БИБЛИОТЕКА



СОЛОВЬЕВ С. М., проф.

6.7  
22492

ОСНОВНОЙ КУРС  
НИЗШЕЙ ГЕОДЕЗИИ

Часть II



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва — 1931

826



Инженерно-Промышленная Библиотека

---

СОЛОВЬЕВ С. М., проф.

# ОСНОВНОЙ КУРС НИЗШЕЙ ГЕОДЕЗИИ

Часть II

ИЗДАНИЕ ПЯТОЕ

(стереотипное со второго, отредактированного  
и дополненного проф. П. М. Орловым)

с 268 ЧЕРТЕЖАМИ В ТЕКСТЕ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

Москва



3. Серия 4

№ 2011-151

Гослит № А-78271.

Заказ № 1691. 1931 г.

Тираж 30100 экз. 17 п. л.

# ОГЛАВЛЕНИЕ.

## Г Л А В А I.

### Вертикальная съемка.

Стр.		Стр.
7	1. Цель и виды вертикальной съемки . . . . .	7
	<b>Геометрическое нивелирование.</b>	
	2. Общее понятие о геометрическом нивелировании, инструменты, необходимые для его производства и подразделение его на „нивелирование вперед“ и „нивелирование из середины“ . . . . .	7
	3. Виды инструментов, употребляющихся при нивелировании . . . . .	8
	4. Деление нивелиров на глухие и с перекладными трубами . . . . .	11
	5. Глухой нивелир . . . . .	11
	6. Поверка глухого нивелира . . . . .	11
	7. Нивелиры с перекладными трубами . . . . .	15
	8. Условия, требуемые от нивелиров с перекладными трубами и их поверка . . . . .	18
	Поверка нивелира Эго . . . . .	18
	„    „    „ с уровнем под трубой . . . . .	21
	„    „    „ перекладным на трубе уровнем . . . . .	22
	9. Нивелирные рейки . . . . .	23
	<b>Производство геометрического нивелирования.</b>	
	10. Виды геометрической нивелировки . . . . .	24
	11. Нивелирование узкой полосы земли . . . . .	25
	12. Отметка. Репер. Связующие и промежуточные точки нивелировки . . . . .	25
	13. Разбивка прямых линий . . . . .	26
	14. Разбивка закруглений в главных их точках . . . . .	26
	15. Нумерация кольев пикетажа . . . . .	27
	16. Ведение пикетажной книжки . . . . .	29
	17. Порядок работы при сложном продольном нивелировании . . . . .	29
	18. Превышение конечной точки над начальной при сложном нивелировании . . . . .	34
	19. Уклонение рейки от отвесного направления . . . . .	34
	20. Поправка от кривизны земли и рефракции . . . . .	35
	21. Сравнение нивелирования „вперед“ с нивелированием „из середины“ . . . . .	37
	22. Нивелирование крутых скатов . . . . .	38
	23. Поперечное нивелирование . . . . .	40
	24. Контроль отсчетов по рейкам . . . . .	41
	25. Журнал нивелирования . . . . .	42
	Закладные марки (реперы) . . . . .	43
	26. Вычисление отметок технической нивелировки . . . . .	44
	27. Увязка сомкнутого нивелирного хода и хода, пройденного два раза (вперед и назад) с нивелиром . . . . .	45
	28. Вычерчивание профиля . . . . .	46
	Построение поперечных профилей . . . . .	48
	29. Падение и уклон линии . . . . .	49
	30. Проведение проектной линии . . . . .	50
	31. О горизонталях . . . . .	51
	32. Свойство горизонталей . . . . .	52
	33. Виды и названия отдельных частей неровностей местности . . . . .	53
	34. Недостатки горизонталей . . . . .	55
	35. Разбивка на местности точек и прямых, проекта . . . . .	56
	36. Нивелирование поверхности . . . . .	58
	37. Нивелирование реки. Определение живого сечения . . . . .	62
	Определение уклона реки . . . . .	64
	38. Нивелирование дна стоячих вод . . . . .	67



Г Л А В А II.

Детальная разбивка закруглений.

39.	Разбивка главных точек в расстояния между промежуточными точками . . . . .	69
40.	Употребление таблиц при разбивке закруглений . . . . .	75
41.	Перенос пикетов на кривую . . . . .	77
42.	Разбивка извилины . . . . .	78
43.	О переходных кривых . . . . .	80

Г Л А В А III.

Тахиметрия.

44.	Общее понятие . . . . .	81
45.	Теория дальномера Эртеля . . . . .	82
46.	Устройство дальномера Порро . . . . .	83
47.	Теория дальномера Порро . . . . .	84
48.	О высотомерах (место нуля вертикального круга) . . . . .	85
49.	Применение дальномера-высотомера к вертикальной съемке . . . . .	88
50.	Порядок работ при вертикальной съемке, производимой дальномерами-высотомерами . . . . .	90
51.	Цель съемки тахиметром, ее особенность, преимущества и недостатки . . . . .	93
52.	Тахиметры . . . . .	93
53.	Порядок производства тахиметрической съемки . . . . .	94
54.	Кроки . . . . .	96
55.	Порядок наблюдений инструментом . . . . .	96
56.	Составление плана . . . . .	98
57.	Назначение горизонталей на плане по данным альтитудам точек земной поверхности . . . . .	100
58.	Приспособления для вычисления превышений точек местности . . . . .	101
	Таблица высот . . . . .	102
	Масштаб высот . . . . .	103
59.	Вычислительная логарифмическая линейка проф. Вильда . . . . .	104
60.	Тахиметры автоматы . . . . .	108
61.	Поверки тахиметра Вагнера . . . . .	114
62.	Тахиметр-автомат Санге . . . . .	117
63.	Теория тахиметра Санге . . . . .	118
64.	Поверка тахиметра Санге . . . . .	121
65.	Некоторые практические замечания относительно употребления тахиметра Санге . . . . .	123

Г Л А В А IV.

66.	Задачи, решаемые по плану с горизонталями . . . . .	125
	Масштаб заложенный . . . . .	126

Г Л А В А V.

Мензульная съемка.

67.	Предварительные понятия . . . . .	130
68.	Устройство мензулы . . . . .	131
69.	Построение на мензуле горизонтального проложения угла и необходимые принадлежности мензулы . . . . .	133
70.	Поверка мензулы . . . . .	134
71.	Описание принадлежностей мензулы и их поверки . . . . .	135
	Вилка . . . . .	135
	Алидада . . . . .	136
	Кипрегель . . . . .	137
	Вуссоль . . . . .	142
	Основные задачи, решаемые мензулою на местности.	
72.	Ориентирование мензулы, прямая и обратная засечки . . . . .	143
73.	Задача Потенота . . . . .	146
74.	О возможном положении искомой точки относительно трех данных . . . . .	147
75.	Непосредственное и посредственное решение задачи Потенота . . . . .	148
	Способ Боуенберга а Бесселя . . . . .	149
	"    Лемана . . . . .	150
	"    Боуенберга . . . . .	151
76.	Мензульная съемка, основанная на составлении геометрической сети . . . . .	153
	Выбор точек сети . . . . .	154

§§	Стр.
76. Выбор базиса и его длина . . . . .	154
Измерение базиса . . . . .	155
Нанесение пунктов сети на планшет . . . . .	155
77. Съемка контуров мензулою . . . . .	158
78. Съемка мензулою на основании тригонометрической сети . . . . .	161
79. Нанесение горизонталей при мензульной съемке . . . . .	162
80. Поверка мензульной съемки . . . . .	163
81. Достоинства и недостатки мензульной съемки . . . . .	163

Г Л А В А VI.

**Быстрые съемки небольшой точности.**

82. Цель глазомерной съемки . . . . .	164
83. Общий характер работ . . . . .	165
84. Виды глазомерной съемки . . . . .	166
85. Основные приемы глазомерной съемки . . . . .	166
86. Графический способ нанесения на бруслов направлений. Компас . . . . .	166
87. Ручные буссоли Шмалькальдера и Бюрнье . . . . .	167
88. Нанесение на бумагу линии по измеренному азимуту . . . . .	169
89. Масштабы шагов и времени . . . . .	169
90. Определение расстояний по глазомеру . . . . .	171
91. Дальномеры, употребляющиеся при глазомерной съемке . . . . .	172
92. Определение расстояний по звуку . . . . .	172
93. Нанесение на план различных предметов . . . . .	173
94. Съемка маршрута в участка . . . . .	173
95. Съемка неровностей без предварительного определения высот точек местности . . . . .	175
96. Пример съемки маршрута . . . . .	177
97. Вычерчивание кроки и вид оконченной глазомерной съемки . . . . .	178

Г Л А В А VII.

**Барометрическое нивелирование.**

98. Цель барометрического нивелирования, его основы и существенное отличие от других видов нивелировки . . . . .	179
99. Приборы для барометрического нивелирования . . . . .	181
100. Анероиды . . . . .	182
Анероиды Ноде . . . . .	183
Анероид Гольдшмидта-Гёттингера . . . . .	185
101. Перевод показаний анероида на показания ртутного барометра . . . . .	186
102. Гипсометрическая формула . . . . .	188
103. Определение постоянной величины А гипсометрической формулы . . . . .	190
104. Введение поправки за температуру. Формула Бабице . . . . .	191
105. Вывод сокращенной формулы барометрического нивелирования . . . . .	192
106. Числовые примеры на употребление таблиц . . . . .	194
107. Способы барометрического нивелирования . . . . .	195
Способ соответствующих наблюдений . . . . .	196
Способ абсолютных наблюдений . . . . .	197
108. Гипсотермометры или термобарометры . . . . .	198
109. Точность барометрического нивелирования . . . . .	199

Г Л А В А VIII.

**Перерисовка планов.**

110. Общее понятие . . . . .	199
111. Перерисовка без изменения масштаба . . . . .	200
112. Перерисовка с изменением масштаба . . . . .	200
113. Приспособления, употребляемые для перерисовки планов в данном линейном изменении, при геометрическом способе . . . . .	202
114. Механический прием перерисовки планов и карт. Пантограф . . . . .	203
115. Теория пантографа . . . . .	205
116. О выражении неровностей местности штрихами на картах в планах . . . . .	207

Г Л А В А IX.

**Общее понятие о тригонометрической сети.**

117. Значение триангуляции для съемок . . . . .	210
118. Размеры треугольников сети, деление треугольников (сеток) сети на разряды (классы) и перечень работ на триангуляции . . . . .	211
Разделение точек сети на разряды . . . . .	211
Перечень работ при составлении триангуляции . . . . .	212
119. Осмотр местности . . . . .	212

§§	Стр.
120. Сигналы . . . . .	212
121. Измерение углов . . . . .	213
122. Измерение базиса . . . . .	213
Способ Струве . . . . .	214
123. Вычисление длины базиса . . . . .	215
124. Окончательное вычисление сети . . . . .	215
125. Вычисление координат точек сети . . . . .	215
126. Пользование тригонометрической сетью для съемок . . . . .	215
127. Задача Потенота . . . . .	217

## Г Л А В А X.

### Приложение геодезии к вопросам землепользования.

#### Привязка точек окружных границ участка к пунктам сети и к постоянным предметам местности.

128. Предварительные понятия . . . . .	219
129. Привязка граничных линий к точкам сети: по задаче Потенота . . . . .	220
130. Привязка способом промеров . . . . .	220
131. Привязка к постоянным предметам местности . . . . .	220

#### Задачи, решаемые по плану горизонтальной съемки.

132. Проведение просека через лес . . . . .	223
133. Розыскание точек границ, привязанных к пунктам сети . . . . .	222
134. О розыскании пункта, привязанного к постоянным предметам, по способу Марека . . . . .	223
135. Розыскание границ на местности по межевым документам . . . . .	224
136. Выпрямление границ . . . . .	228
137. Деление площадей . . . . .	231
138. Разбивка поля на гектары . . . . .	235

## Г Л А В А XI.

### О неизбежных погрешностях измерений.

139. Общее понятие о погрешностях измерений . . . . .	236
140. Свойства случайных ошибок равноточных наблюдений . . . . .	238
141. Арифметическая середина равноточных наблюдений и ее свойства . . . . .	239
142. Абсолютная и относительная погрешность . . . . .	241
143. Середина ошибок и средняя квадратическая ошибка . . . . .	241
144. Вычисление средней ошибки из наблюдений . . . . .	242
145. Средняя ошибка арифметической середины . . . . .	243
146. Понятие о вероятной ошибке . . . . .	244
147. Предельная или максимальная ошибка наблюдения . . . . .	244
148. Общая арифметическая середина; понятие о весе наблюдений . . . . .	244
149. Средние ошибки функций непосредственных наблюдений . . . . .	246
150. Определение средней ошибки по разностям двачных измерений . . . . .	250

## Г Л А В А XII.

### Фотограмметрия и стерео-фотограмметрия.

151. А. Фотограмметрия. Определение и общее понятие . . . . .	251
152. Геометрические основания фотограмметрии . . . . .	251
153. Построение плана местности по двум фотографиям и определение высот точек местности . . . . .	252
154. Б. Стерео-фотограмметрия . . . . .	254
155. Стереоскопическое видение . . . . .	255
156. Телестереоскоп Гельмгольца . . . . .	256
157. Движущаяся марка в телестереоскопе . . . . .	257
158. Винокулярный микроскоп Цейсса . . . . .	258
159. Определение стереоскопического зрения . . . . .	259
160. Фототеодолит Цейсса . . . . .	259
161. Измерение базиса, помощью микрометричного винта фототеодолита . . . . .	260
162. Стереоконпаратор . . . . .	261
163. Построение плана . . . . .	264
164. Автостереограф фон-Орла . . . . .	266
165. Точность построения плана в стереофотометрическом способе . . . . .	267
166. Определение длины подходящего базиса . . . . .	267
167. Аэрофотосъемка . . . . .	267



## Предисловие ко 2-му изданию.

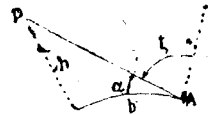
Вторая часть книги „Основной курс низшей геодезии“ подверглась редакции в таком же объеме, как и первая часть. Именно, все меры, за исключением двух-трех случаев, переведены в метрические; текст внимательно просмотрен, из него исключены некоторые подробности, отвлекающие учащегося от главной темы и изложение согласовано с чертежами.

Проф. П. М. Орлов.

### ГЛАВА I.

#### Вертикальная съемка.

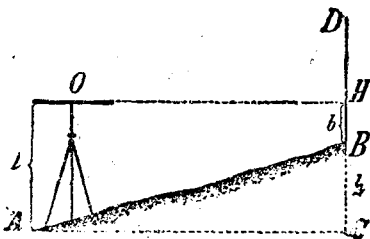
§ 1. Цель и виды вертикальной съемки. Вертикальная съемка имеет целью определение общего характера поверхности (рельефа) снимаемой местности помощью относительных высот точек земной поверхности, или разности их уровней. Различают относительные высоты от абсолютных. Все абсолютные высоты относятся к одному и тому же уровню, напр., моря (Балтийского, Черного). Превышение  $h$  (или иначе „разность уровней“, „относительная высота“) одной точки земной поверхности над другой может быть определено несколькими приемами. В геодезии рассматриваются три вида вертикальной съемки: 1) съемка с помощью горизонтального луча зрения, называемая „геометрическим“ нивелированием; 2) съемка при посредстве наклонного луча зрения по определенному расстоянию  $b$  и углу  $\alpha$  наклона (черт. 1) между двумя точками, это так называемая тахиметрия, или 2') по тригонометрически вычисленному горизонтальному расстоянию  $\rho$  и зенитному расстоянию  $\zeta$ , заменяющему угол наклона; в этом случае вертикальную съемку называют тригонометрическим, а чаще геодезическим нивелированием и 3) вертикальная съемка, основанная на определении барометром давления воздуха в различных слоях атмосферы, окружающей данные точки земной поверхности, называемая барометрическим или физическим нивелированием.



Черт. 1.

#### Геометрическое нивелирование.

§ 2. Общее понятие о геометрическом нивелировании, инструменты, необходимые для его производства, и подразделение его на „нивелирование вперед“ и „нивелирование из середины“. Общая идея о возможности определения превышения одной точки над другой помощью горизонтального луча зрения состоит в следующем: пусть требуется определить превышение  $h = BC$  (черт. 2) точки  $B$  местности над точкою  $A$ . Достичь этого можно двояко: 1) поместив инструмент, специально приспособленный, чтобы давать горизонтальный луч зре-



Черт. 2.

ния, нивелир, в точке  $A$ , а вертикальный брус с делениями—рейку в точке  $B$ , или 2) поместив инструмент в середине  $M$  (черт. 3) между точками  $A$  и  $B$ , в данных точках—две вертикально установленные рейки с одинаково нанесенными на них делениями. В первом случае, называемом „нивелированием вперед“, превышение  $BC=h$  найдется, как разность  $i-b$  высоты инструмента  $i=AO$ , непосредственно измеренной от земли до горизонтального луча зрения  $OH$ , собственно до центра окуляра зрительной трубы, и высоты  $b=BH$ , прочтенной или отмеченной по рейке в точке  $H$  помощью того же горизонтального луча зрения  $OH$ .

Отчет  $BH=h$  делается в тех же мерах, в каких выражено  $i$ . Итак, искомая разность уровней будет:

$$h = i - b.$$

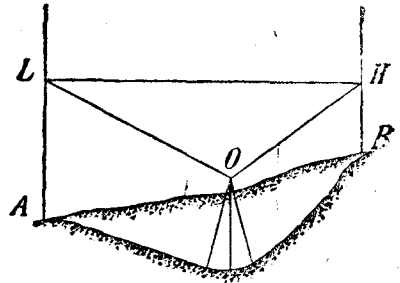
Она берется со знаком  $+$  для местности повышающейся и со знаком  $-$  для местности понижающейся.

Во втором случае, называемом „нивелированием из середины“, та же разность уровней  $h$  может быть найдена по разности отсчетов  $n$  и  $e$  (черт. 3), сделанных на обеих рейках, установленных на концах данной линии  $AB$ , по одному и тому же горизонтальному лучу  $LOH$  зрения, т. е.

$$h = n - e.$$

Называя отчет  $n$  по задней рейке взглядом назад, а отчет  $e$  по передней рейке взглядом вперед, можно сказать, что разность  $h$  уровней двух точек (относительная их высота или превышение одной над другой) равняется, при нивелировании из середины, взгляду назад минус взгляд вперед.

Из чертежа 4 видно, что при нивелировании из середины нет надобности становиться с инструментом точно на линию  $AB$ , а возможно помещать инструмент в стороне (в точку  $O$ ) от той линии  $AB$ , которая нивелируется, лишь бы отсчеты  $L$  и  $H$  по задней и передней рейкам были произведены в одной горизонтальной плоскости  $OLH$ , проходящей через точку  $O$  пересечения визирной оси с вертикальной осью вращения инструмента.

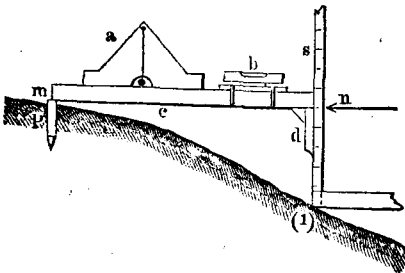


Черт. 4.

§ 3. Виды инструментов, употребляющихся при нивелировании. В предыдущем параграфе мы видели, что при геометрическом нивелировании необходимо иметь:

- 1) инструмент, дающий горизонтальный луч зрения и 2) вертикальный брус с делениями или рейку.

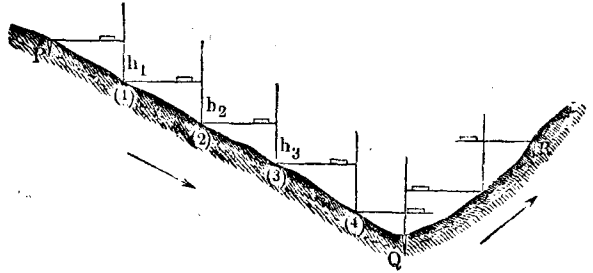
Инструменты, дающие более или менее точно горизонтальный луч зрения или просто горизонтальную прямую, бывают различны по устройству. Одним из таких инструментов является простой плотничный ватерпас. Если у ватерпаса  $a$  (черт. 5) горизонтальный брус  $mn$  достаточно длинен, то он может с удобством служить для непосредственного определения превышения одной точки над другой. В этом



Черт. 5.

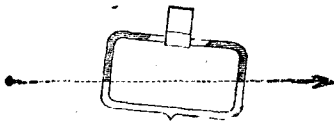
случае к нему присоединяют и рейку  $S$  с делениями. Ватерпас  $a$  обыкновенно заменяется цилиндрическим уровнем  $b$ .

Ватерпасовку производят с помощью горизонтального бруса, могущего одним концом опираться на кол  $P$  (черт. 6), вбитый в землю, а другим на скобу  $d$  с крючком, удерживаемую винтом на вертикальной рейке. Конец рейки  $s$  дает на земле точку (1), превышение  $h$  которой над начальной точкой  $P$  прочтется непосредственно по рейке в точке  $n$  (черт. 5 и 6). Последовательная же постановка ватерпаса в точках (1), (2), (3), (4)...  $Q$  (черт. 6) и т. д. дает превышение  $H$  точки  $P$  над точкою  $Q$  в виде суммы  $H = h_1 + h_2 + h_3 + \dots h_n$ .

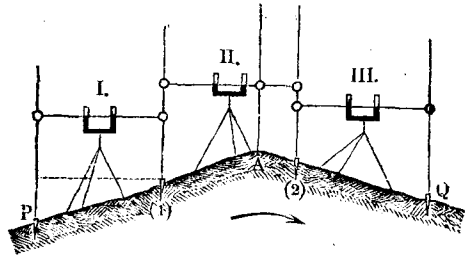


Черт. 6.

Инструменты, дающие горизонтальный луч зрения, принято называть нивелирами. Простейший из них есть водяной нивелир. Устройство его основано на том свойстве жидкости, что ее поверхность будет лежать на одной и той же высоте (над горизонтом данной местности) в двух сообщающихся между собою сосудах (черт. 7). Сосудами могут служить склянки узкой продолговатой формы, соединенные общим каналом. Работа с водяным нивелиром схематически изображена на черт. 8.

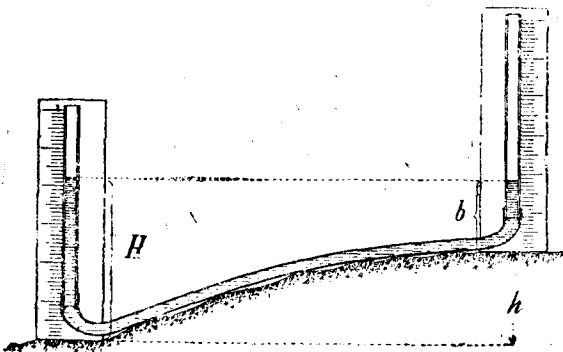


Черт. 7.



Черт. 8.

проходящую через горизонтальные поверхности жидкости в каждой из склянок. Из этого же чертежа видно, что разность уровней двух данных точек  $P$  и  $Q$  может быть определена по частям, в виде суммы, так же, как и при ватерпасовке, последовательной постановкой водяного нивелира в пунктах I, II и III.



Черт. 9.

Если склянки заменить подходящими до земли длинными стеклянными трубками, плотно прилегающими к шкалам (рейкам) так, чтобы по шкалам можно было читать высоту уровня воды в стеклянных трубках и нижние концы этих стеклянных трубок соединить между собою длиною в несколько метров резиною (гуттаперчевою) трубкою, то возможно будет устанавливать стеклянные трубки с их шкалами (рейки Штраусса) в двух точках местности, удаленных между собою, на длину гуттаперчевой трубки, по шкалам делать отсчеты  $H$  и  $b$

(черт. 9) и находить  $h = H - b$ , т.е. разность уровней тех точек, где стоят шкалы.

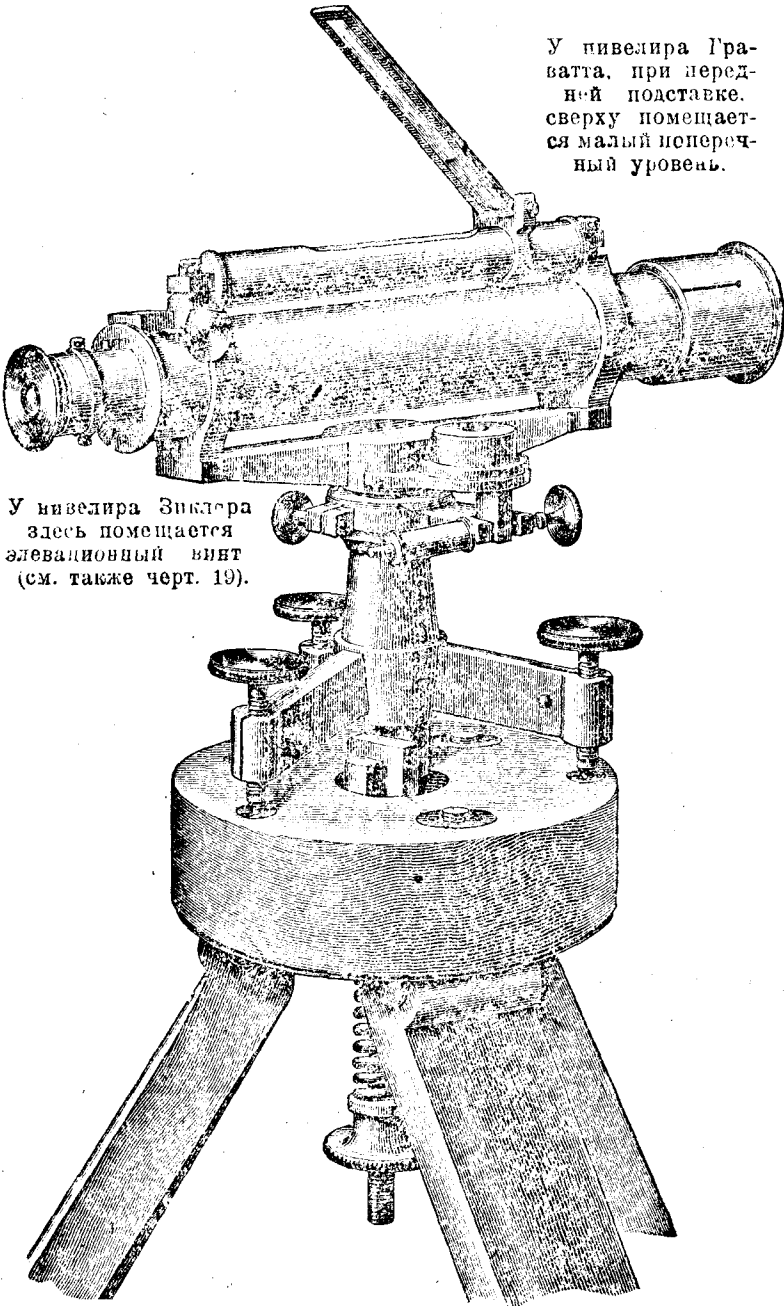


Самые распространенные и удобные при употреблении нивелиры — это нивелиры с зрительными трубами, визирная ось которых парал-

Зеркало.

У нивелира Граватта, при передней подставке, сверху помещается малый поперечный уровень.

У нивелира Энклера здесь помещается элевационный винт (см. также черт. 19).



Черт. 10.

ельна оси цилиндрического уровня. Зрительная труба (или заменяющее ее диоптры с горизонтальным волосом) и цилиндрический уровень — существенные и необходимые составные их части.

§ 4. Деление нивелиров на глухие и с перекладными трубами. Нивелиры с зрительными трубами делятся на две группы: 1) одни, у которых трубы не перекадываются в подставках, а соединены с ними наглухо, так что труба, уровень и подставка составляют одно нераздельное целое; такие нивелиры называются глухими; 2) другие имеют трубы, вынимающиеся из подставок, эти нивелиры допускают возможность переложить трубу в подставках таким образом, чтобы объектив занял место окуляра и наоборот, и поэтому называются нивелирами с перекладными трубами.

Трубы нивелиров, предназначенные для чтения делений удаленной рейки, должны иметь достаточно большое увеличение, а потому чаще снабжаются окулярами Рамсдена, хотя нивелиры берлинского механика Мейснера все с окулярами Гюйгенса.

§ 5. Глухой нивелир (работы механиков Dennert и Rare в Альтоне) изображен на черт. 10. Труба привинчена к вертикальным подставкам горизонтальной линейки, на которые поверх трубы насажен цилиндрический уровень. Линейка снизу имеет конус, служащий вертикальной осью вращения инструмента. Ось соединяется с треножником о трех подъемных винтах, которыми нивелир становится на голову штатива: она проходит через полую вертикальную цапфу треножника и закрепляется снизу гайкой. Для удобства употребления инструмента, цапфа треножника снабжена хомутом с нажимательным и микрометрическим винтами; на горизонтальной линейке посажен круглый уровень, под которым и помещается микрометрический винт. Штатив с нивелиром связывается штативным винтом со спиральной пружиной.

Ось уровня относительно вертикальной оси вращения нивелира может менять свое положение исправительным винтом на левом конце уровня.

Визирная же ось трубы и ось цилиндрического уровня могут несколько изменять свое взаимное положение в вертикальной плоскости с помощью двух вертикальных винтов сетки трубы.

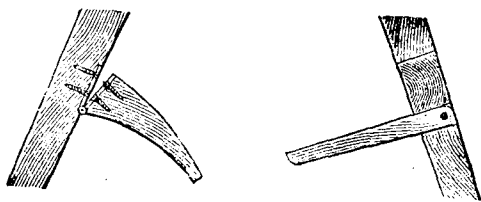
Кроме того, на трубе имеется еще малый поперечный цилиндрический уровень (напр., в английском нивелире Граватта лондонских фирм Stanley и Негретти и Камбра), при горизонтальности оси которого одна из нитей сетки должна быть горизонтальна. Он также имеет исправительные винты.

Для того, чтобы можно было наблюдать положение пузырька уровня относительно середины его стеклянной трубки, не сходя с места и имея глаз при окуляре трубы, над уровнем или сбоку ставится зеркало.

Зеркало, вращающееся на шарнире, имеет большое значение на зыбком, болотистом грунте и при ветреной погоде.

Объектив задвигается круглою пластинкою, составляющей дно крышки в виде подвижного на объективе цилиндра — бленды; пластинка при употреблении трубы опускается вниз.

К ножке штатива для более удобной переноски инструмента рекомендуется прикреплять плечевой крючок. Вид этого крючка, не позволяющего краям ножек штатива давить на плечо, изображен на чертеже 11, для сквозной ножки направо и для сплошной ножки штатива налево.



Черт. 11.

§ 6. Проверка глухого нивелира. Согласно идее геометрического нивелирования, визирная ось нивелира должна быть во время работы горизонтальна. Приведение ее в такое положение может быть достигнуто помощью цилиндрического уровня, соединенного с трубой или ее подставкой: но это будет возможно только в том случае, когда ось уровня и визирная ось трубы параллельны друг другу. Поэтому,

во всяком нивелире нужно прежде всего убедиться, выполняется ли это главнейшее требование, т.-е. параллельна ли визирная ось трубы оси цилиндрического уровня. Затем к нивелиру можно предъявлять и другие условия как ради удобства его употребления, так и для того случая, когда с одной точки стояния нивелиром (с одной станции) приходится визировать вокруг на несколько пикетов (мест постановки рейки).

При приобретении нивелира требуется проверить один раз навсегда, чтобы уровень, параллельный трубе, имел достаточную и не излишнюю чувствительность; другими словами, чувствительность уровня должна соответствовать силе зрения трубы. Необходимость этого условия видна из того, что если уровень недостаточно чувствителен, то большая сила зрения трубы не принесет пользы, потому что линия визирования приводится в горизонтальное положение с малою точностью; если же уровень имеет излишнюю чувствительность, то будет непроизводительно тратиться время на точную установку его пузырька, потому что труба при малой своей силе не в состоянии уловить незначительного изменения наклона линии зрения (отметить разности в отсчетах по рейке).

Для проверки этого условия ставят рейку в расстоянии 40—60 метров от инструмента, приводят пузырек уровня на середину трубки и делают по горизонтальной нити отсчет на рейке. После того одним или несколькими оборотами подъемного или элевационного винта (об элевационном винте см. дальше, напр., нивелир Керна) сдвигают немного горизонтальную нить с первоначального отсчета и смотрят, меняется ли положение пузырька уровня; если нет, то чувствительность недостаточна.

Чтобы обнаружить излишнюю чувствительность, устанавливают горизонтальную нить сетки на какойнибудь штрих рейки и замечают положение пузырька уровня, затем элевационным или подъемным винтом сдвигают нить со штриха и снова, наведя на тот же штрих, замечают положение пузырька. Если он занимает прежнее положение, то уровень не имеет излишней чувствительности. В противном случае, уровень излишне чувствителен.

Уровень с недостаточной или излишнею чувствительностью должен быть заменен другим. По отношению к точности работы лучше иметь уровень с небольшою излишнею чувствительностью, чем с недостаточною.

При круговом визировании на различные расстояния необходимо, чтобы ось уровня была перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента, так как в противном случае при каждом повороте трубы пузырек уровня будет уклоняться от середины трубки; сверх того, если пузырек поставим вновь на середину трубки, действуя подъемными винтами, то тем самым изменим первоначальную высоту линии визирования, и отсчет на рейке будет ошибочен (черт. 4). Проверку делают так: поворачиванием всей верхней части инструмента ставят уровень по направлению двух подъемных винтов и, действуя ими в противоположные стороны, приводят пузырек уровня на середину трубки. Затем поворачивают верхнюю часть точно на  $180^\circ$  (у Граватта отсчетом по буссоли, а у других, как Зиклера—постановкою инструмента на местности на прямую, концы которой замечены вехами). Если пузырек сойдет с середины, то условие не выполнено и половина уклонения уничтожается исправительным винтом уровня, а у нивелира системы Зиклера—элевационным у подставки винтом. После неоднократного поворачивания на  $180^\circ$  добиваются, чтобы уровень не сходил со середины трубки от вращения нивелира около вертикальной оси точно на  $180^\circ$ ; достигнув этого, у нивелира Зиклера на той подставке трубы, что у окуляра, на рукавах, обхватывающих горизонтальную линейку, делают заметку, на которую и ставят элевационным винтом линейку каждый раз перед приведением инструмента в горизонтальное положение.

Одна из нитей сетки (для удобства отсчитывания делений вертикально стоящей рейки) должна быть горизонтальна. Приводят инструмент в гори-



горизонтальное положение, ставят трубу по направлению двух подъемных винтов, и по направлению трубы замечают неподвижную точку, покрываемую исследуемой нитью сетки, после этого двигают трубу (микрометрическим винтом) немного вправо и влево (около ее вертикальной оси). Если замеченная точка не будет сходиться при этом с исследуемой нитью, то нить горизонтальна. Оказавшуюся неверность уничтожают вращением сетки около геометрической оси трубы. В момент, когда нить станет горизонтально, исправительным винтом устанавливают пузырек поперечного уровня на середину трубки.

Выполнение этого условия нужно для того, чтобы визировать на рейку не пересечением нитей, а одной горизонтальной нитью, что ускоряет работу. Вместе с тем, это дает возможность поправить наклонную постановку рейки.

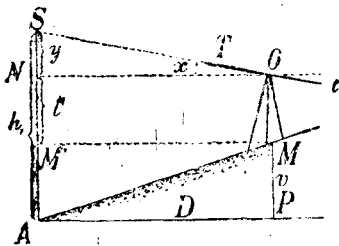
Производство проверки главного условия параллельности оси уровня визирной оси, в глуклом нивелире, делается двойным нивелированием одной и той же линии местности (сверху вниз и снизу вверх). Пусть ось уровня  $uu'$  не параллельна визирной оси  $OT$  трубы, а составляет с нею угол  $x$  (черт. 12).

Выберем на местности наклонную линию  $AM$  длиной в 50—60 метров, поставим в точку  $A$  нивелир, в  $M$ —рейку, установим пузырек уровня на середину трубки. В это время ось уровня  $uu'$  будет горизонтальна, а визирная ось пусть будет наклонна к горизонтальной линии  $ON$  на угол  $x$ . Установим трубу для наблюдений; наведем визирную ось трубы на рейку, и сделаем через трубу, по горизонтальной нити сетки, на рейке отсчет  $MS=h$ , оценивая тысячные доли метра на-глаз. Отсчет  $h$  будет ошибочен на величину  $y$ , зависящую от угла  $x$  и расстояния  $D=AP$ . Чем больше  $AP$ , тем больше  $y$  при одном и том же угле  $x$ . Измерив высоту  $i=OA$  инструмента, определим разность уровней точек  $M$  и  $A$ , т.е. превышение точки  $M$  над точкою  $A$ . Разность эта  $v=PM$  вычислится так:

$$v = PN + NS - SM = i + y - h \dots \dots \dots (I)$$

Переменим места рейки и инструмента. Наклон оси к горизонту, т.е. угол  $x$  останется тот же; расстояние  $D$  также не изменится, следовательно, и ошибка  $y$  в отсчете по рейке останется та же самая. Из чертежа 13 найдем, что

$$v = h_1 - i' - y \dots \dots \dots (II)$$



Черт. 13.

Так как величина  $y$  ничем по рейке самостоятельно не обнаруживается, то разность уровней  $v$  в первый раз определится как  $i-h$ , а во второй—как  $h_1-i'$ . Если разности эти равны, то в инструменте условие выполнено. Если же ошибка  $y$  существует, то  $h_1-i'$  не будет равно  $i-h$ , а, как показывают уравнения (I) и (II),  $h_1-i'-y = i-h+y$ , т.е. ошибка

$$y = \frac{h-h_1}{2} - \frac{i-i'}{2}$$

или равна полусумме отсчетов на рейке без полусуммы высот инструмента.

Истинная разность уровней получится в виде:

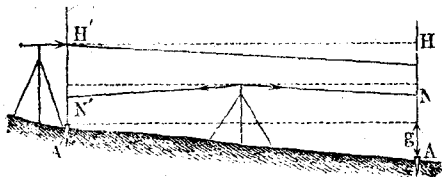
$$v = \frac{h_1-h}{2} + \frac{i-i'}{2}$$

Если  $y$  превышает двойную точность отсчитывания по рейке, т-е. более 0,002 м, то параллелизма между осью уровня и визирной осью трубы не существует, и его достигают так: вычисленную величину  $y$ , откладывают от точки  $S$  (черт. 13) вниз, когда  $y$  положительно, и вверх, если  $y$  отрицательно, намечают точку  $N$  на рейке и наводят на нее визирную ось трубы, действуя вертикальными винтами сетки; в это время она будет горизонтальна. Если пузырек уровня стоит на середине трубки, то ось  $mm'$  уровня будет также горизонтальна, а следовательно параллельна визирной оси трубы. Итак, уничтожение погрешности в глухом нивелире достигается вертикальными винтами сетки. Несоблюдение условия параллельности визирной оси к оси уровня не имеет влияния в тех случаях, когда линия нивелируется из середины, так как расстояния от инструмента до реек одни и те же, а потому ошибки  $y$  в отсчетах от существования ошибки  $x$  наклона осей будут равны и при вычислении разности уровней  $h$  (см. черт. 14 и 3) ошибки взаимно уничтожаются:

$$h = (H + y) - (b + y) = H - b.$$

Более внимательным к выполнению главного условия приходится быть тогда, когда расстояния от реек до инструмента различны.

Проверка условия параллельности осей (визирной трубы и уровня) может быть произведена еще следующим образом: на линии с наибольшим уклоном вбивают два колышка  $A$  и  $A'$  (черт. 14) на расстоянии наибольшего, встречающегося при нивелировании, удаления рейки от инструмента, т-е. около 160 метров, сообразно с силою зрения трубы; на линии  $AA$  точно отмечают середину и ставят в нее нивелир. При равенстве расстояний, на разность уровней  $g$  конечных точек непараллельность осей влияния не окажет, и  $g$  получится, как разность отсчетов  $n$  и  $n'$ , сделанных в точках  $N$  и  $N'$  на рейках, т-е.



Черт. 14.

$$n - n' = g.$$

Переноса инструмент на точку  $A'$  так, чтобы объектив пришелся над точкой  $A''$ , касаясь передней стороны рейки  $A'N'H'$ , приводят пузырек уровня на середину трубки и читают отсчет  $AH = h$  по рейке  $A$ ; на рейке  $A'$  замечают отсчеты, соответствующие верхней и нижней точкам оправы объектива нивелира, и из них образуют арифметическую середину  $A'H' = h'$ . Точка  $H'$  определит положение оптической оси.

При соблюдении условия параллельности между визирной осью трубы и осью уровня, необходимо должно получиться, что

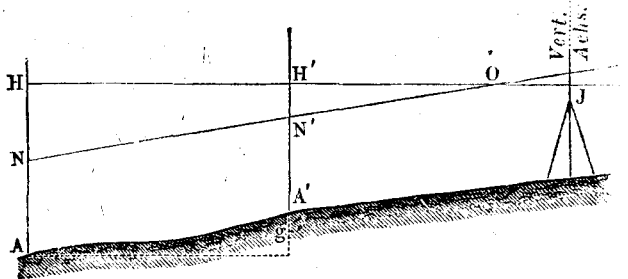
$$h = h' + g.$$

Если же  $h$  не равно  $(h' + g)$ , то крест нитей трубы передвигают вертикальными винтами сетки так, чтобы отсчет  $h$  точно равнялся  $h' + g$ .

Точно так же надо требовать, чтобы передвижение окулярного колена в объективном совершалось по прямой, дабы отсчет по рейке при этом не менялся; необходимость изменений положения окулярного колена в объективном обыкновенно вызывается изменением расстояния от инструмента до рейки, на что было уже раз нами указано в статье об испытании трубы (конец § 4 ч. I).

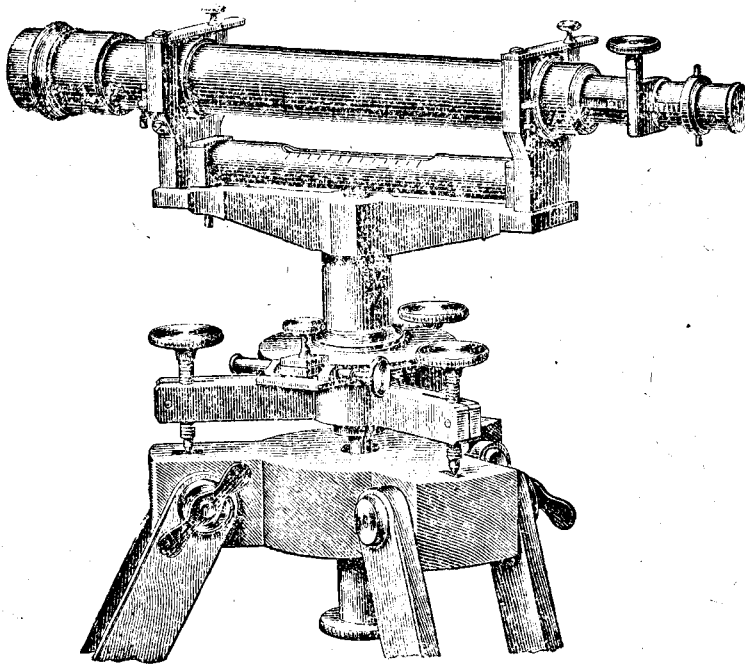
Условие правильного передвижения колена поверяется следующим образом: взяв прямую и наметив на ней ряд точек, в стороне от них устанавливают для наблюдений нивелир так, чтобы сделанные отсчеты на рейках, поставленных в точках прямой, были прочитаны при неизменном положении окуляра относительно объектива, — что возможно, если нивелир от середины прямой длиною

в 100 м отстоит метрах в 60. После этого нивелир переносят в одну из конечных точек и, праведя пузырек на середину (или не приводя при наклонном положении оптической оси), вновь делают отсчеты по рейкам, поставленным на прежние точки, отсчет же в точке  $O$  (место объектива) (черт. 15) делают на рейке чтением по концам оправы объектива. Составив разность отсчетов на каждой точке из двойной постановки на ней рейки, наносят на бумагу расстояния между рейками и в точках отложения строят ординаты, равные разности отсчетов на одной и той же рейке. Если концы отложенных ординат и точка  $O$  не будут лежать на одной прямой, то условие не выполнено <sup>1)</sup>. Движение окулярной трубки может регулировать только механик. Если отсчет по рейке, при 100 м расстоянии от нивелира до рейки, будет изменяться более чем на 0,002 метра под действием коемальерки, то нивелир направляется к механику для починки.



Черт. 15.

§ 7. Нивелиры с перекладными трубами. Мы рассмотрим из них три системы: 1) нивелир французский системы с уровнем при подставке трубы, напр.



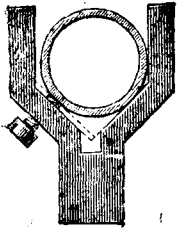
Черт. 16.

типа Эго, 2) нивелир немецкой системы с уровнем под трубой и наглухо с ней соединенный, напр., типа Рейхенбаха, работы механика Розенберга и 3) нивелир системы с уровнем, перекадывающимся на трубе (будем ее называть в отличие от первых двух — швейцарской системой), напр., типа изготовляемого Керном.

Нивелир Эго в работе французских механиков показан на черт. 16. Он имеет зрительную трубу, помещающуюся на коромысле в двух вертикальных подставках, в рхним частям кото-

<sup>1)</sup> Само собою понятно, что если бы на местности имелась линия  $AJ$ , для которой были бы известны горизонтальное расстояние и превышение конечной точки, где стоит инструмент, над начальной  $AN$ , где стоит рейка, то по этим данным и горизонтальному расстоянию от  $A$  до  $A'$  легко высчитать из пропорции превышение  $g$  точки  $A'$  над  $A$ . Если разности отсчетов по рейкам  $A$  и  $A'$  не дадут  $g$ , то условие не выполнено.

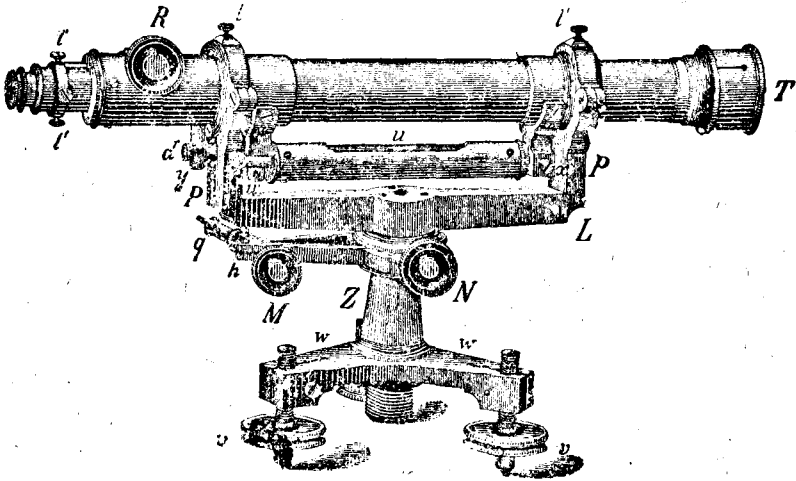
рых придана вилкообразная форма (черт. 17). Эти места подставок принято называть обоймицами или лагерами. Кольца же трубы, которыми она кладется в лагеры, называются цапфами или шейками трубы. Обе подставки трубы помещаются на горизонтальной линейке, образуя коромысло, при чем одна из подставок наглухо соединена с линейкой, а другая может быть немного поднимается и опускается посредством исправительного винта поставки, помещающегося снизу линейки. Этот винт служит для приведения визирной оси трубы в положение, параллельное с осью уровня; вместо него в нивелире Эго нередко встречается винт сбоку, в лагере (см. черт. 17) подставки. Уровень также помещается на линейке коромысла. Один конец его может подниматься и опускаться посредством исправительного винта уровня, проходящего снизу через линейку коромысла. Он ясно обозначен на чертеже 16. Его назначение — установка оси уровня перпендикулярно к вертикальной оси вращения инструмента. Вертикальная ось всего инструмента имеет у французских механиков следующее устройство: втулка, с которой соединена линейка коромысла, оканчивается кругом с клещами, имеющими нажимательный и микрометрический винты. Вертикальная ось помещается в середине треножника, в рукава которого входят три подъемных винта. Весь инструмент устанавливается на голове французского штатива, к которой он прикрепляется становым винтом, входящим снизу в треножник.



Черт. 17.

В заключение надо сказать, что иногда под линейкой коромысла помещается круг с алидадою и градусными делениями; тогда нивелир может служить для приближенного измерения горизонтальных углов, при условии, что визируемые предметы находятся на местности, слабо наклоненной к горизонту, так как труба, по самому устройству инструмента, может быть поворачиваема только в горизонтальной плоскости и не может вращаться в верти-

альной плоскости. В местностях же с большим наклоном к горизонту нивелир окажется не пригодным и придется для той же цели или употребить какой-нибудь угломерный инструмент, или делать в нивелире специальное приспособление для наклона трубы и измерения горизонтальных углов, как, напр., делает механик Герлях в своих нивелирах теодолитах.

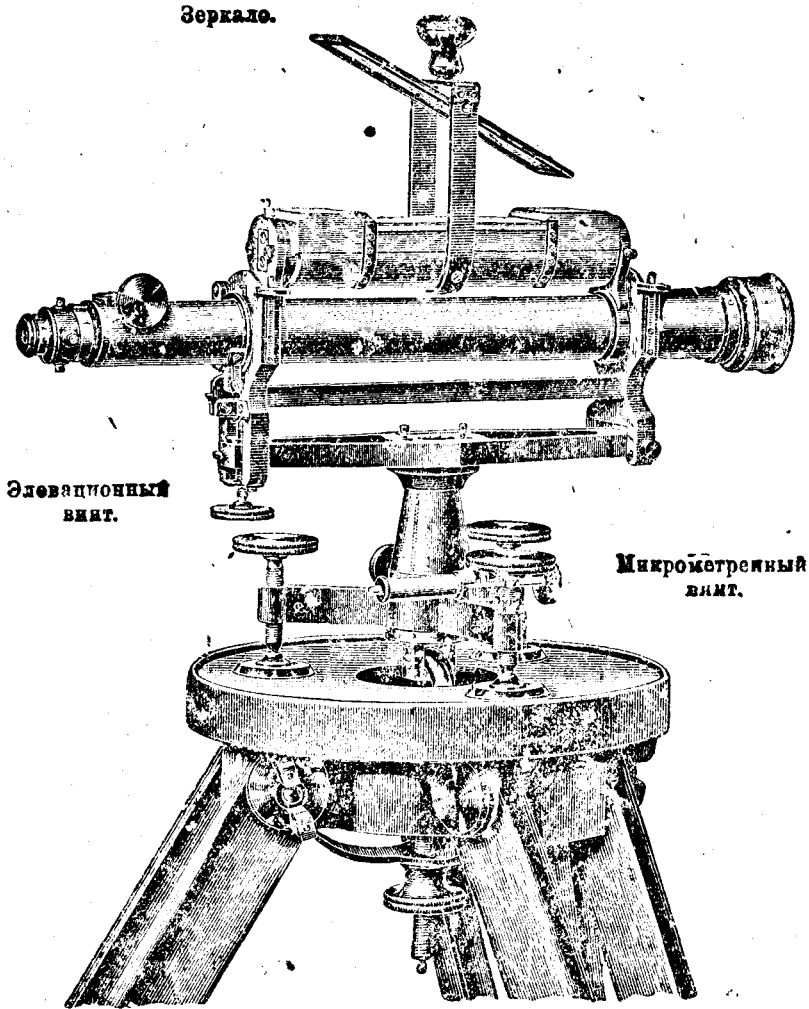


Черт. 18.

Нивелир немецкой системы, работы механика Розенберга (черт. 18) в нижней своей части представляет усеченный конус  $Z$  с тремя рукавами, в которые входят подъемные винты  $v$ . В конической колонке  $Z$  помещается

визирная ось. В конической колонке  $Z$  помещается

вертикальная ось вращения инструмента, соединенная с линейкою *L* коромысла. Нажимательный винт *N* прекращает вращение всей верхней части инструмента вокруг вертикальной оси. Медленное вращение сообщается нивелиру микрометричным винтом *M* со спиральной пружиной *q*, упирающимися с двух противоположных сторон в вертикальный стержень *h* линейки *L*. Одна из подставок *P* распилена вдоль (на чертеже левая) и регулируется винтом *r*. Труба *T* накладывается на подставки в лагеры и застегивается крючками *l* и *l'*; к трубе снизу



Черт. 19.

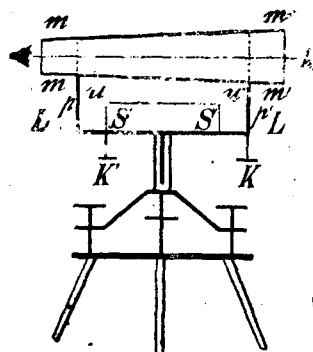
привинчен уровень *и*. Один конец уровня (на чертеже левый) может быть приподнят или опущен исправительным винтом *и'*, а другой вращается, как на шарнире, между остриями винтов *x*, могущих сообщить оси уровня перемещение по горизонтальному направлению. Винт *R* служит для передвижения окулярного колена в объективном. Винтики *i* (два вертикальных *i'* и два горизонтальных *i*) удерживают сетку в трубе. Для того, чтобы одна из нитей была горизонтальна при отсчитывании на рейке, в трубе привернут вертикальный стерженек *y*, упирающийся в горизонтальный (невидимый на чертеже) винтик *a*, перпендику-



лярно входящий в горизонтальную планку  $d$  подставки  $P$ . Точно такую же пластинку  $d$  с винтом  $a$  имеет и другая подставка  $P$ . Труба  $T$  может быть вместе с уровнем  $u$  переложена в лагерах  $P$  и стержнем  $y$  плотно прижата к винтику  $a$ , вращая который возможно одну из нитей установить горизонтально.

Нивелир швейцарской системы, с перекладным на трубе уровнем, работы механика Керна (в Аарау в Швейцарии), изображенный на чертеже 19, имеет легкую сквозную горизонтальную часть подставки с элевационным винтом, наподобие такого же винта и нивелира механика Шеурера (фирмы Зиклера). Линейка подставки сидит на конической втулке треножника о трех подъемных винтах. На трубе находится перекладной (на цапфах трубы) уровень с зеркалом на шарнире; шарнир, находясь по середине зеркала, позволяет наклонять его в сторону глаза наблюдателя. Уровень в двойной оправе. Наружная оправа из дерева и толстого зеркального стекла предохраняет уровень от нагревания лучами солнца. Уровень удерживается на трубе застезками лагер трубы помощью 2-х горизонтальных у его ножек штифтов. Близ треножника (сверху его) находятся нажимательный и микрометричный винты вертикальной оси вращения инструмента. Снизу на треножник навертывается гайка с петлей, в которую входит крючок станového винта с плоской пружиной, поддерживаемой второй сквозной гайкой, перемещающейся вдоль нарезки станového винта. Штатив сквозной, французской системы с круглой широкой головой.

§ 8. Условия, требуемые от нивелиров с перекладными трубами, и их проверки. Здесь еще раз отметим, что главное условие, требуемое от всякого нивелира,—это, чтобы визирная ось зрительной



Черт. 20.

трубы нивелира была параллельна оси цилиндрического уровня. Схема устойчива нивелира с уровнем при подставке помещена на чертеже 20. Подобные же схематические чертежи мы будем делать и для нивелиров с уровнями при трубе (напр., сист. Розенберга) и для нивелиров с уровнями, перекладываемыми на трубе (напр., сист. Керна). На них условимся впредь обозначать через  $LL'$  горизонтальную линейку подставки трубы, через  $p$  и  $p'$  размеры подставок трубы от цапф (шеек) трубы до линейки,  $S$  и  $S'$ —размеры подставок уровня (расстояния между концами оси  $uu'$  и линейкой  $LL'$ ),  $r$  и  $r'$ —диаметры шеек (цапф, колец) трубы, через  $hh_1$ —направление визирной оси трубы через  $uu'$ —ось уровня, параллельного трубе, через  $tt'$ —образующую трубы (линию, соединяющую две точки  $t$  и  $t'$  шеек трубы)

Условия, требуемые от нивелиров с перекладными трубами, в сущности те же, что и в глухих нивелирах, но проверки их имеют некоторые особенности, вызываемые различием конструкций. Поэтому необходимо твердо запомнить эти чертежи-схемы устройств трех типов нивелиров с перекладными трубами. Сначала остановимся на поверках нивелиров с уровнем, прикрепленным к линейке подставки трубы, а затем укажем на соответственные изменения их в других нивелирах.

Условия, требуемые от нивелиров с уровнем, прикрепленным к линейке подставки трубы (напр., нивелир Эго), следующие:

1) Уровень должен иметь чувствительность достаточную и не излишнюю. Проверка производится совершенно так же, как и в глухих нивелирах (§ 6).

2) Ось уровня должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента. Ставят инструмент на линию, на концах которой выставлены вехи, направляют пересечение нитей трубы па одну из этих вех, подъемными винтами приводят пузырек уровня на середину, поворачивают верхнюю

часть инструмента настолько, чтобы пересечение нитей покрыло другую вежу, т.-е. точно на  $180^\circ$ , и смотрят, находится ли пузырек уровня на середине трубки. Уклонения середины пузырька от середины трубки уровня уничтожается на половину дуги отклонения винтом  $K'$  уровня (черт. 20). Проверка повторяется снова до совершенного выполнения требуемого от уровня условия.

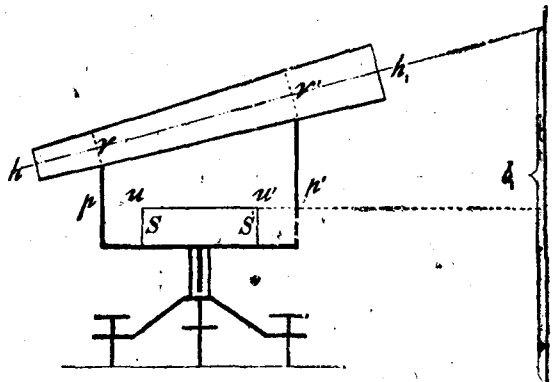
Замечание. Повернуть точно на  $180^\circ$  нивелир с перекладной трубой около его вертикальной оси вращения можно также и следующим образом: навести крест нитей трубы на какую-либо точку, переложить трубу в лагерах и вновь навести крест нитей на ту же точку.

3) Одна из нитей сетки трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента, т.-е. горизонтальна при отвесном положении этой оси. Проверка производится так же, как и в глухих нивелирах, т.-е. по приведении инструмента в горизонтальное положение, направляют исследуемую нить на точку предмета и двигают трубу немного вправо и влево. Уклонение нити с избранной точки уничтожается горизонтальным винтом  $a$ , пластинки  $d$  при подставке трубы, конец которого должен упираться в вертикальный выступ  $y$  (черт. 16 и 18), близ шейки трубы. Ту же установку нужно сделать и для второго подобного же винта, помещающегося на другой подставке трубы. Это условие лучше всего производить после того, как поверено совпадение визирной оси зрительной трубы с геометрической ее осью.

4) Главное условие: визирная ось трубы должна быть параллельна оси уровня. Из схематического чертежа устройства нивелира с уровнем при подставке видно, что это условие распадается на две части, а именно: оптическая ось  $hh'$  будет тогда параллельна оси уровня, когда: I) ось уровня, II) также и визирная ось трубы будут (каждая в отдельности) параллельны линейке  $LL'$  или, что то же самое, перпендикулярны к вертикальной оси вращения инструмента, а для параллельности визирной оси трубы линейке  $LL'$  нужно выполнить следующие три условия, а именно, чтобы: III) визирная ось совпадала с геометрической осью зрительной трубы, IV) образующая  $mm'$  трубы была параллельна линейке  $LL'$  и чтобы V) зрительная труба представляла собою цилиндр, т.-е., чтобы диаметры шеек трубы были равны. VI) Одна из нитей сетки должна быть горизонтальна.

Ось уровня  $uu'$  будет тогда параллельна линейке, когда подставки  $S$  и  $S'$  уровня будут равны между собою и одинаково наклонены к линейке  $LL'$ . Равенство же подставок  $S$  и  $S'$  или равенство смежных углов между вертикальной осью вращения инструмента и осью  $uu'$ , уровня достигается (как уже это было указано) при проверке 2-го условия, действуя винтом  $K'$  уровня.

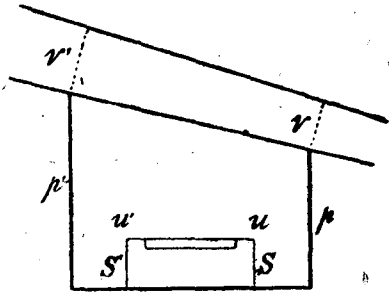
Совпадение визирной и геометрической осей трубы достигается способом, изложенным в § 104 (черт. 153), ч. I. Допустим, что обе оси совпадают, тогда легко поверить параллельность образующей трубы  $mm'$  линейке  $LL'$ , ибо выполнение этого условия достигается выравниванием подставок  $p$  и  $p'$  трубы. При этом мы предполагаем, что подставки  $p$  и  $p'$  так же, как и  $S$  и  $S'$ , перпендикулярны к линейке  $LL'$ .



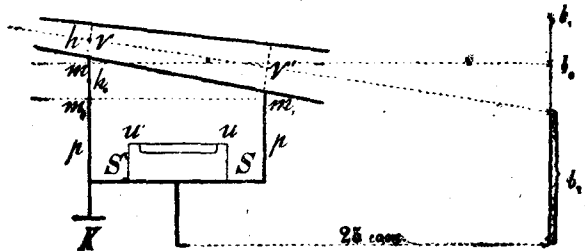
Черт. 21.

Пусть  $p$  и  $p'$  — подставки трубы (черт. 21), неравные между собою, при чем передняя  $p' > p$ , кольца имеют также неравные диаметры  $r' > r$ , т.-е. зрительная

труба не представляет собою цилиндра. Подставки уровня выравнены, т. е.  $S = S'$ . Приведем пузырек уровня на середину трубки и, чтобы заметить положение  $hh_1$  визирной оси, выставим на 50 м перед инструментом рейку (обычно расстояние станции от пикета), и сделаем по рейке отсчет  $b_1$ , он будет более истинного, ибо передний конец трубы (визирной оси  $hh_1$ ) повышен, но если бы подставки у трубы были равны, то от перемены их мест под трубою раз сделанный отсчет  $b_1$  на рейке измениться не мог бы. Испытаем это: повернем инструмент около вертикальной оси на  $180^\circ$ , тогда объектив стапел на место окуляра. Подставка  $p'$  займет место подставки  $p$  (черт. 22). Для того же, чтобы можно было вновь визировать через трубу на рейку, дабы убедиться, что визирная ось не изменила своего положения, необходимо трубу переложить в лагерах.



Черт. 22.



Черт. 23.

После перекладывания трубы большая цапфа  $r'$  снова встанет вперед. Если теперь вновь поставим пузырек уровня точно на середину трубки и сделаем второй отсчет  $b_2$  по рейке (черт. 23), то он будет не равен первому отсчету  $b_1$ . Причину несогласия между собою отсчетов будет только неравенство подставок трубы; ибо большое кольцо  $r_1$  трубы осталось на прежнем месте у объектива, а потому прием обнаружения неравенства подставок трубы и основан на двойном отсчете по рейке. Для выравнивания подставок или смежных углов между вертикальной осью вращения инструмента и образующею  $mm_1$  трубы служит исправительный винт  $K$ , устраиваемый или снизу подставки, или сбоку ее, у одной из лагерь, как это показано на черт. 17 и 23.

$$\text{Пусть } b_1 - b_2 = c, \text{ тогда } b_1 - \frac{c}{2} = b_2 + \frac{c}{2} = b_0 = \frac{b_1 + b_2}{2}.$$

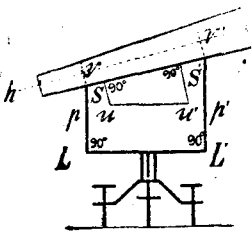
На основании этого, мы можем сказать, что, опуская повышенную подставку  $p_1$  винтом  $K$  (черт. 23) до тех пор, пока отсчет  $b_2$  изменится в  $b_0$ , мы, повторением этого приема проверки, достигнем такой разности подставок  $p$  и  $p'$ , которая не будет сказываться на отсчетах  $b_1$  и  $b_2$  по рейке при расстоянии 50 м от инструмента до рейки, т. е. разность их  $b_2 - b_1$ , будет  $< 0,002$  м. Итак, чтобы обнаружить и достигнуть возможного равенства подставок трубы у нивелира Это, следует: 1) избрать линию около 50 м, в один конец поставить отвесно рейку, в другой — инструмент, 2) привести пузырек уровня на середину трубки, 3) сделать по рейке отсчет, 4) повернуть инструмент на  $180^\circ$ , 5) поправить уровень, чтобы пузырек в точности оставался на середине трубки, 6) переложить трубу в лагерах, 7) вновь сделать второй отсчет, 8) из обеих отсчетов взять среднее арифметическое и 9) винтом при подставке трубы установить крест нитей на отсчет, равный полученному среднему арифметическому из обеих отсчетов. При равенстве отсчетов  $b_1$  и  $b_2$ , само собою разумеется, подставки не требуют исправления. Опуская подставку  $p'$  (черт. 23), тем самым опустим  $h$  и  $m$  до положения  $h_0$  и  $m_0$  и образующая  $mm'$  будет почти параллельна  $mm'$ .

Остается проверить равенство диаметров колеи  $r$  и  $r'$ , так как даже при равенстве подставок  $p$  и  $p'$  трубы и совпадении геометрической оси с визирной, при неравенстве диаметров  $r$  и  $r'$  цапф, визирная ось трубы не будет параллельна оси уровня.

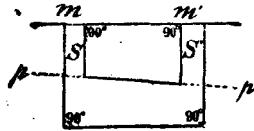
Чтобы проверить это последнее условие нивелира Эго, нужно, положив трубу в лагера после всех приведенных выше поверок, идти на местность и, взявши наклонную линию, дважды пронивелировать ее — снизу вверх и сверху вниз, т.е. проделать то же самое, что и в глухом нивелире при производстве поверки параллельности визирной оси к оси уровня. Пусть отсчет по рейке при нахождения нивелира внизу был  $b_1$ , а высота инструмента  $i_1$ , после переноски нивелира на место рейки высота его изменилась в  $i_2$ , а отсчет по рейке (при нахождении пузырька уровня па середине трубки) сделался равным  $b_2$ . Если разность  $i_1 - b_1$  не равна  $b_2 - i_2$ , (дающие при выверенном нивелире превышение одной точки над другой), тб диаметры  $r$  и  $r'$  колец грубы не равны. Исправление ошибки поручается механику, который должен переточить шейки. Ошибка  $y$  в отсчете на рейке будет:

$$y = \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{b_1 + b_2}{2}.$$

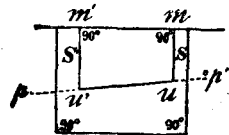
Она возрастает пропорционально расстоянию. Если бы расстояния от нивелира до обеих реек были равны, то эта ошибка не сказывалась бы на разности высот подошв реек. При нивелировании вперед она вынуждено целиком войдет в отсчет по рейке, а следовательно, и в разность высот. Чтобы не считаться в влиянием этой ошибки (т.е. не вводить поправки в отсчеты) необходимо преобразовать нивелир из нивелира с перекладною трубою в глухой нивелир, т.е. употреблять его в одном раз навсегда замеченном положении, напр., кладя трубу объективом на подставку замеченную каким-либо знаком, и достигая параллельности осей уровня и трубы винтами при сетке. 6-ое условие поверяется, как и в глухом нивелире. Исправление делается особым винтом при подставке.



Черт. 24.



Черт. 24а.



Черт. 25.

Поверки нивелира с уровнем под трубою. Условия, требуемые от нивелира с уровнем под трубою (напр. системы Розенберга) те же самые, что и для нивелира Эго, но производство поверок этих условий несколько иное. Так, чтобы поверить перпендикулярность оси  $mm'$  уровня к вертикальной оси вращения инструмента, достаточно потребовать, чтобы (черт. 24):

I)  $S = S'$ , т.е., чтобы были равны подставки уровня и

II)  $p = p'$ , т.е., чтобы были равны подставки у трубы.

При соблюдении условия  $S = S'$ , само собою разумеется, выполнится параллельность образующей трубы к оси  $mm'$  уровня и остается проверить

III) совпадение геометрической и визирной осей у трубы и

IV) равенство диаметров ее цапф, которыми она кладется в лагера, тогда выполнится и главное условие: параллельность оси уровня к визирной оси трубы. Одна из нитей сетки должна быть горизонтальна.

Проверка равенства подставок  $S$  и  $S'$  уровня делается так: ставят уровень по направлению двух подъемных винтов, приводят пузырек уровня на середину, затем меняют места подставок  $S$  и  $S'$  (черт. 24а, 25), что достигается простым перекалыванием трубы в лагерах. Если пузырек отклонится от середины трубки, то  $S$  не равно  $S'$ , пузырек уклонится к повышенному концу,

к короткой подставке, тогда исправительным винтом  $u'$  при уровне  $uu'$  выравниваются подставки уровня. Пузырек переводится винтом при  $u'$  на половину дуги отклонения от середины трубки.

Самое производство поверки основано на том, что как при 1-м, так и при 2-м положении трубы, образующая ее, т.-е. линия  $mm'$  (черт. 25), не изменит своего направления относительно спокойно стоящей всей нижней части нивелира. Угол наклона линии  $mm'$  к горизонту от перекалывания трубы не меняется, так как положение ее (направление) только зависит от положения подставок  $p$  и  $p'$ , а они остаются на месте.

Поверка равенства подставок  $p$  и  $p'$  трубы. Выравнив подставки уровня, снова ставят уровень по направлению двух подъемных винтов и приводят пузырек его на середину трубки, после чего меняют под зрительной трубой места подставок трубы  $p$  и  $p'$ , вращая всю подставку нивелира точно на  $180^\circ$  около вертикальной оси <sup>1)</sup>. Если пузырек уклонится от середины трубки, то это укажет, что подставки  $p$  и  $p'$  не равны. Выравнивание подставок производится у нивелира Розенберга исправительным винтом  $r$  подставки  $p_1$  (см. перспективный чертеж 18), а у нивелиров той же системы, имеющих элевационный винт при подставке, напр., системы Бамберга, исправление делается элевационным винтом, при чем по головке элевационного винта, или замечается отсчет, или же на самой подставке (системы Рейхенбаха) делается зарубка (подобно тому, как это делается в глухом нивелире Зиклера), на которую и устанавливается подставка перед приведением инструмента в горизонтальное положение. Самое выравнивание состоит в том, что пузырек уровня двигают винтом  $r$  (или элевационным) на половину дуги отклонения. Передвинув пузырек, вновь повторяют прием, т.-е. ставят подъемным винтом пузырек уровня на середину трубки и поворачивают нивелир около вертикальной оси на  $180^\circ$ . В случае уклонения пузырька от середины трубки опять действуют винтом при подставке. Прием повторяется до тех пор, пока пузырек перестанет менять свое положение в трубке вследствие поворота нивелира на  $180^\circ$  около вертикальной оси.

Чтобы убедиться, лежит ли ось  $uu'$  уровня с визирной осью в одной плоскости, поступают так же, как это было указано на черт. 181—183, § 125, ч. I, т.-е., покачиваям уровнем (и его оси  $uu'$ ) около образующей  $mm_1$ . Если пузырек передвигается то к одной, то к другой подставке, то ось  $uu'$  двигают винтом  $x$  (черт. 18) в одну плоскость с  $mm_1$ .

Совпадение геометрической оси с визирной осью трубы, равенство диаметров цапф и горизонтальность одной из нитей сетки в нивелире с уровнем при трубе поверяется точно так же, как и в нивелире с уровнем на подставке трубы (сист. Эго). Здесь также имеется винт  $d$  и пластинка  $y$  (черт. 18).

Поверка чувствительности уровня не зависит от системы нивелира.

Поверки нивелира с перекалдным на трубе уровнем. В нивелире с уровнем, перекалывающемся на трубе (сист. Керна), требуется для выполнения главного уровня, — параллельности визирной оси трубы оси уровня соблюдения тех же 7 условий:

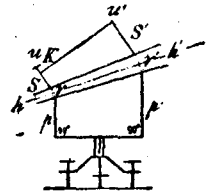
- I) равенство подставок уровня;
- II) равенство диаметров цапф (шеек) у трубы;
- III) равенство подставок трубы;
- IV) совпадение геометрической оси с визирною у трубы;
- V) нахождение оси уровня с визирною осью в одной плоскости;

<sup>1)</sup> Так как равенство подставок  $S$  и  $S'$  уже проверено, то можно прямо, оставляя на месте трубку в лагерах, повернуть весь инструмент на  $180^\circ$  около его вертикальной оси вращения.

VI) нахождение одной из нитей в горизонтальной плоскости (или правильнее, ее перпендикулярность к вертикальной оси вращения нивелира);

VII) правильность передвижения окулярного колена в объективном.

I. Равенство подставок  $S$  и  $S'$  уровня поверяется переключиванием уровня на цапфах трубы. При этом, заметив первоначальное положение подставок  $S$  и  $S'$  (черт. 26), ставят уровень по направлению двух подъемных винтов и приводят ими пузырек его на середину трубки. Затем меняют места ножек  $S$  и  $S'$  простым переключиванием уровня, не трогая трубы и нижней части нивелира. Отклонение середины пузырька от середины трубки укажет на неравенство подставок (или неравенство смежных углов, между осью  $uu'$  уровня и вертикальной осью вращения инструмента) и их выправляют исправительным винтом  $K'$  уровня, передвигая пузырек на половину дуги отклонения.



Черт. 26.

II. Равенство диаметров цапф можно обнаружить так: убедившись в равенстве подставок уровня, т.-е. в том, что  $S = S'$ , и приведя пузырек уровня на середину трубки, приподнять уровень (не меняя мест  $S$  и  $S'$ ), и под уровнем переложить трубу в лагерах, т.-е., переменить места

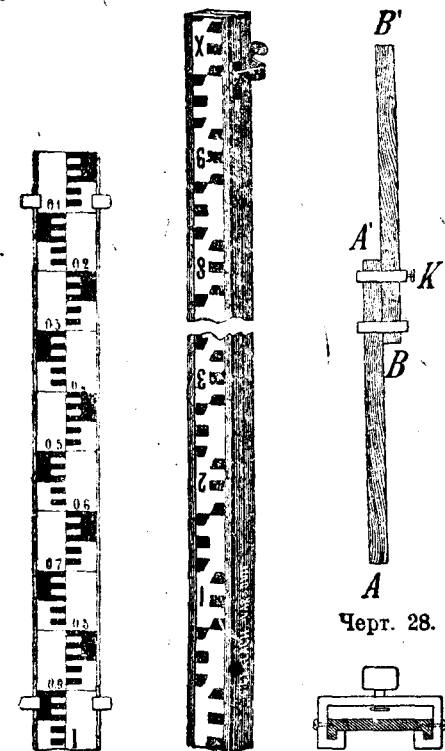
цапф; если цапфы не равны, то пузырек уклонится от середины трубки, а шейки следует переточить.

III. Равенство подставок  $p$  и  $p'$  проверяется, после приведения пузырька на середину трубки уровня, поворачиванием всего инструмента на  $180^\circ$  так же, как в нивелире системы Розенберга.

Исправление неравенства подставок трубы достигается элевационным винтом. Правильное положение подставок замечается отсчетом по элевационному винту или меткою на подставке, на которую устанавливается край линейки подставки.

Выполнение условий IV, V, VI и VII достигается теми же приемами, что и в ранее описанных нивелирах.

§ 9. Нивелирные рейки. Для отсчитывания вертикальных расстояний от земли до горизонтального луча зрения, при геометрическом нивелировании служат нивелирные рейки, т.-е. деревянные бруски, длиной от 2 до 4 метров (1—2 сажени), толщиной около сантиметра и шириной от 5 до 7 см. Самая распространенная рейка, известная под названием мюнхенской рейки (системы механика Рейхенбаха), состоит из двух равных по длине брусков, соединенных снизу и сверху ско-



Черт. 27.

Черт. 27а.

Черт. 29.

бами. В этих скобах один брус может двигаться вдоль другого. Длина каждого бруса немного более двух метров. В случае надобности задний брус выдвигается из-за переднего, и подпись его делений должна служить продолжением подписи переднего бруса (черт. 28). Лицевая сторона переднего бруса выкрашена белой масляной краской и по белому полю (черт. 27) нарисованы попеременно белые



и черные (или красные) шашки двух родов: каждая малая шашка = 0,01 саж., а каждая большая шашка = 0,05 сажени (полудесятые). Через каждые 10 малых шашек, т.-е. через каждую десятую долю сажени сделана подпись. На переднем бруске подпись делается так:

0, 1, 2, 3, 4, 5, ..... 9, X,

а на заднем бруске:

11, 12 13, ..... 19, 20.

На чертеже 27 представлена рейка в метрической мере: самые маленькие деления — сантиметры, а надписи: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и т. д. обозначают дециметры.

На чертеже 28 представлена раздвинутая рейка, если смотреть на нее в профиль (сбоку). На нем  $AA'$  — передний брус, а  $BB'$  — задний брус, к переднему брусу привернута верхняя скоба с винтом  $K$ , могущим плотно прижать задний брус к переднему; нижняя скоба привернута к низу бруса  $BB'$ , т.-е. к заднему брусу, скользящему вдоль переднего. При раздвигании рейки нижняя скоба поднимается к верхней скобе. Подпись цифр на рейке должна идти в обратном виде, как показано на предшествующем чертеже (27а), так как зрительные трубы нивелиров — астрономические, т.-е. дающие изображения в обратном виде. В трубе, при чтении по рейке горизонтальным волосом сетки, отсчеты делают сверху вниз. В плане раздвижная мюнхенская рейка имеет вид, указанный на чертеже 29.

Для того, чтобы дерево не размоchalивалось и рейка не сбивалась сверху и снизу, она обита железными скобочками, имеющими вид поперечного сечения рейки. Нижний конец рейки, которым она ставится на землю, или на деревянный колышек, обозначающий точку местности, принято называть пяткою рейки.

1 сажень . . . . = 2,1336 метра.  
 1 сот. сажени . . = 2,1336 сантиметра.  
 1 метр . . . . . = 0,468691 сажени.  
 1 сантиметр . . . = 0,469 сотки.

## Производство геометрического нивелирования.

Смотря по степени точности производимых по рейке отсчетов и степени чувствительности уровня нивелирование делят на точное (прецизионное), и простое — техническое или нивелирование 1-го разряда и нивелирование 2-го (3-го, 4-го) разрядов.

При точном нивелировании употребляются нивелиры с большим увеличением труб; рейки ставятся на особые подставки — башмаки; рейки двусторонние; до отсчитывания по 3-м горизонтальным нитям по рейке и после них, делают отсчеты по концам пузырька уровня. В отсчеты по рейке вводят поправки за наклон визирной оси к горизонту.

§ 10. Виды геометрической нивелировки. Прием нивелировки вполне зависит от той цели, с которой предпринимается нивелирование: I. Если определяется разность уровней двух незначительно удаленных друг от друга точек и при этом оказывается вполне достаточным одной постановки инструмента или, как говорят, одной станции с нивелиром, то такое нивелирование называется простым. Прием простого нивелирования может быть двойной, — „вперед“ и „из середины“. II. Если же для определения равенности уровней двух точек приходится брать несколько станций, то нивелирование называется сложным. При сложном нивелировании определяется разность уровней не только двух крайних точек, а целого ряда точек на данном направ-

влении. Если сложное нивелирование ведется вдоль заранее намеченной линии заданного направления (по прямой, ломаной, или кривой, или по извилине, состоящей из ряда прямых и кривых), то такое нивелирование принято называть продольным. Продольное (техническое) сложное нивелирование в большинстве случаев ведется по оси будущей дороги или по оси проектируемой канавы. Нивелирование, идущее (в горизонтальной плоскости) под углом к главному продольному, принято называть поперечным. Поперечную нивелировку определяет характер всей поверхности узкой полосы земли, предназначенной для дороги или канала. На основании продольной нивелировки в связи с поперечной делается расчет земляных работ для насыпей и выемок. Если ширина поперечных выемок и профилей (вертикальных сечений) незначительна, как это имеет место при нивелировке узкой полосы земли, то поперечная нивелировка ведется совместно с продольной. Если же ось поперечной нивелировки достаточно длинна и число поперечных профилей значительно, то поперечная нивелировка поручается особому лицу. Для поперечных нивелировок (3-го и 4-го разрядов) нередко пользуются даже простым ватерпасом. III. Нивелирование может иметь целью определение общего характера поверхности целого участка местности; такое нивелирование, дающее ряд профилей: 1) непосредственно из полевых действий, по заранее намеченным в поле направлениям, а во 2) по плану (с горизонталями) в любом направлении, называется нивелированием поверхности.

Если продольное нивелирование ведется по оси будущей дороги или канала по несомкнутой линии, состоящей из ряда прямых, соединенных кривыми, то в таком случае прямые между двумя соседними кривыми называют „прямыми вставками“, а кривые — „закруглениями“. Кривые эти по преимуществу делаются дугами кругов определенных (заранее данных радиусов).

§ 11. Нивелирование узкой полосы земли (будущей дороги или канала) заключается из: а) заготовления оси нивелирования или разбивки пикетажа и б) собственно сложного продольного нивелирования вдоль заготовленной оси, иногда в связи с поперечным нивелированием:

а) Заготовление оси продольного нивелирования складывается из разбивки прямых линий и из разбивки округлений и заключается, помимо вешения линии: I) в промерах расстояний стальной лентой (или цепью); II) в забивании деревянных кольев: а) в местах постановок реек (для обозначения пикетов), б) в местах, означающих начало, середину и конец кривой, в) в точках перегиба земной поверхности, г) в местах точек поперечных профилей и т. п.; III) в правильной нумерации забитых кольев; IV) в измерении теодолитом (или иным угломерным инструментом, напр., пантометром) углов между прямыми вставками (а также и при детальной разбивке кривых); V) в нанесении пикетов на кривые и VI) в правильном ведении пикетажной книжки.

б) Собственно, сложное продольное нивелирование заключается: 1) в удачном выборе наименьшего числа станций по оси, 2) в надлежащей установке инструмента на станциях, 3) в правильном чтении на рейках отрезков, даваемых горизонтальною нитью зрительной трубы (считая их от пятки рейки), 4) в надлежащей записи отсчетов в графы журнала нивелирования и 5) в принятии ряда предосторожностей, исключающих возможность как грубых ошибок, так и неизбежных погрешностей (от несовершенства инструментов, несовершенства приема нивелировки и от несовершенства зрения наблюдателя) в окончательных результатах сделанных наблюдений.

§ 12. Отметка. Репер. Связующие и промежуточные точки нивелировки. Отметкою точки земной поверхности, или, иначе, ее альтитудою условимся называть высоту ее над заранее нами выбранным уровнем. За этот уровень обыкновенно считают средний горизонт вод известного моря (напр., Балтийского и Черного) в заранее намеченном пункте.

Если же высоты точек нивелируемой местности будем относить к произвольному уровню, то такие отметки станем называть условными.

Высоту линии визирования на каждой станции над условным уровнем будем называть горизонтом инструмента или горизонтом станции.

Постоянные точки (чем-либо хорошо замеченные относительно окружающих их точек, напр., верхние линии цоколей церквей и каменных зданий, специально вбитые горизонтально железные болты в стены, верхний край сруба колодца, а также прочно врытые по пути нивелирования в землю, специальной формы, столбики и т. п.), от которых ведется нивелировка или при которых заканчивается нивелирный ход, будем называть реперами или нивелирными марками (заметками).

Точки, на которые будем делать взгляды (т.-е. брать отсчеты) по одной и той же рейке с двух соседних станций сложного, продольного нивелирования, будем называть связующими точками нивелировки, точки же, встречающиеся между связующими, — промежуточными. В зависимости от наклона местности и от силы зрения трубы и чувствительности уровня расстояние между связующими точками меняется, а потому меняется и расстояние между станциями.

Обыкновенно связующими точками делают пикеты и общепринятое расстояние между двумя соседними пикетами 100 метров (50 сажень). Нормальное расстояние от нивелира до рейки может быть высчитано в зависимости от увеличения трубы и чувствительности уровня и от той точности, с которой делаются отсчеты по рейке. При увеличении  $v = 20$ , цене деления уровня  $25''$  и точности отсчета по рейке  $= 0,001$  саж., нормальное расстояние от нивелира до рейки выходит около 25 саж. Угол зрения  $y$  простым глазом определяется из условия ясного видения,  $\frac{1}{200}$  дюйма, на расстоянии 10 дюйм., т.-е.

$$\operatorname{tg} y = \frac{1}{200} : 10 = \frac{1}{2000}.$$

Откуда  $y = 2'$ . Если уровень устанавливается до 0,1 деления, т.-е.  $2'' - 3''$  и если  $v = 15 - 20$ , то  $\frac{y}{v} = 8''$ . Угол визирования  $8'' + 2'' = 10''$ . Откуда  $\operatorname{tg} 10'' = \frac{0,001}{x}$  и  $x = 21$  саж. или около 50 м.

На местности ровной связующие точки берутся на расстоянии от 100 до 200 метров, если труба имеет увеличение в 30 раз и цена одного деления уровня, т.-е. угловая величина, не превышает  $10''$ .

На местности крутой расстояние от рейки до инструмента доходит до 10 м при нивелировании вперед, и до 20 м при нивелировании из середины.

§ 13. Разбивка прямых линий, длиною от 100 до 700 м, делается по трубе теодолита; вешение линии начинается с дальней вехи, постепенно приближаясь к теодолиту, при этом предварительно всегда следует хорошо выверить перпендикулярность коллимационной плоскости трубы к плоскости лимба. Провешивание же более длинных прямых, которые тянутся на один или несколько километров требует приборов с сильными зрительными трубами (увеличение в 30—40 раз), переводящимися через зенит или перекладывающимися в лагерах, имеющих обязательно уровень на горизонтальной оси вращения зрительной трубы; так как такие приборы приспособлены специально для разбивки угла в  $180^\circ$ , или  $200 g$ , то у них совсем не имеется лимба с делениями. Эти приборы называются алиинными.

§ 14. Разбивка закруглений в главных их точках. Надобность в разбивке закруглений встречается вследствие того, что движущийся экипаж (или судно) не может сразу под любым углом свернуть с одного прямолинейного направления на другое. В подобных случаях переход совершается постепенно по кривой, касающейся к двум данным прямым. Кривая, сопрягающая две прямые, большею частью

бывает дугою окружности заданного радиуса. Величина радиуса меняется в зависимости от назначения (от технических условий) сооружаемого пути сообщения. На железных дорогах он достигает своего наибольшего значения, в водных и шоссежных путях можно встретить его минимум.

Точки прикосновения кривой к данным прямым, т. е. начало  $A$  (черт. 30) и конец  $E$  кривой, а также ее середину  $S$  принято называть главными точками.

Радиусом, началом и концом — кривая вполне задана и ими же определяется ее положение. Здесь раз навсегда заметим себе, что центр кривой не дается и он не отыскивается.

Обыкновенно на местности измеряется угол  $\alpha$  между начальным направлением  $AT$  и конечным —  $TE$  и тотчас высчитывается центральный угол  $\beta = 180^\circ - \alpha$ , по которому высчитывается длина  $b$  дуги  $AE$  при данном радиусе  $r$  по формуле:

$$(1) \dots b = \frac{\beta}{180} \cdot r \pi \text{ или } b = \frac{\beta}{\rho} \times r, \text{ где } \rho = \frac{180}{\pi}, \text{ а также высчитываются длины касательных}$$

$$(2) \dots TA = TE = r \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta,$$

и биссектрисы

$$(3) \dots TS = r \operatorname{Sec} \frac{1}{2} \beta - r.$$

Если в середине  $S$  провести касательную  $MN$ , то положение ее будет определяться отрезками:

$$(4) \dots AM = NE = MS = NS = r \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{4} \beta,$$

для  $ST = MS \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta$  получится контрольная формула:

$$(5) \dots TS = r \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{4} \beta.$$

Длина части касательной  $MT$  определяется так:

$$(6) \dots MT = MS \cdot \operatorname{Sec} \frac{1}{2} \beta = r \cdot \operatorname{Sec} \frac{1}{2} \beta \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{4} \beta,$$

и, наконец,

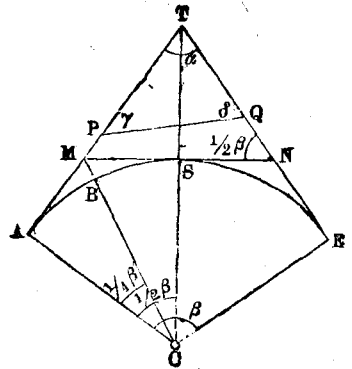
$$(7) \dots MB = r \operatorname{tg} \frac{1}{4} \beta \operatorname{tg} \frac{1}{8} \beta$$

или

$$(8) \dots MB = r \operatorname{Sec} \frac{1}{4} \beta - r.$$

Если точка  $T$  недоступна, то в произвольных точках  $P$  и  $Q$ , лежащих на данных направлениях, измеряют углы  $\gamma$  и  $\delta$ , и по ним находят  $\alpha = 180^\circ - (\delta + \gamma)$ .

В поле, при разбивке кривой, отмеряют длины  $TA$  и  $TE$  лентой, в точке  $T$  по инструменту отмеряют от направления  $AT$  половину  $\alpha$  и откладывают длину  $TS$ . Иногда по местным условиям приходится за исходные точки брать  $P$  и  $Q$  или ( $M$  и  $N$ ). Во избежание вычислений можно пользоваться специально для этого составленными таблицами Кренке, Стримбана, Моржова, Яцны и т. п.



Черт. 30.

§ 15. Нумерация колец пикетажа. В начальной точке оси нивелировки забивается кол вровень с землей, а рядом с ним другой, верхушка которого выше и на котором пишется цифра ноль. Вдоль по оси от нулевого пикета отмериваются 100, 200, 300 и т. д. метров (или 50, 100, 150 и т. д. сажень) с постановкою на концах этих расстояний по два кола, одного вровень с землей, представляющего собственно пикет, а другого (сторожок) с номером 1, или 2, или 3 и т. д. Этот способ нумерации пикетов удобен в том отношении, что число десятков номера есть вместе с тем число километров от нулевого пикета. Действительно, 10-й пикет отстоит от начального на расстоянии одного километра, ибо  $10 \times 100 \text{ м} = 1000 \text{ м}$ , 20-й — на расстоянии двух км, ибо  $20 \times 100 = 2000 \text{ м}$  и вообще пикет с номером 723 отстоит от начального на расстоянии  $72,3 \text{ км} = 72 \text{ км} + 300 \text{ м}$ .

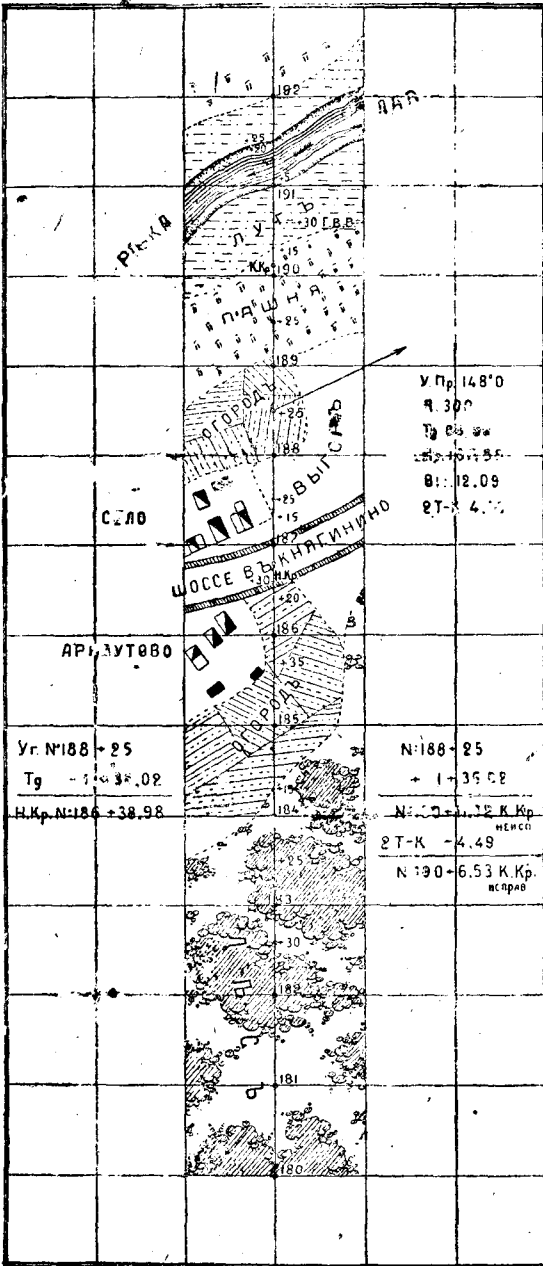
Употребляется иногда также и другой способ обозначения пикетов, а именно, они перенумеровываются так:  $\frac{0}{0}$ ,  $\frac{0}{1}$ ,  $\frac{0}{2}$ .....  $\frac{0}{9}$ ,  $\frac{1}{0}$ ,  $\frac{1}{1}$ ,.....  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{2}{0}$ ,  $\frac{2}{1}$ .....

**Пикетажная книжка.**

Здесь верхние цифры означают число км от нулевого пикета, а нижние — номер пикета.

В виду того, что разность уровней отдельных пикетов при сложном нивелировании будет определяться почти всегда по способу нивелирования из середины, рекомендуется при промеривании оси забивать кол между пикетами на расстоянии 50 м от предыдущего пикета. На этом коле номер ставится римской цифрой. Он может служить местом постановки инструмента при нивелировании. Если этот кол придется на таком месте, на котором нельзя поставить инструмент, напр, вследствие зыбкости почвы или других причин, то инструмент ставят или в стороне от оси на равных расстояниях от пикетов, или несколько ближе к одному из пикетов.

Если, идя по оси, дойдут до поворота ее, то в точке поворота измеряют угол и, промерив расстояние от предыдущего пикета до вершины угла откладывают от нее далее по оси дополнение сделанного промера до 100 м. Так можно поступить, однако, только на ровной местности и в том только случае, когда угол поворота близок к  $180^\circ$ , потому что тогда длины обеих касательных почти не отличаются от длины кривой; в противном случае делается поправка, заключающаяся в том, что пикет, непосредственно следующий за углом поворота, ставится не в 100 м от предыдущего пикета, а в  $[100 + (2T - K)]$  м; здесь  $T$  есть длина касательной, а  $K$  — длина кривой, при чем обе эти величины берутся из таблиц для разбивки кривых, напр., Кренке<sup>1)</sup>. Когда между пикетами встретятся заметные для глаза перегибы местности, то на них забиваются колья



Черт. 31.

и замечаются расстояния их от предыдущего пикета. При перенумеровывании пикетов дробями промежуточная точка обозначается, напр., через  $\frac{2}{8} + 45$ , это

<sup>1)</sup> Величина  $(2T - K)$  называется **недвигом вперед**. Иногда она прямо дается в таблицах, напр. у Яцыны.

значит, что перегиб местности находится в 45 метрах от 8-го пикета после второго километра.

Относительно закруглений нужно сказать, что при предварительных изысканиях направлений линий дорог они для быстроты действий не разбиваются. А так как, с другой стороны, нивелировка по касательным может ввести иногда значительные ошибки при расчете в земляных работах, то вместо кривой назначаются только те точки ее, в которых придутся пикеты и в которых она имеет перегибы местности.

§ 16. Ведение пикетажной книжки. Все сделанное при разбивке осп нивелирования на местности изображается на абрисе, который от времени до времени пересылается другому съемщику, идущему с нивелиром позади.

На нем помечаются все пикеты, промежуточные точки, начало и конец закруглений, контуры, пересекаемые осью, углы ее поворота, расстояния от пикета до вершины и места постановки реперов. Для ведения такового абриса очень удобны особые пикетажные книжки с разграфленными на квадратики листочками, при чем продольная средняя линия на них принимается за ось линии дороги, пикеты подписываются их номерами и назначаются через одно и то же число делений (клеток) листочка, а расстояние промежуточной точки от предыдущего пикета подписывается сбоку. Черт. 31 представляет часть пикетажной книжки; на ней показан ход от 180 до 192 пикета по пронивелированной оси узкой полосы земли, предназначаемой для железной дороги. Сначала линия идет по лесу, затем по огородам села Арнаутова. Село остается влево от оси. Но середине села проходит шоссе, пересекаемое осью. Ось поворачивает вправо в точке, отстоящей от 188-го пикета на 25 саж. вперед по ходу (№ 188 + 25) под углом в  $148^{\circ}0'$ . Сопрягающая кривая разбивается радиусом в 300 саж. Длины тангесов 86,02 саж. = 1 пик. + 36,02 и кривой 167,55 саж. = 3 пик. + 17,55 саж. высчитаны по таблицам для разбивки кривых<sup>1)</sup>. Здесь же на полях показано, как находят начало и конец кривой (№ 186 + 38,98) и (№ 190 + 11,02), величина продвига пикета № 191 за концом кривой ( $2Tg - K$ )<sup>2)</sup>. По оси дороги замечен переход речки Лаи с указанием горизонта ее высоких вод (Г. В. В.).

Вынос пикетов на кривую. Если начало кривой в точке № 186 + 38,98, то следующий пикет № 187 придется через 11,02 саж. Чтобы нанести его на кривую, принимают начало кривой за начало координат. Касательную за ось абсцисс и перпендикуляр к ней за ось ординат и пользуясь II таблицей Яцны, III—Моржова и даже I—Кренке, выносят с касательной на кривую пикет. По координатам (пример см. дальше)

$$x = 11,02,$$

$$y = 0,20.$$

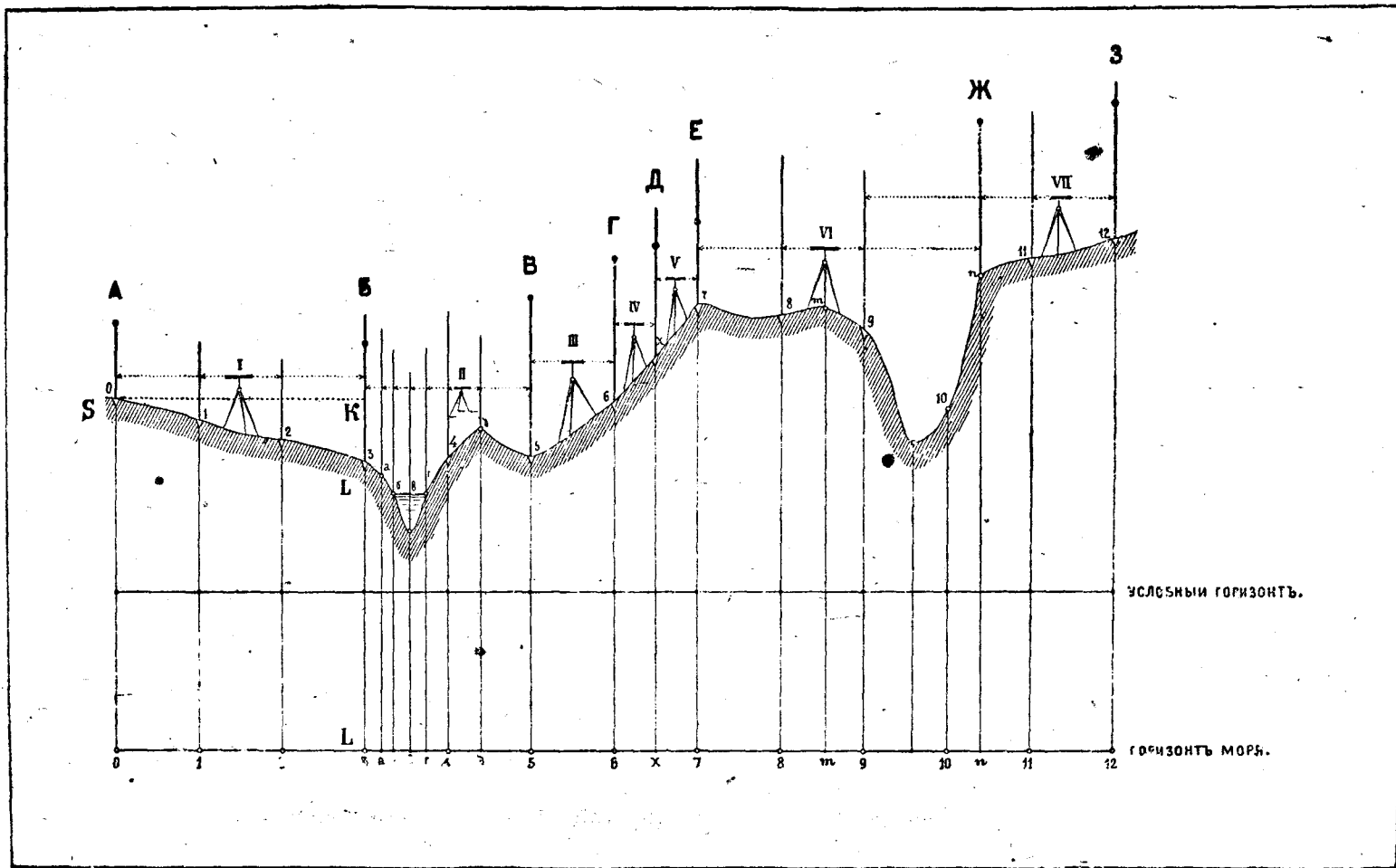
Такие же вычисления применяются и к пикетам на кривых, исчисляемых в метрических мерах.

§ 17. Порядок работы при сложном продольном нивелировании. При описании порядка работ мы сделаем предположение, что сначала работа идет на местности ровной, затем местность становится более крутой, но еще доступной для геометрического нивелирования и, наконец, допустим, что на пути встретился глубокий овраг, шириною более 100 м (50 саж.), т.-е. пусть профиль нивелируемой местности имеет вид, указанный на чертеже 32. Работа начинается с того, что одного рабочего ставят с рейкой (задней) на кол А нулевого пикета, с другою рабочего ставят с рейкой (передней) на пикет, напр., № 3, в точку В, с инструментом же становятся на середине линии АВ. Место для I станции выбирается на-глаз так, чтобы оба расстояния IА и IВ оказались одинаковыми. Избрав

1) См. справа сверху пикетажной книжки.

2) См. справа сверху и внизу на полях пикетажной книжки.





Черт. 82.

место для станции, приводят вертикальную ось вращения нивелира в отвесное положение, для чего сперва ставят ось уровня по направлению двух подъемных винтов и приводят пузырек уровня на середину трубки, а затем — по направлению третьего винта и, действуя им, приводят пузырек уровня на середину трубки. Приведя инструмент в горизонтальное положение, делают беглые взгляды — „прикидываются“ на заднюю рейку пикета № 0, и на переднюю — № 3, чтобы убедиться, что станция выбрана удачно, т.е. что взгляд назад не бьет в землю, а взгляд вперед не проходит над рейкою. При неудачном выборе места стремятся встать в стороне от линии (в ложбинке или на пригорке), предъявляя к новой стоянке прежние требования, т.е., чтобы  $A1 = 1B$  и чтобы взгляды назад и вперед легко можно было сделать на выставленных рейках. Иногда бывает достаточным, не меняя места инструмента, только приподнять или опустить (раздвинуть) ножки штатива. Если новая попытка окажется неудачной, то уменьшают расстояние  $AB$ . Пусть труба нивелира имеет достаточную силу зрения, напр., увеличивает в 30 раз и между точками  $A$  и  $B$  — наклон местности (к горизонту) слабый, станция I удачно пришлась на самой линии, инструмент приведен в горизонтальное положение; тогда нивелировщик, следя за уровнем, чтобы его пузырек во время отсчета по рейке строго оставался на середине трубки, прочитывает показание горизонтального волоска сетки на вадней рейке, оценивая тысячные доли метра на-глаз, и заносит отсчет в журнал нивелирования (см. стр. „Журнал нивелирования“) в графу (на левой стороне книжки), озаглавленную: „читанные взгляды назад“. После этого вращает нивелир около вертикальной оси на  $180^\circ$  и читает по передней рейке  $B$ , следя за уровнем. Прочитанный отсчет заносит в графу: „читанные взгляды вперед“ (см. также дальше § 25).

Затем или изменяется высота инструмента (простым надавливанием на концы ножек штатива — подошвою сапога), или труба перекаладывается в лагерах и (у нивелиров Эго и Керна) поварачивается около геометрической оси на  $180^\circ$ ; инструмент вновь приводится в горизонтальное положение и отсчеты повторяются, т.е. делаются вторые (контрольные) отсчеты по задней и передней рейкам; контрольные отсчеты записываются в тех же двух графах, под первыми отсчетами. Теперь сличают записи и убеждаются, что разность задних отсчетов равняется разности передних, т.е. эти разности отличаются между собою не более, как на 2 или 3 тысячных доли метра. Иначе контрольные отсчеты повторяются. Заднему рабочему командуются: „Задняя рейка вперед!“. Рабочий, дойдя до пикета № 1, останавливается, прочитывает вслух надпись на коле, ставит пятку рейки на кол, вбитый вровень с землей, у кола с номером, и нивелировщик читает показание рейки на пикете № 1. Отсчет заносится в графу: „читанные промежуточные взгляды“. Нивелир поворачивается на  $180^\circ$ , вадний рабочий переходит на пикет № 2, оборачивается лицом к нивелировщику, наблюдатель прочитывает показание на рейке пикета № 2 и заносит отсчет в графу читанных промежуточных взглядов. Задний рабочий идет вперед и проходит мимо переднего рабочего. Нивелировщик же с инструментом следует за ним и приказывает ему встать, напр., на пикет № 5 (точка  $B$ ). Передний рабочий, стоявший на пикете № 3, остается на месте и вращает свою рейку на пятке около вертикальной линии на  $180^\circ$ . Так как теперь рейка  $B$  на пикете № 3 будет задней рейкою для следующей II станции, и взгляд на нее свяжет точку  $B$  со следующей точкою  $B$  местности, т.е. точка  $B$  будет связывать показание нивелира на I станции с показаниями его на второй станции, то точка  $B$  именуется связывающею точкою. В журнале все записи, сделанные на станции подчеркиваются (отделяются от следующих горизонтальной чертой) и запись начинается вновь со связывшей точки пикета № 3. Таким образом, в журнале против пикета № 3 со второй станции записи уже должны приттись в графе: „взгляды

1 июня 1926 г.  
Число, месяц и год.

Журнал нивелирования.

Фамилия производящего работу.

Станция.	НОМЕРА КОЛБЕВ.	ОТСЧЕТЫ НА РЕЙКЕ.					Превыше- ние.		Горизонт инстру- мента.	Условные отметки.	ОТМЕТКА СТВОЛА ориентира моря	ПРИМЕЧАНИЕ.
		Ч и т а н н ы е.			Средние.		+	-				
		задний.	передний.	промеж.	задний.	передний.						
I	(0) А	324[1] 312[3]	—	—	318[7]	—			20.318[10]	20.000[9]	20.000 + 0.312	
	(0) + 100 = (1)	—	—	637[5]	—	—			—	19.675[13]	— 20.312[12] — 20.312	
	(2)	—	—	909[6]	—	—	887	—	—	19.403[14]	637 — 909	
	(3) В	—	1.210[2] 1.200[4]	—	—	1.205[3]		[15]	—	19.113[11]	19.675 19.403	
II	(3) В	1.130[1] 1.108[3]	—	—	1.119[11]	—			20.232[13]	—		
	(3) + 10 (а)	—	—	1.273[5]	—	—			—	18.948[15]		
	(3) + 17 (б)	—	—	1.511[6]	—	—			—	18.710[6]	У воды.	
	(3) + 26 (в)	—	—	2.036[7]	—	—			—	18.185[17]	Ручей (дно).	
	(3) + 35 (г)	—	—	1.508[8]	—	—			—	18.713[18]	У воды.	
	(4)	—	956[2]	—	—	—			—	19.234[19]		
	(4) + 21 (д)	—	935[4]	569[10]	—	—	[21]		—	19.652[20]		
(5) В	—	—	—	—	945 <sub>5</sub> [12]	173 <sub>5</sub>		—	19.286 <sub>5</sub> [14]		Поверка.	
III	(5) В	1.349[1] 1.311[3]	—	—	1.330[7]	—			20616 <sub>5</sub> [9]	—	— 20.088 <sub>5</sub> — 2.767	
	(6) Г	—	546[2] 510[4]	—	—	528[8]	802		—	20.088 <sub>5</sub> [10]	+ 0.088 <sub>5</sub> [15] 0.088 <sub>5</sub> [16]	
	а - (5) + 10	—	—	1.518[5]	—	—	[13]	—	—	19.079[11]	— 0.975 <sub>5</sub>	
	я - (5) + 12	—	—	1.106[6]	—	—	—	—	—	19.491[12]	— 0.837	
№№ граф.	(I)	(II)	(III)	(IV)	2.767[13] (V)	2.678 <sub>5</sub> [14] (VI)	975 <sub>5</sub> (VII)	887	(VIII)	(IX)	(X)	(XI)

назад<sup>1)</sup>, поэтому и точка № 3 записывается два раза в журнале: один раз с первой станции, а во второй раз, под чертою, со второй станции.

Установив рейки в точках *B* (пик. № 3) в *B* (пик. № 5), нивелировщик, перейдя речку, останавливается на пригорке, пройдя 4-й пикет, в стороне от нивелируемой линии *BB* и, убедившись, что расстояние *IB'* и *IB* на глаз равны, повторяет те же действия, что и на I станции, т.-е., приведя инструмент в горизонтальное положение, делает взгляды сперва на связующие точки, а именно: на *B*—взгляд назад и на *B*—взгляд вперед. Убедившись контрольными отсчетами, что грубых прочетов не сделано, подвигает заднего рабочего последовательно в точки *a*, *b*, *v*, *z*, № 4 и *d*, занося каждый раз последовательно прочтенные по задней рейке взгляды в графу „читанных промежуточных взглядов“.

Между 5 и 6 пикетами местность становится круче, станция III взята на расстоянии 50 м от этих пикетов, промежуточных точек также нет.

Между 6 и 7 пикетами скат настолько крут, что промежуток между этими пикетами приходится разбить вспомогательной, так называемой, *X*—точкой на две станции IV и V, сделав *X*—точку связующей между ними, а петому забить в ней кол с надписью:  $\frac{X}{№ 6 + 30^1}$ .

Между 7, 8 и 9 пикетами местность в общем образует почти горизонтальную площадку и, не доходя 9 пикета, начинается широкий овраг: при чем пикет № 10 приходится на глубоком дне оврага; а пикет № 11 по другую сторону оврага на ровной небольшой покатости, где находится и пикет № 12. Вследствие этого станция VI взята в точке *m* между 8 и 9 пикетами, связующими точками избраны *E* (№ 7) и *Ж* (*n*), пикет № 8 вошел как промежуточный для VI станции. Точка *n* взята по другую сторону оврага, так что „взглядом вперед“ на рейку *Ж*, стоящую в точке *n*, „перекидываются“ через овраг.

Седьмая станция взята между 11 и 12 пикетами, ближе к 11; при чем связующими точками здесь служат *Ж* (*n*) и *З* (№ 12), а промежуточными—пикеты № 9 и № 11; здесь также взглядом па 9 пикет „перекидываются“ на начало оврага.

Если бы на промежуточную точку 9 пикета были сделаны самостоятельные взгляды с VI и VII станции, то для ее отметки получилось бы два результата: один из наблюдений с VI, а другой из наблюдений с VII станции.

Наконец, если бы, стоя в точке *m*, измерили высоту инструмента от земли до центра объектива и сделали бы запись в журнале на станции VI, то точка *m* получилась бы как промежуточная, ибо высота инструмента заменила бы взгляд на рейку, которая могла стоять в *m*, если бы станция VI была взята в стороне линии *ЕЖ*.

Когда за первым нивелиром следом идет контролем второй нивелир, то контролирующий ставит рейки только на связующие точки, а потому первый нивелировщик, делая контрольные отсчеты, не меняет высоту своего нивелира и не теряет времени на вторичное приведение нивелира в горизонтальное положение.

Успех работы зависит от навыка нивелировщика и реечников. В среднем, если день прохладный, при небольших уклонах, в открытой местности, за день в 10 рабочих часов опытные работники успевают проходить до 10 км. В лесу, гористой или болотистой местности успех значительно понижается и доходит до  $1\frac{1}{2}$ —2 км в день, особенно в жаркие дни, когда в трубе воздух кажется от нагревания дрожащим в изображениях реек беспокойными, отчего расстояние между связующими точками приходится сокращать почти вдвое.

<sup>1)</sup> Если точка *X* не имеет значения для будущего профиля местности, то *X*—точка не замечается колом, а под пятку рейки подставляют железный угол (прямой), втыкая вертикальную его сторону в землю, а на горизонтальную, соприкасающуюся с землей, сторону ставят рейку.

§ 18. Превышение конечной точки над начальной при сложном нивелировании. Превышение одной точки над другою, при простом нивелировании из середины, как мы видели в начале статьи о нивелировании, равняется разности между взглядом назад и взглядом вперед (см. § 2).

Разность эта считается положительной для повышающейся местности и отрицательной для понижающейся местности, — так,  $KL$  (черт. 32) считается отрицательным. Из чертежа 32 легко видеть, что  $KL$  есть проекция на вертикальную линию  $LK$  прямой  $SL$ , соединяющей точки  $S$  и  $L$  (в вертикальной плоскости).

На основании этого замечания можно сказать, что если бы мы соединили последовательно все связующие точки прямыми линиями, то превышение последующей точки над предшествующей всегда представит проекцию на вертикальную ось прямолинейного между ними расстояния. А потому, если бы мы мысленно соединили прямою конечную точку нивелирного хода с начальной точкою, то тем самым замкнули бы многоугольник, лежащий в вертикальной плоскости, вершинами которого служат связующие точки.

Проекцию этой замыкающей стороны служило бы превышение<sup>1</sup> конечной точки над начальной. Но так как, с другой стороны, известно, что проекция замыкающей стороны многоугольника равна сумме проекций остальных сторон, то можно сказать, что превышение  $H$  конечной точки над начальною в нивелирном ходе равно алгебраической сумме отдельных превышений  $h$  между соседними, ввятыми попарно, связующими точками полигона, т.-е.

$$H = \sum h.$$

Но так как каждое отдельное превышение  $h$  равняется разности взглядов назад и вперед, т.-е.

$$h = n - e,$$

то можно написать, что

$$H = \sum (n - e) = \sum n - \sum e,$$

т.-е. превышение (или разность уровней) в несомкнутом<sup>1)</sup> полигоне конечной точки над начальной равно сумме взглядов назад без суммы взглядов вперед. Положение это будет справедливо для любого числа точек несомкнутого полигона.

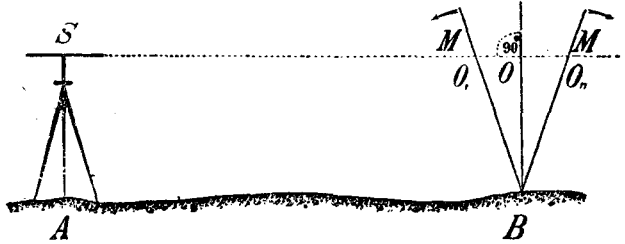
Если бы пронивелировали сомкнутый полигон, т.-е. конечная точка полигона совпала с начальной, то  $H = 0$ , следовательно, сумма взглядов назад без суммы взглядов вперед в сомкнутом полигоне равна нулю.

На основании этого, если условимся на каждой стороне журнала подсчитывать сумму взглядов вперед и сумму взглядов назад, то разность этих сумм в то же время будет равняться разности отметок (альтитуд) точек, от которой начали и при которой закончили суммирование. Разность этих отметок равна также алгебраической сумме отдельных превышений. В этом мы еще раз наглядно, на цифрах, убедимся в статье о вычислении отметок нивелирного хода.

§ 19. Уклонение рейки от отвесного направления. Геометрическое нивелирование или гипсометрия, как мы видели во вступлении, основано на получении на каждой станции точно горизонтального луча зрения и на умении правильно читать по рейке. Обыкновенно в трубу прочитывают на рейке целые метры, дециметры, сантиметры и *мм* (сажени, десятые их доли и сотые, а тысячные доли сажени ценят на глаз). Точно держать рейку по отвесу более, чем одну-две минуты, бывает затруднительно, — неопытный рабочий

<sup>1)</sup> В горизонтальной плоскости, т.-е. на земной поверхности.

(реечник) будет ее качать. Во избежание ошибки в отсчете по рейке от ее дрожания или колебания следует себе заметить, что истинный отсчет  $BO$  по рейке (черт. 33) горизонтальным лучем  $SO$  всегда будет наименьший из всех возможных в трубу отсчетов при нахождении пузырька уровня на середине трубки; действительно, так как  $BO$  опшет окружность  $O'O'O''$ , касательную в точке  $O$  к горизонтальному лучу зрения  $SO$ , то  $BO$  будет перпендикулярно к  $SO$ , а направления  $BO'$  и  $BO''$  — наклонны к  $SO$  как в плоскости чертежа, так и в плоскости поперечных колебаний рейки. И так как перпендикуляр короче наклонных, то и отсчет  $BO$  будет наименьшим. Для удобства рекомендуется не допускать поперечных колебаний и поправлять рейку, уклонившуюся в бок от вертикального волоска, допуская лишь продольное колебание.

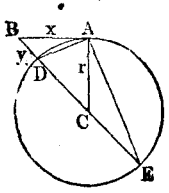


Черт. 33.

Несмотря на эти замечания, отсчитывания по рейке будут всегда более или менее отличаться от истинных отсчетов и не только от наклона реек, но и от неточного нахождения пузырька уровня на середине трубки.

Вследствие этого при нивелировании редко берутся расстояния более 100 м (50 саж.) от инструмента до рейки. Обыкновенно расстояние это берется в 50 м (при увеличении трубы  $v=20-25$  и цене (угловой величине) одного деления уровня  $z''=20''-30''$  1).

§ 20. Поправка от кривизны земли и рефракции. Если пренебречь высотой инструмента (0,6—0,7 сажени) в сравнении с радиусом земли (около 6000 верст), то можно считать, что горизонтальный луч зрения  $AB$  (черт. 34) касается в точке  $A$  земной сферы радиуса  $r=AC$ . Пусть горизонтальная поверхность моря в точке  $A$ , в сечении ее вертикальной плоскостью, дает дугу круга  $AD$ .



Черт. 34.

Считая по отвесно стоящей рейке  $DB$  показания  $b$  от земли до горизонтального луча зрения вместо того, чтобы делать этот отсчет по направлению уровенной поверхности  $AD$ , мы тем самым делаем постоянно неизбежную ошибку: в отсчете: для расстояния  $AD$  она будет  $BD=y$  (самый отсчет по рейке, как и высоту инструмента, не принимаем во внимание). Примем (§5 I ч.)  $AD=AB=x$ , тогда на основании того, что касательная линия есть средняя пропорциональная между всею секущей и ее внешним отрезком, имеем пропорцию:

$$BE:AB=AB:BD \text{ или } (2r+y):x=x:y$$

откуда находим: 
$$y=x^2:(2r+y)=\frac{x^2}{2r\left(1+\frac{y}{2r}\right)}$$

Отбросим в скобках малый член  $\frac{y}{2r}$ , ибо  $2r=13000$  км, тогда получим

для  $y$  выражение:

$$y = \frac{x^2}{2r} \dots \dots \dots (1)$$

1) Угловая величина одного деления уровня определится, если разность отсчетов, взятых по рейке при двух положениях пузырька, разделим на расстояние от инструмента до рейки (см. черт. 37), так как  $\text{tg}\theta = MI:NO$ , а  $\theta$  выражается числом делений на уровне, например, от середины трубки до середины пузырька, во 2-м его положении.



Из чертежа 34 видно, что поправку за кривизну земли следует вычитать из сделанного отсчета по рейке. Вычисляя ее по данному расстоянию  $x$  от инструмента до рейки, при чем поправка действует прямо пропорционально квадрату расстояния, — так что, увеличивая расстояние до рейки вдвое, тем самым увеличиваем влияние ошибки вчетверо и т. д. При  $x=100$  м и  $r=6400$  км, найдем:

$$y = \frac{100 \times 100}{2 \times 6400 \times 1000} = \frac{1}{2400} = 0,0008 \text{ м}$$

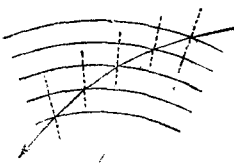
для  $x=200$  м поправка  $y=0,0032$ ,

а для  $x=1000$  саж. = 1 км . . .  $y=0,08$  м.

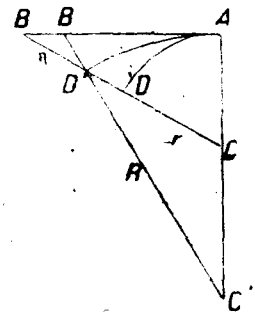
Обратно, при  $y=0,001$  м, расстояние  $x=77$  м.

Таким образом, при оценке на глаз тысячных долей метра, величина  $y$  оказывается, начиная с 80 м расстояния от инструмента до рейки.

Поправка от рефракции. Покажем, что при отсчитывании по рейке мы получаем не ошибку  $DB$ , а величину  $DD'$  (черт. 36), равную  $DB - BD'$ . Уменьшение на величину  $BD'$  расстояния  $DB$  от горизонтального луча зрения  $AB$  до горизонтальной уровненной поверхности  $AD$  (черт. 36) зависит от влияния рефракции, т. е. от того явления, что световой луч не распространяется в воздухе прямолинейно, а направляется по слабо изогнутой кривой (черт. 35). Эта кривая повернута своей вогнутостью к поверхности земли. Явление рефракции объясняется неравномерной плотностью слоев атмосферы, окружающей землю. Слои, концентрически располагаясь вокруг земной поверхности, имеют наименьшую плотность вверху и наибольшую внизу, в слое, непосредственно прилегающем к земле (черт. 35). Луч света, направляясь сверху вниз, из среды менее плотной в среду более плотную, будет преломляться; при переходе из слоя в слой он станет приближаться к направлению отвесной линии и даст ломаную линию. Но так как толщину каждого слоя можно считать бесконечно малой, то ломаный путь светового луча и будет вышеупомянутая кривая чертежа 35:



Черт. 35.



Черт. 36.

средственно прилегающем к земле (черт. 35). Луч света, направляясь сверху вниз, из среды менее плотной в среду более плотную, будет преломляться; при переходе из слоя в слой он станет приближаться к направлению отвесной линии и даст ломаную линию. Но так как толщину каждого слоя можно считать бесконечно малой, то ломаный путь светового луча и будет вышеупомянутая кривая чертежа 35:

Пусть  $D'A$  (черт. 36) изображает рефракционную кривую луча света, которая, идя от точки  $D'$  рейки, последним своим элементом сливается с касательной  $AB$  в точке  $A$  этой кривой, тогда глаз через трубу по направлению луча  $AB$  увидит отсчет, соответствующий в действительности точке  $D'$  рейки. Вследствие этого поправка  $BD$ , выведенная в предположении, что отсчет по рейке соответствует ее делению в точке  $B$ , подлежит исправлению на  $BD'$  за уклонение луча из точки  $B$  в точку  $D'$ .

Для коротких расстояний, как расстояния от рейки до инструмента, вполне возможно считать среднюю рефракционную кривую  $AD'$  (черт. 36) за дугу окружности круга радиуса  $R$ , величина которого в шесть—семь раз превышает среднюю величину  $r$  земного радиуса. Согласно чертежа 36, применяя к рефракционной кривой  $AD'$  формулу (1) этого §, можно написать:

$$D'B' = \frac{\xi^2}{2R}, \dots \dots \dots (2)$$

где  $\xi = AB'$  весьма мало отличается от  $x = AB$ , точно так же, как  $D'B'$  — от отрезка  $D'B = \eta$  отвесной линии  $BC$ , а потому с достаточным приближением

можно принять взамен (2) после подстановки  $x$  вместо  $\xi$ ,  $\eta$  вместо  $DB'$  и  $7r$  или  $6r$  вместо  $R$ , следующее выражение:

$$\eta = \frac{x^2}{2R} = \frac{1}{6} \cdot \frac{x^2}{2r} = \frac{1}{6} y \dots \dots \dots (3)$$

Величина  $DD'$  даст совместную поправку от кривизны (сферичности) земли и от рефракции; она (см. черт. 36) будет  $DD' = BD - D'B = y - \eta$  или по формулам (1) и (3)

$$y - \eta = \frac{5}{6} y = 0,84 y.$$

$$f = y - \eta = 0,84 \frac{x^2}{2r} \dots \dots \dots (4)$$

При  $x = 1$  км и  $\frac{x^2}{2r} = y = 00,8$  м будем иметь:

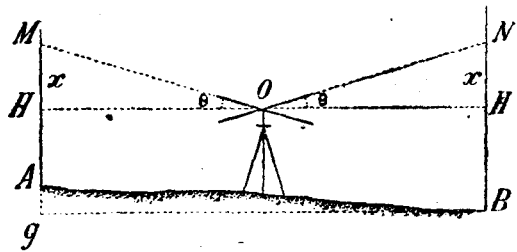
$$f = y - \eta = 0,017 \text{ м},$$

а при  $x = 100$  м,  $f = y - \eta = 0,0014$  м.

Вот почему, желая достигнуть в отсчетах по рейке точности до тысячных долей метра, не рекомендуется увеличивать это расстояние свыше 75 метров.

§ 2. Сравнение нивелирования „вперед“ с нивелированием „из середины“. Если сличать оба приема геометрической нивелировки, — „вперед“ и „из середины“, то сравнение приводит к заключению, что при равенстве расстояний от станции до пикетов, нивелирование из середины следует предпочитать нивелированию вперед. Это заключение основано, во первых, на том, что при нивелировании из середины уничтожается влияние неточного выполнения в инструменте

главного условия — параллельности оптической оси трубы с осью уровня; однако, совершенное уничтожение влияния этой погрешности достигается только при помещении инструмента точно в равных расстояниях между нивелируемыми пунктами. Действительно, если оптическая ось не параллельна оси уровня, а составляет с нею некоторый угол (черт. 37), вследствие неравенства подставок у трубы, то при визировании на заднюю рейку отсчет на ней будет не  $AH = a$  а  $AM = a' = a + x$ , где  $x = HM$  — ошибка в отсчете по задней рейке; точно так же отсчет на переднюю рейку будет  $BN = b' = b + x'$ . Но для получения разностей уровней  $Ag = u$  точек  $A$  и  $B$  следует образовать разность отсчетов  $a$  и  $b$ ; поэтому:



Черт. 37.

$$a - b = (a' - x) - (b' - x'),$$

откуда:

$$a' - b' = (a - b) + (x - x').$$

Так как при равенстве расстояний реек от инструмента прямоугольные треугольники  $MOH$  и  $HON$  равны между собою, то  $x = x'$ , а потому и

$$a' - b' = a - b;$$

т.-е., несмотря на неправильность осей уровня и трубы, разность отсчетов на рейках дает верную разность уровней, если только расстояния от инструмента до реек одинаковы.

Во вторых, если расстояния до передней и задней рейки одинаковы, то при нивелировании из середины уничтожается влияние неравенства цапф. влекущее за собою непараллельность осей трубы и уровня.

В-третьих, при нивелировании из середины, в результате не входит поправка  $f=y-\eta$  от кривизны земли и рефракции. Это важно в особенности потому, что свойство и степень кривизны луча света различны в разное время года и в разные часы дня.

Впрочем, и при нивелировании вперед можно избежать введения в отсчеты этой поправки  $f$ . В самом деле, если поставим инструмент сначала в  $A$ , сделаем отсчет на рейке в  $B$  и измерим высоту  $AM=i$  инструмента, то разность уровней  $Ag=u$  будет:

$$u = + (i - b + f), \text{ где } f = y - \eta.$$

Затем, если перенесем инструмент в  $B$ , а рейку в  $A$ , то подобным же образом будем иметь:

$$u = - (i' - a + f),$$

следовательно,

$$2u = (a - b) + (i - i')$$

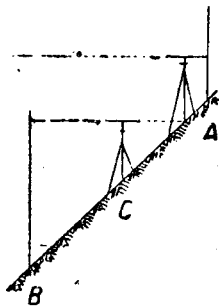
или:

$$u = \frac{1}{2} [(a - b) + (i - i')].$$

Итак, для избежания введения поправки  $f$  при нивелировании вперед нужно становиться с инструментом попеременно в обе нивелируемые точки, сделать отсчеты на рейках и измерить высоты инструмента, но это невозможно иногда сделать на местности крутой, а потому прием нивелирования вперед и не имеет тех преимуществ, какие имеет нивелирование из середины; он при обыкновенной постановке инструмента не устраняет влияния неизбежных погрешностей инструмента.

В-четвертых, нивелирование из середины выгоднее тем, что расстояние между нивелируемыми точками может быть вдвое более, чем при нивелировании вперед, а потому и работа должна идти вдвое быстрее. Если, наконец, заметим, что расстояние от инструмента до рейки при нивелировании из середины не меняется, то, установив один раз трубу для наблюдений, не требуется кремальеркой менять расстояния от сетки до объектива, как это имеет место при сокращении расстояний при нивелировании вперед, что вызывает сомнение в неизменности положения визирной оси.

Эти причины, показывающие, что нивелирование из середины точнее и быстрее нивелирования вперед, совсем вытеснили из употребления способ нивелирования вперед, который применяется только в исключительных случаях, например, при нивелировании через речку, болото, овраг и т. п. местные препятствия.



Черт. 38.

### § 22. Нивелирование крутых скатов. Крутые скаты

не могут быть пронивелированы ни из середины, ни вперед, потому что даже при тех наименьших расстояниях, при которых ясно можно видеть в трубу деления рейки, горизонтальный луч зрения, с одной стороны, упирается в землю, ниже основания рейки, как, например, на черт. 38 при постановке инструмента в  $C$ , а с другой, если даже нивелир поставить в  $A$  (с целью произвести нивелирование хотя бы по способу вперед), то горизонтальный луч проходит выше рейки, находящейся на следующей связующей точке  $B$ , а потому в этих случаях употребляются другие

приемы, а именно: посредством ватерпаса, посредством вертикального круга угломерного инструмента и посредством обыкновенного нивелира, применяя его несколько иначе.

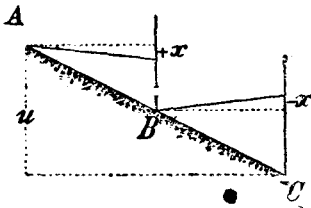
1-й способ определения разности уровней посредством ватерпаса был уже нами рассмотрен на чертежах 5 и 6. Но указанный там прием справедлив, однако, в том лишь случае, когда ватерпас верен, т.-е. когда выполняется

условие, что при совпадении нити отвеса со штрихом распорки нижний край бруса горизонтален. При неточном его выполнении нижний край бруса примет положение  $Ah''$  (черт. 39), отсчет на рейке будет ошибочен на  $hh' = x$ , так что верный отсчет  $h = h' + x$ . Если после этого переложить брус обратными концами, то в отсчет  $h''$  по краю бруса войдет та же ошибка  $x$ , но с обратным знаком; при чем  $h = h'' - x$ . Следовательно:

$$h = \frac{h' + h''}{2},$$

т.е. верный отсчет на рейке равен полусумме отсчетов, сделанных при двух положениях ватерпаса.

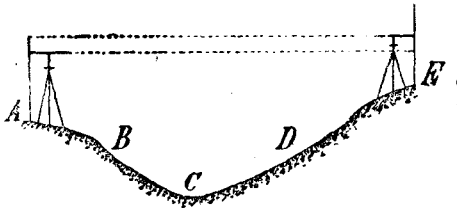
Ошибка не окажет также влияния на разность уровней конечных точек при наложении ватерпаса на покатость два, четыре и вообще четное число раз, если только перекладывать его при этом последовательно раз за разом противоположными концами. Так, если для определения разности уровней точек  $A$  и  $C$  (черт. 40) ватерпас укладывался ровно два раза, то при первом положении его войдет в отсчет ошибка  $+x$ , а при втором, после переложения, ошибка  $-x$ ; так что разность уровней  $u$ , равная сумме отдельных разностей уровней точек  $A$  и  $B$ ,  $B$  и  $C$ , будет свободна от ошибки.



Черт. 40.

Вследствие этого, если для определения разности  $P$  и  $Q$  (черт. 6) надо положить ватерпас нечетное число раз, то, помимо последовательного перекладывания, надо при последнем пятом брус переложить ватерпас дважды между теми же точками, как это показано на чертеже 39.

При нивелировании оврага  $ABC, DE$  (черт. 41) разность уровней конечных точек  $A$  и  $E$  определяют по способу нивелирования вперед, ставя инструмент как в  $A$ , так и в  $E$ , а скаты и дно оврага нивелируют ватерпасом.



Черт. 41.



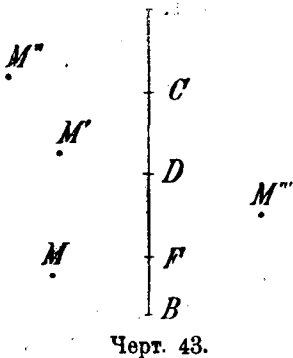
Черт. 42.

2-й способ состоит в определении разности уровней двух точек посредством угла наклоения, измеряемого по вертикальному кругу угломерного инструмента, и горизонтального между ними расстояниями. Если  $A$  и  $B$  (черт. 42) суть конечные точки покатости, то, поставив угломерный инструмент в  $A$ , а в  $B$  вежу с меткою  $N$ , высота которой равна высоте инструмента, и измерив  $\alpha$  и  $d$ , разность уровней  $u$  определяют по формуле:

$$u = d \cdot \text{tga}.$$

3-й способ. Оба предыдущие способа, требуя употребления инструмента, отличного от того, которым производится большая часть нивелировки, уступают в точности третьему способу посредством обыкновенного нивелира с трубкою.

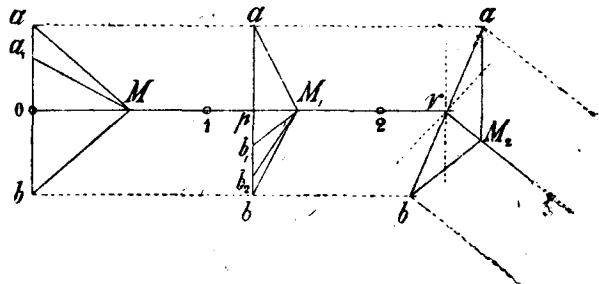
Пусть  $AB$  (черт. 43) представляет в плане ось нивелирования крутой покатости. В стороне от нее выбирают такие точки  $M'', M', M''', M$ , располагая линию  $M', M''', M, \dots$  зигзагом относительно  $AB$  чтобы части  $MM''', M'', M', \dots$  были приблизительно горизонтальны, и чтобы из них деления реек, ставимых последовательно в  $A$  и  $C$ ,  $C$  и  $D$ ,  $D$  и  $F$ , и, наконец,  $F$  и  $B$ , были видны с отчетливостью, и рейки находились бы приблизительно на равных расстояниях от избранных станций. Понятно, что таким образом определяются разности уровней точек  $A$  и  $C$ ,  $C$  и  $D$ ,  $D$  и  $F$ ,  $F$  и  $B$ ; сумма же их даст разность уровней точек  $A$  и  $B$ . Если место постановки инструмента придется также на покатости, то для него или употребляют штатив с произвольно укорачивающимися ножками, или вырубают на косогоре площадки такой величины, чтобы на них мог поместиться инструмент и сам съемщик.



Черт. 43.

**§ 23. Поперечное нивелирование.** При нивелировании местности под дорогу или канал помимо продольной нивелировки делается также и нивелировка поперечная, которую охватывается более или менее широкая полоса земли; она производится по линиям перпендикулярным к продольной оси. Расстояние между поперечными нивелировками зависит от характера местности и от степени точности, с которою должен быть составлен проект сооружения: чем местность пересеченнее и чем большая нужна точность, тем чаще берутся поперечные нивелировки. Вообще же поперечные сечения даются в начальной и конечной точках продольной оси, в перегибах местности и на всех поворотах оси. Длины поперечных нивелировок зависят от ширины предполагаемого сооружения. Поперечная нивелировка делается иногда менее точным инструментом, чем продольная, и при том отдельным съемщиком,—это и есть нивелировки 3-го и 4-го разряда.

В случае неширокой полосы поперечное нивелирование может производиться и в связи с продольным, одним и тем же нивелировщиком. Рассмотрим этот случай. Пусть линии  $ab$  (черт. 44) суть оси поперечных нивелировок; из них первая, перпендикулярная к продольной оси, проходит через нулевой пикет, вторая, также перпендикулярная к оси, проходит через перегиб  $p$  и третья проведена через вершину  $r$ , приблизительно по направлению равноделяющей угол поворота. Поставив инструмент на первой станции  $M$ , делают взгляды: 1) на пикеты 0 и 1 продольной оси, 2) влево (по ходу продольной нивелировки) по поперечной оси на перегиб  $a_1$ , 3) точку  $a$ , и 4) вправо на точку  $b$ . Затем переносят инструмент на вторую станцию  $M_1$  и делают взгляды: I) на пикеты 1 и 2, II) влево на  $a$ , III) на перегиб  $p$  и вправо, IV) на  $b_1$ , V) на  $b$ . Далее, при стоянии инструмента в  $M_2$ , после взглядов на пикеты 2 и 3, делают взгляды на  $a$ ,  $r$  и  $b$ . И таким же образом продолжают далее.



Черт. 44.

Разность уровней между точками поперечного и теми точками продольного нивелирования, при которых оно взято, может быть вычислена по формуле, выведенной для вычисления разности уровней между связующими точками, т.-е.  $h = h - b$ , ибо взгляд на поперечную точку можно рассматривать, как взгляд вперед по отношению к точке продольного нивелирования, на которую сделан взгляд при одной и той же высоте инструмента и с той же станции. Так, например, разности уровней точек связующей № 2 и точек

третьего сечения  $a$ ,  $r$ ,  $b$  найдутся, если взгляд на № 2 обозначим через  $H_2$ , а взгляды вперед на  $a$ ,  $r$  и  $b$  — через  $b_a$ ,  $b_r$ ,  $b_b$ , в виде  $h' = H_2 - b_a$ ;  $h'' = H_2 - b_r$ ;  $h''' = H_2 - b_b$ . Продольное нивелирование ведется вдоль осей оврагов, рек, ручьев, ложбин (водотоков), пересекающих ось продольной нивелировки.

§ 24. Контроль отсчетов по рейкам. Чтобы удостовериться в безошибочности сделанных отсчетов на рейках при сложном нивелировании, делают их поверку для тех реек, которые ставились на связующих точках. Это необходимо потому, что ошибка в отсчете на рейке какой-либо связующей точки передается целиком на следующие. Поверка отсчетов может быть достигнута различными путями.

Один из них состоит в том, что на каждой станции, сделав взгляды назад и вперед, изменяют высоту инструмента и вновь делают отсчеты на рейках тех же пикетов. При верности отсчетов разность двух взглядов вперед должна быть равна разности двух взглядов назад, потому что они выражают разность двух горизонтов инструмента. Полагая, что отсчеты делаются с точностью до 0,001—2 м вторая разность взглядов не должна отличаться от первой более чем на 0,002—4 м. За окончательный результат принимают среднее арифметическое из обеих разностей.

При другом приеме поверки не меняют высоты инструмента, но пользуются обоими колышками каждой связующей точки и поступают так: при нахождении инструмента между пикетами  $n - 1$  и  $n$  (черт. 45) ставят рейку в точке  $n$  сначала на кол, вбитый вровень с землей, затем на кол с номером  $n$  и делают отсчеты, которые обозначим соответственно через  $b$  и  $b'$ . После этого инструмент переносят на середину между пикетами  $n$  и  $n + 1$ , поворачивают рейку на коле пикета (забитом вровень с землей) лицом к инструменту, делают на ней отсчет, переставляют ее на кол с номером  $n$  и опять делают отсчет. Если эти последние отсчеты обозначим соответственно через  $a$  и  $a'$ , то  $b - b'$  должно быть равно  $a - a'$ , т.-е.

$$b - b' = a - a'$$

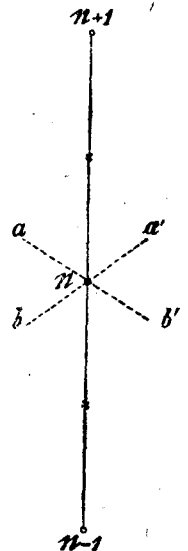
или:

$$b + a' = a + b'$$

т.-е. суммы накрест лежащих взглядов на каждой связующей точке должны быть одинаковы. Разница не должна превышать 0,002—4 м. Само собой понятно, что высоты коле с номерами над пикетами должны быть одинаковы. Обыкновенно № над пикетом забивается на высоте ширины ладони руки.

Если при работе употребляется нивелир или с перекладною трубою и уровнем, прикрепленным к ее подставкам (например, нивелир Эго), или с перекладным на трубе уровнем (например, нивелиры Керна), то особенно выгоден прием поверки посредством переложения этих частей, потому что при этом уничтожается вместе с тем влияние неравенства подставок трубы у нивелира Эго и неравенство подставок уровня у нивелира Керна. Порядок действий при этой поверке таков: делают взгляды назад и вперед, перекадывают осторожно или трубу в лагерах, или уровень на трубе и вновь делают отсчеты на тех же рейках. Если инструмент верен, то разность обеих пар этих отсчетов должна быть совершенно одинакова. В случае же небольшой между ними разницы среднее арифметическое из них даст верный результат даже и тогда, когда инструмент стоит не точно посредине между пикетами.

С целью контроля отсчетов по рейкам выгодно употреблять двусторонние рейки, т.-е. такие, у которых деления нанесены с обеих сторон:



Черт. 45.

с одной стороны нанесены деления, например, в двухтысячных долях сажени, а с другой — в сантиметрах.

Если проверка делается изменением высоты инструмента, или переложением трубы в лагерах, то взгляды на промежуточные и поперечные точки делятся при втором положении, так как в случае неудовлетворительности работы взгляды, которые сделали бы при первом положении на поперечные и промежуточные точки, пришлось бы отбросить и сделать их вновь.

§ 25. Журнал нивелирования. Все отсчеты, сделанные при сложном нивелировании, записываются в особый журнал. Наиболее удобную его форму для нивелирования продольного и произведенного в связи с ним нивелирования поперечного приводили в § 17 (см. образец журнала). В первую левую графу вписываются номера нивелируемых пикетов (заключены в скобки) и промежуточные точки, обозначенные номером предыдущего пикета + расстояние точки от этого пикета, так, например, (0) + 100 показывает, что промежуточная точка лежит от нулевого пикета вперед по оси в расстоянии 100 м, т.е. это первый пикет.

Во вторую графу против связующих точек заносятся отсчеты, сделанные на задние рейки, а в третью — на передние <sup>1)</sup>. Тут же вписываются и поперечные взгляды, делаемые, как сказано, только на связующие точки. Допустим сначала, что проверка делалась изменением высоты инструмента, или переложением трубы. Так как по записям журнала контрольный взгляд на нулевой пикет менее прежнего взгляда на 0,012, а вторичный взгляд на третий пикет менее прежнего на 0,010, то разность уровней между (0) и (3) пикетами по прежним взглядам 0,886 выйдет менее той же разности уровней по вторичным взглядам — 0,888 на 0,002. Такая разница допустима, так как не выходит за пределы точности отсчитывания по рейкам, а потому нивелирование между пикетами (0) и (3) считается верно произведенным.

В четвертой графе записываются взгляды, взятые на промежуточные точки, каковыми для I станции (см. запись в журнале) являются (1) и (2) пикеты.

В пятой графе записывается среднее из двух взглядов на задние рейки:  $318 = \frac{1}{2}(324 + 312)$ , а в шестой — среднее из взглядов на передние рейки:  $1.205 = \frac{1}{2}(1.210 + 1.200)$ . Далее идет вычисление отметок нивелированных точек (см. § 26).

В седьмой графе записываются превышения с их знаками:  $(318 - 1.205) = -887$ ;  $(1.119 - 945,5) = +173,5$  и т. д.

Восьмая графа заполняется после того, как дана в графе IX условная отметка пикета (0), равная 20,000. К условной отметке начальной (задней) точки придается средний взгляд назад 0,318, и получается средний горизонт инструмента для I станции, равный 20,318; он заносится в VIII графу.

Из 20,318 вычитается взгляд (средний) вперед на (3) пикет, равный 1,205, и получается  $20,318 - 1,205 = 19,113$ , отметка (условная) для (3) пикета. Число 19,113 заносится в XI графу. Для получения условных отметок для промежуточных точек (1) и (2), на которые взяты взгляды при втором (контрольном) положении инструмента, необходимо прежде всего получить горизонт этого второго положения; он будет  $20,000 + 0,312 = 20,312$  (что и занесено в графу примечаний). Из него вычтено последовательно 0,637 и 0,909 и получены отметки 19,675 и 19,403 для (1) и (2) (см. графу примечаний и графу условных отметок).

Взгляды на точки поперечного нивелирования также заносятся в четвертую графу — промежуточных точек. Так для станции III в первой графе после записи

<sup>1)</sup> Записи сделаны применительно к чертежу 32, и рекомендуется проследить по чертежу записи в журнале.



связующей точки  $\Gamma$  [пикет (6)] занесено:  $m-(5)+10$  и  $n-(5)+12$ . Это следует понимать так: на пятом пикете, влево от него в 10 метрах и вправо — в 12 м, взяты были точки в поперечном профиле, при чем взгляды эти сделаны при втором горизонте инструмента и внесены в графу чиганных промежуточных точек: 1,518 и 1,106.

На первой странице журнала на левой стороне подсчитаны (внизу) сумма средних задних взглядов 2,767 (в пятой графе) и сумма средних передних взглядов 2 678<sub>5</sub> (в шестой графе) и сумма превышений  $+975_5 - 887 = +0,088_5$  (в седьмой графе).

В графах примечаний указана поверка сделанных вычислений: налево взята разность отметок, — последней на стропиле связующей точки (6)  $\Gamma$  и первой начальной точки (0)  $A - 20.088_5 - 20.000 = +0.088_5$ , а направо разность сумм 2,767 (взглядов назад) и 2.678<sub>5</sub> (взглядов вперед)  $2.767 - 2.678_5 = +0,088_5$ . Под ними взята сумма положительных 975<sub>5</sub> и отрицательных превышений 887, т.-е.  $975_5 - 887 = 0,088_5$ . Эти разности подтверждают правильность сделанных вычислений.

Такой постраничный подсчет делается на каждой странице ежедневно вечером, по возвращении из поля, обоими нивелировщиками, идущими по оси нивелирования один за другим, дабы решить, возможно ли двигаться на утро вперед или нужно вернуться назад и проверить сделанное за время предыдущего дня.

Для того, чтобы удобнее проследить запись, в журнале поставлены те же буквы, что и на чертеже 32, для обозначения связующих и промежуточных точек, а также на полях журнала помечены номера станций. В поле буквы эти  $A, B, B, \dots, 3, a, б, \dots, д$  не пишут в журнале, а довольствуются условными их обозначениями, например, для точки  $\delta$  ограничиваются записью (3)+17.

Порядок занесения записей в графы журнала на каждой станции обозначен цифрами, стоящими справа, в четырехугольных скобках: [1], [3], [2], [4] . . . . . [12] . . . . . [15] например, на I станции 324 [1], — в I графе и 1,205 [8] — в VI графе.

Закладные марки. На основных пунктах, между которыми производится нивелирование первого разряда, укрепляются по большей части особые закладные марки, иначе называемые реперами <sup>1)</sup>. Они имеют весьма разнообразную форму. Приведем некоторые из них.

Закладная марка Главного Штаба, изображенная на черт. 46, вылита из чугуна: на лицевой стороне круглой ее доски (диаметром около 13,5 см) выпуклыми буквами сокращенно написано кругом „Нивелировка Главного Штаба“: наверху помещен год постановки, а внизу номер марки; затем в середине доски имеется точка, изображающая центр марки, высота которого определена нивелированием над принятым уровнем воды (в большинстве случаев над уровнем Балтийского моря). На обратной стороне марки имеется стержень с вазубринами или уступами, постепенно расширяющимися к концу (длина стержня = приблизительно 8,5 см), а вес всей марки около килограмма. Для укрепления такой марки на данном сооружении пробивается в каменной кладке глубокое квадратное углубление, в которое дня за два до производства нивелирования вставляется стержень и заливается жидким цементом, дабы цемент мог затвердеть и дать марке неизменное положение. Нивелировки Гл. Шт. располагаются по преимуществу по линии железных дорог, и марки закладываются на расстоянии 20—30 км. (Преимущественно на стенах паровозных зданий и водонапорных башен).



Черт. 46.

<sup>1)</sup> Французское слово *герёге* значит заметка.

Если нивелирование ведется хотя и обыкновенным нивелиром, но по нескольким направлениям, например, по улицам города, то некоторые хода (например, сомкнутое кольцо вокруг города и два приблизительно перпендикулярные хода по диаметрам этого кольца) считаются за основные и от них ведутся второстепенные нивелировки. В точках основных ходов ставятся также реперы. Так, при нивелировке г. Москвы в 1876—1877 годах употреблялись репера, один из которых изображен на черт. 47. Он имеет форму равнобедренного треугольника с основанием, равным 24,5, и высотой около 12,7 с.м. На лицевой стороне репера сделаны следующие выпуклые надписи: (1877 год постановки репера), 500 (номер по порядку) и 14,33; это последнее число есть отметка в саженьях сквозной горизонтальной черты, сделанной над ним. Высоты взяты относительно уровня воды Москвы-реки под Даниловым монастырем, а чтобы получить высоту черты над уровнем Балтийского моря (у Кронштадтского футштока) надо прибавить 53,993 саж.,

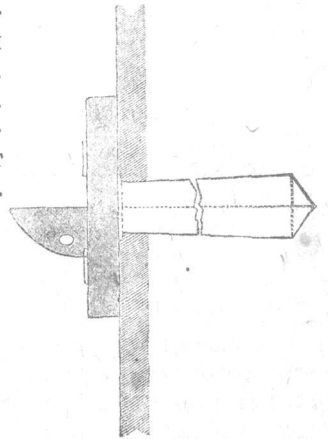


Черт. 47.

что выражает высоту среднего уровня Москвы-реки под Даниловым монастырем над уровнем Балтийского моря. Прикрепление репера к стене производилось ершовыми гвоздями, которые, проходя через круглые отверстия вблизи вершин треугольника репера, вбивались в деревянные пробки, загнанные предварительно в глубокие отверстия в каменной кладке. Впоследствии при канализации Москвы употреблялись реперы, напоминающие берлинские. Черт. 47а и 47б изображают стеной чугунный репер Д. К. (Городск. Канализац.) за № 2374; стеной репера забивались через 50 саж.; точкою нивелировки у них служат ребро двухгранного угла в  $120^\circ$  в центре марки. На окраинах города на пустырях употребляются „в е р т и ч е“ репера в виде стержня с винтовой нарезкой на нижнем конце.

**§ 26. Вычисление отметок технической нивелировки.** По окончании нивелирования по журнальной записи (§ 25) сделанных взглядов получают данные для составления на бумаге вертикального разреза, иначе профиля земной поверхности. Для этого связующие точки, пикеты и другие пронивелированные точки должны быть отнесены к одной горизонтальной плоскости, представляющей или продолженный уровень какого-нибудь водохранилища, или произвольно выбранную горизонтальную плоскость, лежащую ниже всех пронивелированных точек. Высоты точек земной поверхности над этою плоскостью называются их отметками. Для определения положения точек оси нивелирования относительно принятой плоскости достаточно знать взаимные горизонтальные между ними расстояния и их отметки. Первые из этих величин, т. е. горизонтальные расстояния, определены промерами лентой на местности <sup>1)</sup>, и берутся из пикетной книжки, а вторые — отметки точек — могут быть вычислены по имеющимся в журнале взглядам и по данной высоте или отметке начальной точки. Действительно, если  $a$  и  $b$  (черт. 48) суть взгляды на заднюю и переднюю рейку (или взгляды на точку продольного и поперечного нивелирования), и если  $a$  есть известная высота (отметка) начальной точки  $A$

ного треугольника с основанием, равным 24,5, и высотой около 12,7 с.м. На лицевой стороне репера сделаны следующие выпуклые надписи: (1877 год постановки репера), 500 (номер по порядку) и 14,33; это последнее число есть отметка в саженьях сквозной горизонтальной черты, сделанной над ним. Высоты взяты относительно уровня воды Москвы-реки под Даниловым монастырем, а чтобы получить высоту черты над уровнем Балтийского моря (у Кронштадтского футштока) надо прибавить 53,993 саж.,



Черт. 47б.



Черт. 47а.

рваные точки должны быть отнесены к одной горизонтальной плоскости, представляющей или продолженный уровень какого-нибудь водохранилища, или произвольно выбранную горизонтальную плоскость, лежащую ниже всех пронивелированных точек. Высоты точек земной поверхности над этою плоскостью называются их отметками. Для определения положения точек оси нивелирования относительно принятой плоскости достаточно знать взаимные горизонтальные между ними расстояния и их отметки. Первые из этих величин, т. е. горизонтальные расстояния, определены промерами лентой на местности <sup>1)</sup>, и берутся из пикетной книжки, а вторые — отметки точек — могут быть вычислены по имеющимся в журнале взглядам и по данной высоте или отметке начальной точки. Действительно, если  $a$  и  $b$  (черт. 48) суть взгляды на заднюю и переднюю рейку (или взгляды на точку продольного и поперечного нивелирования), и если  $a$  есть известная высота (отметка) начальной точки  $A$

<sup>1)</sup> Если промеры велись по наклонной линии, то можно ввести в промеры поправки за наклон.

над принятой плоскостью  $HN$ , то горизонт инструмента будет  $=\alpha + \alpha = = b + \beta$ , откуда находим отметку  $\beta = (\alpha + \alpha - b)$ .

Подобным же образом, если  $a'$  и  $b'$  суть взгляды назад и вперед при стоянии инструмента между какими-либо двумя точками  $B$  и  $C$ , а  $\gamma$  — отметка точки  $C$ , то:  $\beta + a'$ , будет опять горизонт инструмента, и отметка  $\gamma = (\beta + a') - b'$ .

Такой способ обработки журнала носит название „метода горизонта“.

Вообще можно сказать:

Отметка последующей точки продольного нивелирования равна отметке предыдущей точки, плюс взгляд назад (горизонту инструмента) и минус взгляд вперед.

А так как взгляд назад без взгляда вперед есть превышение или разность уровней, то предыдущая формула может быть выговорена следующим образом:

Отметка последующей точки равна отметке точки предыдущей + превышение, или + разность их уровней, — это „метод превышений“.

Это последнее правило, выведенное для нивелирования из середины, справедливо и для нивелирования вперед, но только здесь взгляд назад заменяется высотой  $i$  инструмента.

Формула для вычисления отметок точек продольного нивелирования вполне применима и для вычисления отметок точек поперечного нивелирования, нужно только за отметку точки предыдущей брать в этом случае отметку той точки продольного хода, на которую взят взгляд одновременно (с той же самой станцией) с взглядом на поперечную точку, а точку поперечной нивелировки следует считать за последующую точку и взгляд на нее за взгляд вперед.

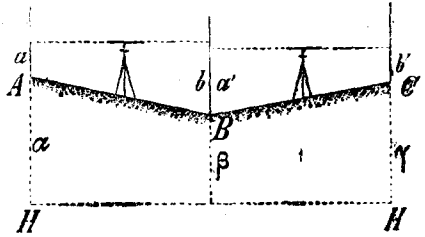
Вследствие этого отметка точки поперечного хода равна отметке точки продольного нивелирования плюс взгляд на точку продольного нивелирования (второму горизонту инструмента) и минус взгляд на точку поперечной нивелировки или + разность уровней точек продольного и поперечного нивелирования.

Основываясь на этих правилах и сделано нами вычисление отметок точек на числовом примере, пользуясь взглядами, которые мы имели записанными в приведенном выше нивелировочном журнале § 25.

После того, как заполнены V и VI графы журнала средними из взглядов на задние и передние рейки: станция I....  $318 = \frac{1}{2} (324 + 312)$  и  $1.205 = \frac{1}{2} (1.210 + 1.200)$ , составляем превышение  $318 - 1.205 = -0,887$  точки  $b$  над  $A$ , и заносим в VII графу.

По данной отметке  $a$  точки  $A$ : 20.000 и среднему взгляду  $a$  назад на точку  $A$ : 318 по формуле  $\alpha + \alpha =$  (горизонт инструмента), из которого [по формуле  $\beta = \alpha + \alpha - b$ ] вычитаем 1.205 (взгляд вперед  $b$ ) и получаем отметку  $\beta = 19, 113$  [11] точки  $b$  (графа IX). Подобным же образом поступаем далее на II и III... станциях, пока не вычислим отметки всех связующих точек (опуская пока, до увязки, вычисление отметок всех промежуточных точек).

§ 27. Увязка сомкнутого нивелирного хода и хода, пройденного два раза (вперед и назад) с нивелиром. Если нивелировка кончается у той же точки, у которой она началась, и нивелирный ход представляется замкнутым полигоном, то отметка исходной точки не получится такой же, какую она была до вычисления хода. Если разность этих отметок не превысит наивысшего предела ошибки, вычисляемого по формуле  $P = 3t \sqrt{2n} = 0,003 \sqrt{2n}$ , где  $n$  число станций и  $t = 0,001$  м, точность отсчета по рейке, то ее уничтожают пропорционально длине пройденного хода (или числу пройденных станций).



Черт. 48.

Ход, дважды пройденный, вперед и назад, можно трактовать, как два отдельных хода (основной и контрольный). Проходя вторично по ходу — назад, следует разности уровней связующих точек, полученные вторично нивелировкой, сравнить с теми же разностями, полученными по первому ходу. В случае расхождения разностей более, чем на 0,003 м, следует повторить такую станцию нивелировку в третий раз.

Поэтому, если отметки вычислены, начиная с начальной точки до конечной и с конечной (по обратному ходу) до начальной точки, то полученную разность, если она допустима, делят пополам, и ею исправляют отметку конечной точки, вычисленную по прямому ходу <sup>1)</sup>; все же остальные отметки исправляют так же, как это мы делали в предшествующем случае.

Примечание. Обратный ход отличается от прямого только тем, что в нем на каждой станции „взгляд вперед“ сделан на точку с младшим номером, а при прямом ходе на ту же точку делается „взгляд назад“. Само собою разумеется, что разность уровней двух связующих точек от порядка взглядов не изменится по абсолютной величине, а потому вычисление обратного хода от конечной точки к начальной можно было бы заменить вычислением хода с отметкой начальной точки, и для того, чтобы вычислять, начиная с последней страницы журнальной записи и вернуться к отметке конечной точки, пришлось бы отметки вычислять во второй записи по формуле: отметка последующей точки равна отметке предыдущей + взгляд вперед и минус взгляд назад.

Вычисление отметок промежуточных точек производится после увязки отметок связующих точек. Пусть, напр., хотим вычислить отметки точек (л) и (п) на III станции. Не будем забывать, что промежуточные (между связующими лежащие) точки нивелируются при второй постановке (горизонте) инструмента, т. е., когда на точке В сделан взгляд 1,311, а на (л) — 1,518 и на (п) — 1,106. Поэтому сперва находим 2-й горизонт; он будет:  $19,286_6$  (т. е. отметка точки В) + 1,311 = 20,597<sub>6</sub>; из него вычитаем 1,518, т. е.  $20,597_6 - 1,518 = 19,079_6$  (получаем отметку точки л); точно так же  $20,597 - 1,106 = 19,491$  (отметка точки п).

§ 28. Вычерчивание профиля. После увязки нивелирного хода, когда окончательно установлены отметки всех точек, приступают к вычерчиванию профиля пронивелированной линии. С этой целью проводят внизу листа, отступя от края листа см 8—10, прямую и на ней в избранном масштабе откладывают сперва горизонтальные расстояния (абсциссы) между пикетами, и затем между связующими точками, а также и между промежуточными точками, взятыми для рельефа и для закруглений (начало, середина, конец кривой). Эта линия соответствует прямой чертежа 32, подписанной „горизонт моря“. Затем из всех точек отложения восставляют к прочерченной горизонтальной прямой перпендикуляры (ординаты) и на них в более крупном масштабе, напр., в десять раз большем против масштаба, принятого для горизонтальных расстояний, откладывают вычисленные отметки. Соединяя после того концы этих перпендикуляров (представляющие точки местности) прямыми линиями в той же последовательности, как они расположены в натуре, получают на бумаге изображение профиля. Увеличенным масштаба для отметок достигается большая наглядность рельефа местности вдоль этого разреза. В точках отложения под горизонтальной прямой подписываются №№ пикетов. Очевидно, что форма профиля не изменится, если с каждой отметки скинуть одно и то же число саженей, т. е. если отметки станем откладывать от произвольного горизонта.

Внизу профиля чертится план развернутого в прямую линию нивелирования хода в виде прямых, связанных кривыми закруглений, разбитых в углах поворота хода (черт. 49), при чем угол вправо по ходу обозначается дугою кверху, внизу

<sup>1)</sup> Другими словами, за окончательную отметку берут среднее арифметическое.



с обеих сторон каждой вертикали пишут расстояния до ближайших пикетов— так, начало первой кривой отстоит от № 186 на 38,98 сажени, а от № 187 на 11,02 сажени.

Если из начала 2-й кривой № 192 + 25,14 вычесть конец первой кривой № 190 + 6,53, то получим:

$$\begin{array}{r} \text{№ 192} + 25,14 \\ \text{№ 190} + 6,53 \\ \hline 2 + 18,61 \end{array}$$

длину 2-ой прямой профиля чертежа 49, равной 18,61 саж.

Так обыкновенно и проверяются надписи длин прямых на профиле.

Выше „расстояний“ пишутся на профиле „черные отметки“ земной поверхности, полученные нивелировкой.

Для быстроты работы разрез земной поверхности чертится иногда на так называемой профильной бумаге. Это сверток, длиною в 9 метров, а шириною 0,50 метра. По всему протяжению он разбит на квадраты со сторонами в 0,01 долю сажени, вытянутыми желтою или синею краскою. Каждая сторона разделена еще на 20 частей, так что получаются квадратики со сторонами в 0,0005 долей сажени или в 1 сантиметр. Черчение профиля на этой бумаге не требует проведения перпендикуляров и производится очень быстро при помощи острья тонко очиненного карандаша, или одной только наколки, без посредства циркуля и масштаба. Эта бумага удобна вместе с тем и для надписывания на профиле цифр.

На чертеже 49 показано расположение надписей, делаемых на продольном профиле.

Внизу профиля оставляется место, шириною в 2 сантиметра для плана местности, узкой полосы земли, по которой идет пронивелированная ось будущей дороги. План наносится согласно записи, сделанной в пикетажной книжке (см. чертеж пикетажной книжки), в масштабе 100 саж. в сотке; тот же масштаб удерживается и для горизонтальных расстояний профиля (абсцисс), план иллюминируется красками, согласно условных знаков.

Масштаб для вертикальных расстояний принят в 10 раз больше, чем для горизонтальных, т.-е. 10 саж. в сотке (или 100 и 10 метров).

Отметки черные и красные (проектной линии), а также высоты насыпей и глубины выемок подписываются до сотых долей сажени: насыпей— выше линии земной поверхности и выемки— ниже земной поверхности.

Для построения поперечных профилей на той же профильной бумаге, на которой нанесен разрез земной поверхности по продольной оси, берут масштаб 2 саж. в сотке (2 метра в сантиметре) как для горизонтальных, так и для вертикальных расстояний (черт. 49 bis). На горизонтальной прямой намечают точку № 9, (*л*) и (*п*) (левую и правую); по расстояниям № 9—*л* = 5 саж.; № 9—*п* = 8 саж. В этих точках строят кверху перпендикуляры, на которых откладывают: на среднем—отметку точки № 9 продольного нивелирования = 65,70 (*с*), на левом—65,31 (*л*), на правом—67,02 (*п*) отметки точек поперечного нивелирования, укороченные, как и отметка точки № 9, на одно и то же число сажени (метров). Точки *л*, *с* и *п* соединяются прямыми. Если какой-либо поперечный профиль поблизости со смежным должен покрывать часть его, то такой профиль выносят кверху, или книзу.

На поперечном профиле, соответственно продольному профилю, проектируется полотно дороги; напр., в № 9 точки продольного профиля показана выемка, поэтому на поперечном профиле от точки *с* вниз нанесена глубина выемки, равная 1,65, и на той же вертикали, изображающей ось полотна дороги, подписана ниже красная отметка = 64,05 (черт. 49 bis).

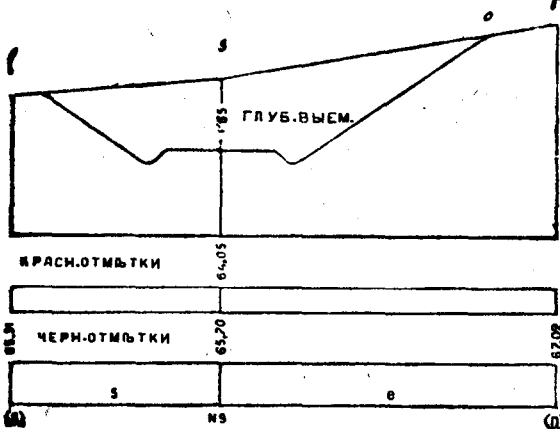
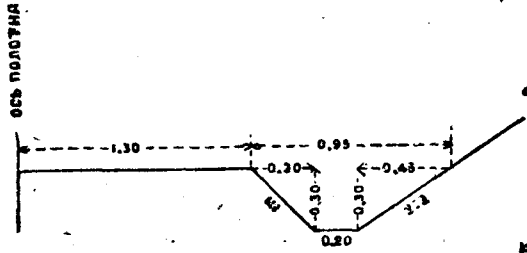
Выше над поперечным профилем показаны размеры полотна = 2,6 саж. (на чертеже показана правая половина выемки с шириною полотна = 1,3 саж.)

и водоотводной канавы (кювета): глубина=0,3 саж., ширина ее дна=0,2 саж., внутренний ординарный (1:1) откос и наружный полуторный откос (3:2).

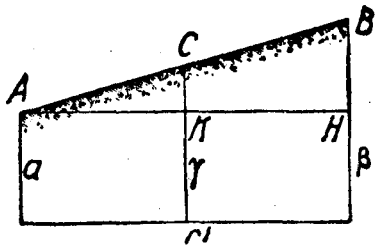
§ 29. Падение и уклон линии. Иногда требуется знать отметки тех точек земной поверхности, на которые рейка не ставилась. При этом данная точка

может лежать или на одной из осей нивелировки, или между ними, но внутри полосы, заключающейся между осями.

Точка *C* (черт. 50) лежит на оси *AB* в известном расстоянии от конца *A*, для нее надо вычислить отметку *C'C*; она будет равна отметке точки *A* плюс превышение точки *C* над точкой *A*, т.е.  $\gamma = a + CK$ . Пусть *АН* есть горизонтальная линия; тогда, обозначая расстояние *АН* между *A* и *B*, через *D* и полагая,



Черт. 49 bis.



Черт. 50.

что данное расстояние *AK* между *A* и *C* равно *d*, составим пропорцию *ВН*:  $CK = AN : AK$ . Здесь *ВН* разность отметок точек *A* и *B*. Обозначая их соответственно через *a* и *β*, будем называть  $(\beta - a)$  разность отметок конечных точек *B* и *A* прямой *AB* падением линии *AB*, а дробь  $p = \frac{\beta - a}{D}$ , представляющую изменение падения на единицу расстояния — уклоном линии *AB*. Тогда превышение:

$$CK = \frac{\beta - a}{L} d,$$

а искомая отметка:

$$\gamma = a + p \cdot d.$$

Формула эта, выведенная для местности повышающейся, обращается при местности понижающейся, при тех же обозначениях, в следующую:

$$\gamma = a - pd,$$

так как падение и уклон линии будут противоположны предыдущим. За общую из двух последних формул принимают первую:

$$\gamma = a + pd,$$

при чем в ней уклон принимается с соответствующим знаком, т.е. положительным для линии повышающейся и отрицательным для линии понижающейся. Эта формула выговаривается так: отметка точки, лежащей на оси нивелирования, равна отметке данной точки, сложенной с произведением уклона линии на горизонтальное расстояние между обеими точками.

Если, напр.,  $p = -0,008$  и  $d = 225$  м (см. черт. 50), то  $pd = -1,80$  м и если  $a = 65,25$  (красн. отм. пик. № 186), то  $\gamma = 65,25 - 1,8 = 63,45$  (красн. отм. точки № 190 + 25).

Если бы точка лежала между двумя поперечными осями, то надо знать расстояние этой точки до осей, а также расстояние хотя бы по одной из осей до подошвы перпендикуляра, опущенного из данной точки на поперечную ось.

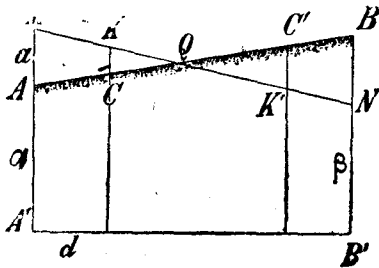
Уклон линии имеет и геометрическое значение, ибо представляет собою тангенс угла наклонения линии. В самом деле, если угол наклонения  $ВАН$  (черт. 50) обозначим через  $x$ , то

$$ВН = АН \cdot \operatorname{tg} x;$$

отсюда:

$$\operatorname{tg} x = \frac{\beta - \alpha}{D} = p.$$

**§ 30. Проведение проектной линии.** При осуществлении на земной поверхности искусственных сооружений, как, напр., при проведении дороги, прорытии канавы, разбивке площадки для железнодорожной станции, требуется предварительно выровнить или, как говорят, спланировать местность, т. е. представить ее в таком виде, чтобы вся она или отдельные ее части были или горизонтальными плоскостями, или плоскостями с некоторым заранее намеченным (избранным) уклоном. Такое превращение поверхности сопровождается назначением на местности и на профиле, так называемой, проектной линии. Пусть  $AB$  (черт. 51) есть линия земной поверхности с известною длиною ее горизонтального проложения  $A'B'$  и с данными отметками  $\alpha$  и  $\beta$  конечных ее точек  $A$  и  $B$ , требуется выровнить местность так, чтобы при сечении ее вертикальною плоскостью вместо прямой  $AB$  получилась бы прямая линия  $MN$ , с заранее данным уклоном  $p$ , называемая проектною. Чтобы назначить ее на местности, необходимо вычислить, насколько в некоторых точках линии  $AB$  надо или насыпать, или снять землю, т. е., другими словами, определить для точек земной поверхности высоты насыпей и глубины выемок;



Черт. 51.

проектной линии  $MN$  над  $A$  через  $a$ , заданный уклон проектной линии  $MN$  через  $p'$  и горизонтальное расстояние произвольной точки  $C$  от  $A$  через  $d$ , будем иметь по § 29:

$$\text{отметка точки } C \dots c = \alpha + pd$$

$$\text{„ „ „ } K \dots k = \alpha + a + p'd.$$

Следовательно, высота насыпи  $СК = y$  представляет разность отметок точек  $K$  и  $C$ . Она получится непосредственно вычитанием, если отметка точки  $C$  дана на профиле, а отметка точки  $K$  высчитана.

Отметка точки проектной линии называется красною отметкою, потому что она подписывается на профиле всегда кармином. Отметка точки профиля линии, привелированной на земной поверхности, называется черною отметкою. Вследствие этого можно сказать, что высота насыпи или глубина выемки равна разности красной и черной отметок точек, имеющих общую проекцию, и на практике всегда поступают так, что высчитывают все красные отметки, а затем простым вычитанием находят высоты насыпей и глубины выемок. „Высоты насыпей“ пишутся выше (над) проектной линией, а „глубины выемок“ — под (ниже) проектной линией (см. 49 черт. профиля).



Таи, где проектная линия встречает земную поверхность и где насыпь переходит в выемку, получаются так, называемые, переходные или „нулевые“ точки, напр., точка  $Q$  (черт. 51). Расстояние ее от ближайших пикетов, напр.,  $A$  и  $B$ , найдется из пропорции  $x:(D-x)=a:b$ , где  $x$ — высота треугольника  $AQM$ ,  $(D-x)$ — высота треугольника  $QBN$  и,  $a=AM$  высота насыпи и  $b=BN$  глубина выемки. Взяв производную пропорцию:

$$(x+D-x):x=(a+b):a$$

или

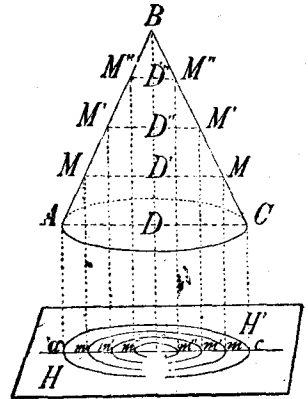
$$D:x=(a+b):a,$$

или

$$D:(D-x)=(a+b):b,$$

найдем  $x=\frac{D}{a+b} \cdot a$  и  $D-x=\frac{D}{a+b} \cdot b$ , т.-в., чтобы найти равстояния до ближайших пикетов „нулевой“ точки, надо расстояние  $D$  между пикетами разделить в отношении  $a$  к  $b$ , т.-е. высоты насыпи к глубине выемки. Эти расстояния подписываются на профиле, в графе „расстояний“.

§ 31. О горизонталях. Горизонтали, будучи условным знаком для плана, являются одним из вспомогательных средств для изображения на плане неровностей местности. Изобразить на плане неровности местности значит показать на нем: 1) точки с одинаковыми высотами; 2) относительные высоты одних точек над другими; 3) крутизны покатостей; 4) направление скатов и 5) выразить общий характер рельефа. Изображение неровностей местности производится посредством условных знаков двумя способами: способом горизонталей и способом штрихов (к последнему способу относят и отмывку). Рассмотрим сперва первый способ. Пусть имеем на местности, какую-нибудь возвышенность; мысленно рассечем эту возвышенность равноотстоящими друг от друга горизонтальными плоскостями, параллельными уровню воды водохранилища. Кривые линии, полученные при пересечении боковой поверхности возвышенности с горизонтальными плоскостями, спроектируем на горизонтальную поверхность водохранилища (плана), и будем называть эти проекции полученных кривых горизонталями или изогипсами. Они будут линиями, соединяющими на плане точки с равными высотами. Для того, чтобы показать, как при помощи горизонталей изображаются на плане неровности любой части данного участка местности, рассмотрим сперва изображение на плане посредством горизонталей правильных геометрических тел, напр., прямого конуса с круговым основанием, наклонного конуса с круговым основанием, полушария, наклонной плоскости, цилиндрической поверхности и т. п.

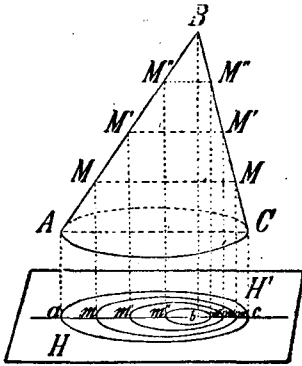


Черт. 52.

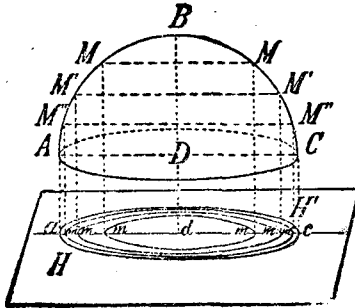
1. Если прямой конус  $ABC$  с круговым основанием (черт. 52) рассечь горизонтальными равноотстоящими плоскостями  $MM$ ,  $M'M'$ ,  $M''M''$ , то сечения этих плоскостей с поверхностью конуса будут окружности. Если изобразим эти окружности в проекции на плоскости  $HH'$ , параллельной основанию, то получим окружности  $ac$ ,  $m'm'$ ,  $m''m''$ . Так как центры всех окружностей  $MM$ ,  $M'M'$ ,  $M''M''$ , и  $AC$  лежат на оси  $DB$  конуса, то на плане центры проекций этих окружностей должны лежать в одной точке  $b$ ; (проекции точек  $B$  и  $D$ ), при этом, так как  $DD' = D'D'' = D''D''' = D'''B$  и углы при точках  $A$ ,  $M$ ,  $M'$ ,  $M''$  и  $C$  также равны между собою, то и  $AM = MM' = M'M'' = M''B$ , а следовательно,  $M''D'' = bm'' = m'm' = m'm'' = ma$ .

Отсюда мы видим, что прямой конус с круговым основанием должен изображаться на плане посредством горизонталей в виде концентрических равноотстоящих окружностей.

2. Если наклонный конус с круговым основанием (черт. 53) расечь горизонтальными равноотстоящими плоскостями  $MM, M'M', M''M''$ , то в сечении этих плоскостей с поверхностью конуса получатся окружности, изображения которых на плоскости, параллельной основанию конуса, также будут окружности; но так как центры окружностей  $AC, MM, M'M', M''M''$  не лежат на оси конуса, то на плане окружности будут эксцентрические, и расстояния между ними будут различные в различных местах, при этом наименьшее расстояние будет по направлению линии  $bc$ , так как  $BC$  составляет с горизонтом больший угол наклоения; чем



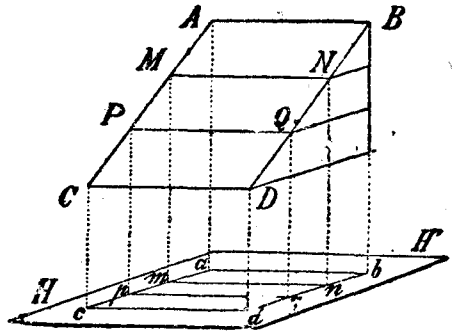
Черт. 53.



Черт. 54.

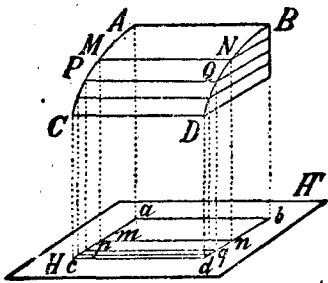
$AB$ , и следовательно, если угол  $C >$  угла  $A$ , то и  $AB > BC$ , а  $\cos C < \cos A$ , вследствие чего  $AB \cdot \cos A > BC \cdot \cos C$ , но проекция  $ab = AB \cdot \cos A$ , следовательно,  $ab > bc$ .

3. Если полушарие  $ABC$  (черт. 54) расечь горизонтальными равноотстоящими плоскостями  $MM, M'M', M''M''$ , то в сечении с поверхностью шара получатся окружности, и, так как центры всех окружностей лежат на радиусе  $BD$ , то полушарие изобразится на плане также в виде окружностей концентрических, но только неравноотстоящих, а сходящихся к краям плана, так как углы, образуемые равными элементами  $BM, MM', M'M''$  и  $M''C$  кривой в точках  $M, M', M''$  и  $C$  с горизонтом, постепенно возрастают от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , а следовательно,  $\cos$ -ы их постепенно убывают, а потому  $m, m_{i+1} = M, M_{i+1} \cos M$  также постепенно убывают.

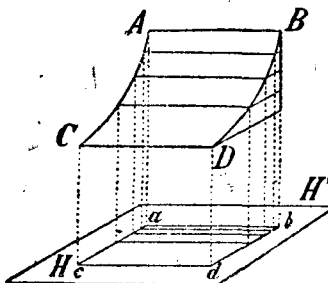


Черт. 55.

4. Наклонная плоскость и цилиндрическая поверхность изобразятся: первая — равноотстоящими параллельными прямыми, а вторая — постепенно сходящимися параллельными прямыми, что ясно видно из рассмотрения черт. 55, 56 и 57.



Черт. 56.



Черт. 57.

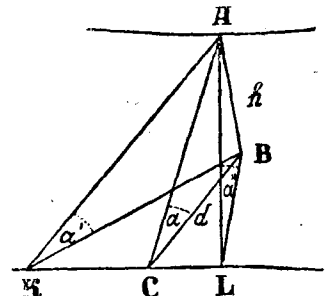
Неровности местности не имеют правильной формы, но об отдельных частях возвышенностей и углублений можно судить, сравнивая горизонтали их с горизонталями правильных геометрических тел.

§ 32. Свойство горизонталей. Из чертежей 52—57 видно, что с изменением угла наклона  $\alpha$  линий местности меняется и расстояние  $d$  между горизонталями.

Это же заключение нетрудно подтвердить и формулою, если расстояние между секущими горизонтальными плоскостями обозначим на одном из предыдущих чертежей через  $h$ , расстояние между горизонталями на плане через  $d$ , и, наконец, угол наклонения через  $\alpha$ , то (см. черт. 52, 55, а также и 57 bis):

$$d = h \cdot \cotg \alpha \quad \text{или} \quad d = \frac{h}{\operatorname{tg} \alpha}; \dots \dots \dots (d)$$

отсюда видим: 1) если  $h$  и  $\alpha$  постоянны, то и  $d$  постоянно, или, другими словами, если угол наклонения покатости один и тот же, то расстояния между горизонталями равны между собой (см. черт. 52 и 55), 2) чем больше  $\alpha$ , тем меньше  $d$ , и наоборот (черт. 53 и 54), или, иначе, с увеличением угла наклонения покатости расстояния между горизонталями (или, так называемые, валожения) уменьшаются (сличи § 7, черт. 9, ч. I). Но так как величиною  $\alpha$  определяется степень крутизны покатости, то крутизне покатости судят по расстояниям между горизонталями (или по заложениям).



Черт. 57 bis.

Нетрудно видеть, что по числу горизонталей между двумя точками на плане можно судить об относительной высоте этих двух точек.

Так, если на предыдущем черт. 52 расстояния  $h$  между горизонтальными плоскостями равны  $1/2$  м, то точка  $m'$  лежит выше  $a$  на 1 м, а точка  $m''$  выше  $a$  на  $1 1/2$  м и т. д.

Горизонтали дают также понятие о направлении скатов. Направление ската есть линия наибольшего уклона, по которой стекает вода; но так как линия наибольшего уклона есть кратчайшее расстояние между горизонталями [см. формулу (d) и черт. 57 bis], то направление ската есть линия перпендикулярная к горизонталям. Линия ската может быть и прямою, и кривою, что зависит от формы горизонталей. Из всего сказанного видно, что горизонтали или, иначе, изогипсы дают понятия о форме неровности земной поверхности (по общему виду горизонталей), о крутизне скатов <sup>1)</sup>, об их направлении <sup>2)</sup> и о превышении одной точки земной поверхности над другой <sup>3)</sup>.

§ 33. Виды и названия отдельных частей неровностей местности. Изучение рельефа местности состоит в ближайшем ознакомлении с ее орографическими <sup>4)</sup> видами. Главнейшие из этих видов изображены горизонталями на черт. 58. Возвышенность, или гора, близко подходящая к конической форме, представится на плане горизонталями, частью сомкнутыми наподобие эллипсов. В горе различают ее части: вершину, скаты и подошву.

Вершина (B) есть высшее место горы, при чем, если она имеет вид почти горизонтальной плоскости, то называется горной площадкой или плато; если же она остроконечна (Г), то — шпиком, сойкою или пиком.

Боковая поверхность горы образует ее скаты. Скатом называется покатость, имеющая один и тот же угол наклона. Место пересечения скатов с окружающею гору земною поверхностью называется подошвою горы или ее подножием. Если на скатах встречаются линии, представляющие резкий переход поверхности от одной крутизны к другой, то они называются перегибом

<sup>1)</sup> По расстояниям между горизонталями.

<sup>2)</sup> По направлению кривой или прямой пересекающей горизонтали под прямыми углами.

<sup>3)</sup> По числу промежутков между горизонталями.

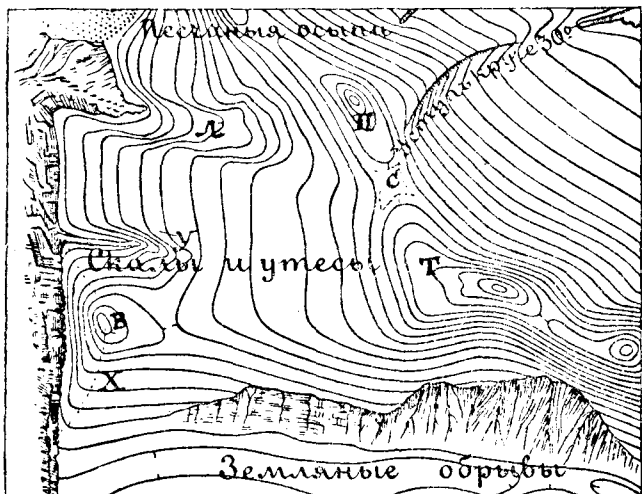
<sup>4)</sup> „Орография“ в переводе с греческого значит „горописание“, т. е. изображение возвышенностей или вообще — неровностей.

ската или уступем. Обрыв или круча образуются при переходе местности из отлогой в крутой скат: при этом, если обрыв имеет значительную высоту, то он называется утесом или стеною; наоборот, если крутой скат в каком-либо месте прерывается площадкой, даже, может быть, незначительно наклонною к горизонту, то имеем террасу (Т) или уступ.

Хребет (Х) есть выпуклая поверхность, образуемая двумя противоположными скатами. Линия встречи этих скатов называется осью хребта или водоразделом, так как текущая от нее вода направляется в разные стороны. Хребет представляется на плане всегда выпуклыми кривыми линиями, вогнутость которых обращена к вершине горы (черт. 58). Эти кривые расходятся сильнее по мере

своего приближения к водораздельной линии, потому что она имеет наименьший из всех углов наклонения скатов. Хребет, отделяющийся от общей массы, называется отрогом горы. Хребты, которых скаты пересекаются под острыми углами, называются гребнями гор.

Лощина (Л) также образуется двумя противоположными скатами, но она есть поверхность вогнутая, являясь углублением в скате горы. Линия встречи скатов или щек лощины называется осью лощины, а также тальвегом<sup>1)</sup> или водосливной линией, потому что по ней направляется вода, стекающая со скатов. Лощина представляется вогнутыми кривыми линиями



В... вершина, Х... хребет, Л... лощина  
 П... тальвег, С... седловина, У... ущелье,  
 Т... терраса.

Черт. 58.

(см. черт. 58). В лощине надо различать следующие части: дно, правый и левый бока (щeki), начало и устье. Если лощина довольно широка и с отлогим дном, то она называется долиною. Узкая и длинная лощина с крутыми боками в плоской местности называется оврагом или балкою, а в горных странах тесниной или ущельем (У). К лощинам должно отнести также неправильные продолговатые углубления, в виде широких трещин, происходящие от размыва грунта водою, называемые промоинами и проточинами.

Окраиною называется граница углубления или, иначе, та кривая линия, по которой углубление граничит с окружающей поверхностью.

Седлом или седловиною (С) (см. черт. 58) называется место одновременной встречи двух (или нескольких) противоположных скатов возвышенностей, служащее в то же время вершиною (началом) двух или нескольких противоположных лощин. Так как седловина лежит ниже непосредственно над ней помещающейся секущей плоскости и выше такой же плоскости, непосредственно под нею лежащей, то на плане она изображается пунктирной сомкнутой горизонталью, параллельной горизонталям выше и ниже ее лежащим (в виде седла).

<sup>1)</sup> От двух немецких слов: Thal—долина и Weg—путь.

Котловина есть углубление значительных размеров, замкнутое со всех сторон и напоминающее собою опрокинутую вниз вершиною под поверхность земли гору. Небольшая впадина с крутыми берегами есть яма, а углубление, представляющее опрокинутый пик, — воронка. Котловина, яма и воронка изображаются на плане горизонталями в виде сомкнутых кривых линий.

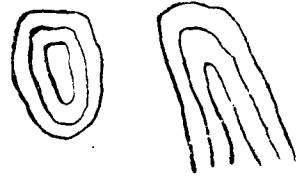
§ 34. Недостатки горизонталей. Из предыдущего видно, что некоторые углубления и возвышения, а также выпуклые и вогнутые поверхности представляются горизонталями одинаковой формы, вследствие чего является возможность смешивать на плане оба эти орографические вида. Так, котловину с осью впадающей в нее лошпы можно принять за вершину горы с идущим от нее хребтом. Для устранения этого неудобства или слабо отмывают дно углублений жидкою тушью, или предполагают, что местность подвергается боковому освещению, направленному с северо-запада и в зависимости от этого горизонтали, соответствующие углублениям (котловине и лошпе), утолщаются слева и сверху (черт. 59), а у возвышенности — справа и снизу<sup>1)</sup>.

Еще лучше для устранения недоразумений относительно возвышений и углублений подписывать на плане при горизонталях их отметки или высоты и указывать коротким штрихом у горизонтали направление ската воды. Когда же на плане нет высот, то пониманию рельефа содействует расположение и указание направления текучих вод. Воды преимущественно указывают низшие точки местности. Надо иметь в виду, что горизонтали всего плана находятся между собою в такой неразрывной связи, что, если мы в одном месте определим направление покатости (т.е. какие горизонтали выше и какие ниже), то, проследив горизонтали, т.е. терпеливо двигаясь вдоль горизонтали, мы можем то же самое определение сделать и в произвольном месте плана (или карты).

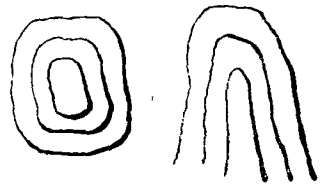
Изображение неровностей местности горизонталями составляет бесспорно самый точный из всех подобного рода способов и позволяет определять размер всякой отдельной неровности по трем ее измерениям, однако, он не доставляет необходимой наглядности плану или, как иногда выражаются, не сообщает рисунку пластичности (рельефности), а заставляет вдумываться для представления себе в уме каких-нибудь орографических особенностей местности. Недостаток этот устраняется отчасти тем, что горизонтали на отлогих покатостях делаются тонкими чертами, а на крутых — толстыми, и притом, чем круче покатость, тем горизонтали толще.

Другой недостаток горизонталей состоит в том, что этот способ не дает возможности выразить на плане как значительные крутизны, так и мелкие неровности, которые при данном отвесном расстоянии горизонтальных плоскостей не пересекаются ими и остаются пропущенными, так как расстояния между горизонталями зависят от масштаба плана, а потому заложение не может быть менее точности масштаба, т.е. 0,01 доли *см.* Поэтому в гористой местности секущие плоскости берутся, напр., через 5 м по отвесу, а в плоской — через метр, полметра. Наглядным примером может служить местность, представленная чертежом 60. Рассекая ее плоскостями  $H_0H_0$ ,  $AB$ ,  $CD$ ,  $EE$ , мы рискуем пропустить характерные изгибы местности, для изображения которых потребовалось бы сечение сделать чаще и расстояние

Оттенка углублений.



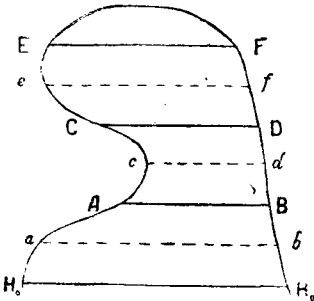
Оттенка возвышений.



Черт. 59.

<sup>1)</sup> Утолщение показывает как бы нападающую тень (от горы — во впадине).

между секущими плоскостями уменьшить вдвое. Дополнительные плоскости  $ab$ ,  $cd$ ,  $ef$  показаны на чертеже пунктиром. Чтобы достигнуть надлежащей наглядности плана необходимо гарантировать, что проекция изгиба  $Ac$  или  $Ce$  будет не менее точности масштаба плана.



Черт. 60.

В том случае, когда главнейшее условие, требуемое от плана, есть его наглядность, как, напр., для планов военных, потребляют другой условной знак — штриховку, которая позволяет лучше видеть или, как говорят, читать по плану рельеф местности <sup>1)</sup>.

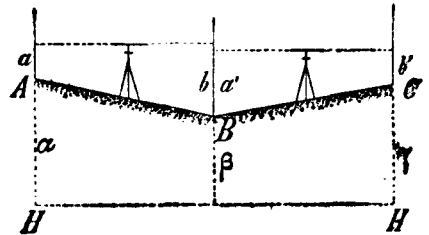
О штриховке мы будем говорить впоследствии.  
 § 35. Разбивка на местности точек и прямых проекта. При планировке местности приходится решать одну из следующих задач:

1. В данном пункте  $\beta$  земной поверхности забить кол, верхушка которого имела бы требуемую отметку  $\beta$ . На находящийся вблизи данной точки репер  $A$  (черт. 61), отметка  $a$  которого известна, ставят рейку, и на нее, по нивелиру, поставленному между репером  $A$  и заданным пунктом  $B$ , делают „взгляд  $a$  назад“. После этого в  $B$  забивают кол и на него переносят рейку и в то же время высчитывают для рейки, стоящей на коле  $B$ , по отметке репера  $a$  и взгляду назад  $a$  — „взгляд  $b$  вперед“ из равенства

$$a + a = \beta + b,$$

он будет:

$$b = a + a - \beta.$$



Черт. 61.

По рейке в точке  $B$  читают взгляд  $b_1$ ; если  $b_1$  будет отличаться от  $b$ , то высоту забитого в  $B$  кола изменяют: пусть, например, отсчет  $b_1$  нужно увеличить, т.е. нуль рейки опустить, тогда, сняв рейку, по голове кола  $B$  делается несколько осторожных ударов обухом топора (молотка). Установив вновь на верхушку кола  $B$  рейку, повторяют взгляд вперед. Если теперь он  $b_2$  и более требуемого  $b$ , то легкими ударами по земле вокруг кола стремятся приподнять кол. Если этого окажется недостаточно, то кол выдергивают из земли, дыру засыпают и вновь гонят кол в землю, пока, наконец, получится отсчет, отличающийся от  $b$  не более, как на 0,002—0,004 м.

При твердом грунте и значительной толщине кола может оказаться, что кол даст отказ, т.е. перестанет опускаться в землю, тогда верхушка кола срывается. Место зарубки на коле, где нужно спилить, определяется по ножу, клинок которого предварительно держится горизонтально с установленной на нем рейкой.

2. По данному направлению на земной поверхности разбить рядом кольев проектную линию заданного уклона  $p = 1 : m$ , при чем для одной из точек  $O$  проектной линии задается отметка  $q$ .

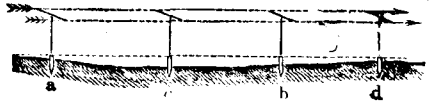
Очевидно, что для забивки кола  $O$  придется повторить предыдущую задачу. Остальные же колья, хотя и забиваются по той же задаче, но лишь после того, как для верхушки каждого из них высчитана отметка  $y$  по формуле (§ 29):

$$y = q + px, \dots \dots \dots (y)$$

<sup>1)</sup> Уменьше бегло читать по плану с горизонталями рельеф местности достигается рядом упражнений с течением времени.

где  $x$  есть расстояние забиваемого кола от первоначального  $O$ . При вычислении не следует забывать знака уклона:  $\frac{1}{m} = p$ .

Когда между двумя забитыми но нивелиру кольями  $a$  и  $b$  нужно вставить еще несколько промежуточных точек, или по ним проложить линию, то для быстроты решения задачи с успехом могут служить, так называемые, визирки. Они состоят из деревянных реек одной и той же высоты  $1$  м (до середины груди человека) с прибитыми к ним поперечными дощечками и имеют вид буквы Т (черт. 62). Если на верхушки кольев  $a$  и  $b$  поместить две равных визирки и, визируя через верхние ребра их поперечин, забивать кол в  $c$  (или  $d$ ) так, чтобы верхнее ребро поставленной на него визирки пришлось в плоскости визирования, то верхушки всех трех кольев будут на линии, параллельной линии визирования, имеющей требуемый уклон  $p = 1 : m$ .



Черт. 62.

3. Определить точки пересечения земной поверхности с проектной линией. Пользуясь решениями двух предыдущих задач, забивают в двух точках  $M$  и  $N$  проектной линии по колу, отметки которых близки к отметке точки пересечения, взятой с профиля, устанавливают на них визирки и при помощи их продолжают проектную линию до встречи с земной поверхностью. Найдя точку встречи, отметку ее можно проверить по нивелиру.

Точка встречи также может быть найдена и без визирок, по горизонтальному расстоянию  $x$  от одного из забитых кольев  $N$ , находящихся вблизи точки  $Q$  (черт. 51) встречи линии  $AB$  с проектной линией  $MN$ . Действительно, пусть  $a$  и  $\beta$  — черные отметки точек  $A$  и  $B$ , удаленных на расстояние  $D$  друг от друга, а  $m$  и  $n$  — их красные отметки (т.-е. отметки соответственных точек  $M$  и  $N$  проектной линии). Искомое расстояние  $x$  точки  $Q$  от  $B$  найдется из подобия треугольников  $AMQ$  и  $QBN$ , в которых  $x$  и  $(D - x)$  будут высотами, а именно:

$$\frac{D - x}{x} = \frac{m - a}{\beta - n},$$

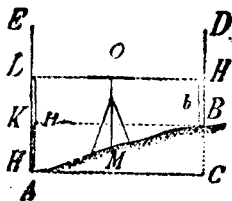
откуда искомое расстояние по производной пропорции <sup>1)</sup> будет:

$$x = D \frac{\beta - n}{m - a + \beta - n}.$$

Знак у  $x$  берется +, если расстояние взято по ходу вперед, от точки  $B$  и если оно взято назад по ходу от  $B$ .

Пример:

$D = 35$ ,  $a = 60,011$ ,  $\beta = 60,567$ ,  $m = 59,853$ ,  $n = 60,648$   
Находим:



Черт. 63.

$$\begin{aligned} m - a &= -0,158 \\ \beta - n &= -0,081 \\ \hline m - a + \beta - n &= -0,239 \end{aligned}$$

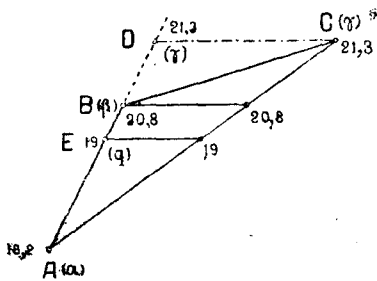
$$-x = -35 \frac{-0,081}{-0,239} = -11,9.$$

4. Из данной точки  $A$  (черт. 63) на местности провести по земной поверхности линию данного уклона  $p$ . Взяв взгляд  $AL = n$  назад на данный пункт  $A$  и вычислив по данному уклону  $p$  (принимая во внимание его знак) превышение  $pd = BC$  на длину  $d$  ленты (или цепи), закрепляют

<sup>1)</sup> Сумма членов первого отношения относится к своему последующему члену так как сумма членов второго отношения относится к своему последующему члену.

ленту одним концом в *A* и вытягивают ее, идя по склону. После того перемещаются по местности с рейкой, находящейся на свободном конце ленты, до тех пор, пока получат по нивелиру в точке *B* взгляд *b* вперед, равный *BH* разности ( $n - pd$ ) между взглядом назад и вычисленным превышением. Получив первую точку *B*, ленту вытягивают далее в гору и повторяют прием, через что получится вторая точка; всякая последующая точка линии данного уклона назначается таким же способом от предшествующей.

5. Наклонная плоскость задана верхушками трех забитых в землю кольев, найти в данной плоскости горизонтальную линию и линию наибольшего уклона. Нивелировкой определяются отметки  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  трех данных точек *A*, *B* и *C* (черт. 64), после чего измеряют горизонтальное положение  $a$  линии *AB* и вычисляют ее уклон  $\frac{\beta - \alpha}{d}$ . На прямой *AB* или ее продолжении ищут точку *D*, отметка которой  $y$  равнялась бы отметке  $\gamma$  точки *C*. Пусть  $\alpha = 18,2$ ;  $\beta = 20,8$  и  $\gamma = 21,3$ ;  $d = 325$  м. Тогда  $\frac{\beta - \alpha}{d} = \frac{2,6}{325} = 0,008$ . Вычисляем  $y = \beta + px$ :  $21,3 = 20,8 + 0,008 \cdot x$ ;  $x = 62,5$ .



Черт. 64.

По направлению *AB* от *B* откладываем  $x = 62,5$ , получаем точку *D*. Прямая *CD* будет горизонталью, а перпендикуляр к ней — линией наибольшего уклона. Разумеется, что когда направление горизонтальной линии *CD* в данной плоскости *ABC* найдено, то легко разбить в той же плоскости любую горизонтальную прямую, отметка  $q$  которой дана: для этого достаточно на прямой *AB* найти точку *E* с отметкой  $q$  и через нее проложить параллель к *CD*. Точка *E* (с отметкой  $q$ ) получится по расстоянию  $z$ , от точки *D* (с отметкой  $y$ ), определяемому из равенства  $y = q + pz$ , где  $p$  — уклон линии *AB*. Пусть, напр., ищем

горизонталь с отметкою  $q = 19,0$ . Так как  $y = 21,3$ , а  $p = 0,008$ , то  $z = \frac{21,3 - 19}{0,008} = \frac{2,3}{0,008} = 287,5$ . Тогда *E* будет в 287,5 м от *D*, или, так как  $AD = AB + BD = 325 + 62,5 = 387,5$ , то *E* от *A*, т. е.  $EA = 387,5 - 287,5 = 100$ . Проверкою

$$18,2 + 100 \cdot 0,008 = 18,2 + 0,8 = 19, \text{ т. е. } \alpha + AE \cdot p = q.$$

§ 36. Нивелирование поверхности. Чтобы получить возможно правильное понятие о виде поверхности данного участка на местности, следует заснять его рельеф, оставаясь, по возможности, близким к натуре. С этой целью поступают двояко, смотря по тому, каков общий склон поверхности участка. Если наклон незначителен и более или менее равномерный, как это бывает в лугах и болотах, то всю данную поверхность заключают в многогранник, стороны которого прилежали бы возможно ближе к частям поверхности данного участка. Сторонами многогранника могут быть, сообразно с местными условиями, и треугольники, и четырехугольники. Определив засим отметки или превышения вершин многогранника и засняв горизонтальные их проекции, получают достаточные данные, чтобы судить о рельефе пронивелированного участка.

Если поверхность данного участка настолько волнообразна, что представляет резкое изменение в общем характере рельефа, образуя попеременно горные хребты, лощины, отдельно лежащие вершины, котловины (углубления) и т. п., то предпочитают нивелирование участка произвести по направлению овей этих хребтов и лощин, пролагая по ним и связывая между собою нивелирные хода. Если участок незначителен, то довольствуются иногда вместо полигонов отдельно лежащими пунктами, заснятыми полярным способом. Рассмотрим каждый случай в отдельности.



## Абрис—журнал нивелирования поверхности луга.

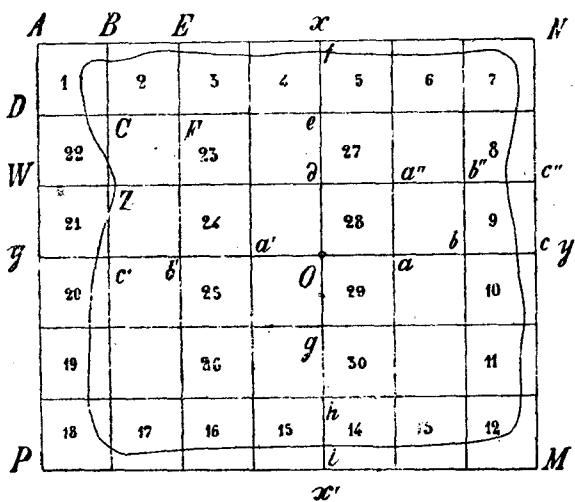
Задача. По данному журналу выразить рельеф поверхности горизонталями, проводя сечение через 0,1 метра.

A. ( $h_A = \dots\dots$ )	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
	0.538 0.576 1.	0.622 0.644 2.	0.607 0.545 8.	0.544 0.586 4.	0.631 0.758 5.	0.627 0.675 6.	0.589 0.736 7.	0.615 0.678 8. <i>F</i> 0.694 0.730
(20)	0.740 0.678	0.729 0.833	0.792 0.772	0.772 0.666	0.715 0.853	0.720 0.807	0.722 0.817	
	0.646 0.582 20.	<i>E</i> <i>I</i>	0.622 0.603 21.	<i>L</i> <i>N</i>	0.507 0.643 23.	<i>Q</i> <i>S</i>	0.576 0.673 25.	0.612 0.651 9.
(19)	0.734 0.645	<i>V</i> <i>W</i>	0.782 0.789	<i>X</i> <i>Y</i>	0.746 0.800	<i>Z</i> <i>U</i>	0.692 0.792	<i>O</i> 0.734 0.735
	0.675 0.588 19.		0.680 0.691 22.		0.607 0.662 24.		0.560 0.660 26.	0.675 0.673 10.
(18)	0.688 0.908	<i>H</i> <i>K</i>	0.685 0.666	<i>M</i> <i>P</i>	0.668 0.770	<i>R</i> <i>T</i>	0.702 0.746	<i>G</i> 0.760 0.762
	0.640 0.856 18.	0.688 0.569 17.	0.698 0.682 16.	0.625 0.654 15.	0.598 0.701 14.	0.523 0.604 13.	0.660 0.703 12.	0.641 0.639 11.
	0.680 0.828	0.659 0.696	0.820 0.778	0.720 0.776	0.717 0.796	0.620 0.724	0.782 0.731	0.672 0.685
D.	(17)	(16)	(15)	(14)	(13)	(12)	(11)	C.

По данной начальной отметке точки A. вычислить отметки: 1) всех точек внешнего кольца A.B.C.D.A. (23-х точек) и этот замкнутый ход увязать; 2) вычислить по отметке точки A. отметку точки E; 3) по отметке точки E. вычислить отметки внутреннего кольца E. I. L. N. Q. S. F. O. G. T. R. P. M. K. H. V. E. и увязать этот ход; 4) вычислить и увязать ходы: \*I. W. K.; L. X. M.; N. Y. P.; Q. Z. R.; S. U. T.

Возьмем ту часть участка, которую мы желаем пронивелировать по квадратам <sup>1)</sup>.

Пусть всю эту часть мы желаем заключить в прямоугольник  $ANMP$  (черт. 65). Для этого через точку  $O$ , лежащую приблизительно по середине участка, провешиваем две взаимно перпендикулярные линии  $xx'$  и  $yy'$ ; по линии  $yy'$ , от точки  $O$ , в противоположные стороны, отложим равные между собою части, длиною от 50 до 100 м. В точках отложения  $a, b, c, a', b', c', y$  восставим перпендикуляры и на них отложим  $aa'' = bb'' \dots = FE = CB = WD \dots = hg = hi = DA = Oa$ . Во всех точках отложения, т.е. в вершинах квадратов, забьем колья и составим на бумаге чертёж сетки квадратов. На чертеже квадраты перенумеруем, начиная с левого верхнего квадрата, при чем сперва пронумеруем квадраты, лежащие по границе участка. Пусть в кольце, ограничивающем участок, оказалось 22 квадрата, тогда приступают к нумерации квадратов колонн или рядов. На



Черт. 65.

чертеже 65 перенумерованы колонны через одну, чрез что получается 30 всех пронумерованных квадратиков. Придя на местность с таким чертежом, становятся с нивелиром в середине первого квадрата и делают взгляды на рейки, установленные в вершинах  $A, D, B$  и  $C$ . Запись сделанных взглядов заносит на составленный чертёж в соответствующих углах квадрата; после чего идут во 2-й квадрат с нивелиром, а рейки из  $A$  и  $D$  переносят в  $E$  и  $F$ . Пронивелировав 2-й квадрат, переходят в 3-й и т. д. Кончив нивелировку 22-й квадрат, переходят в 23-й, нивелировку

начинают от точки  $F$  и так идут до 26-го квадрата. Окончив 26-й, переходят в 27-й квадрат и здесь нивелировку начинают с точки  $e$ , потом идут в 28-й квадрат и т. д. включительно до последнего 30-го квадрата.

Во время нивелировки квадратов сделанные отсчеты по рейкам контролируются следующим приемом: пусть взгляды на точки  $B$  и  $C$  из первого квадрата были  $B_1$  и  $C_1$ , а из второго — соответственно  $B_2$  и  $C_2$ , тогда превышение точки  $C$  над  $B$  будет:

$$B_1 - C_1 = B_2 - C_2,$$

откуда найдем:

$$B_1 + C_2 = B_2 + C_1,$$

т.е. на стороне каждого квадрата суммы накрест лежащих взглядов должны быть равны между собою.

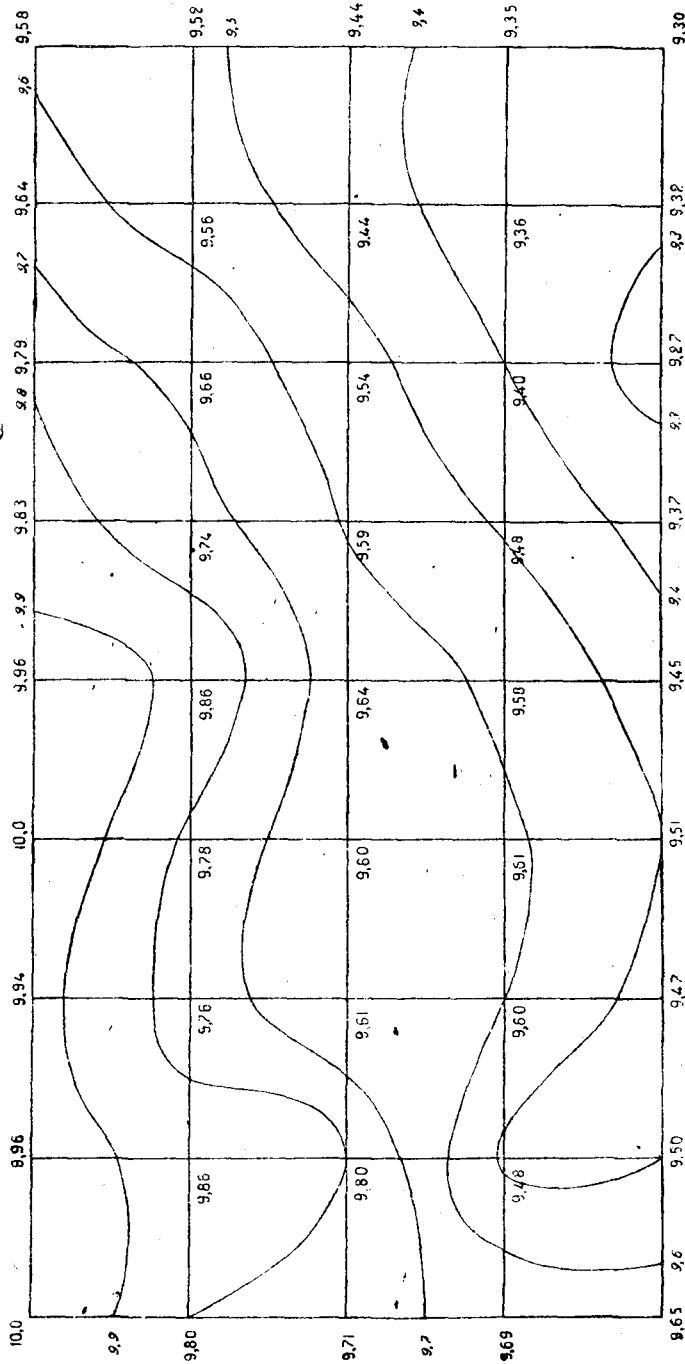
По окончании полевой работы, дома заготавливают в крупном масштабе копию с сетки квадратов, дают точке  $A$  отметку (произвольную), напр., 20.000, или связывают ее с репером и по отметке точки  $A$  вычисляют отметки точек  $A, B, E, \dots, x, \dots, N, \dots, c'', c, \dots, M, \dots, x', \dots, P, \dots, W, D, A$ . Узвязав внешнее кольцо, находят отметку точки  $C$ .

От точки  $C$  идут вычислением по внутреннему сомкнутому ходу  $CF \dots e \dots b'' \dots h \dots c'ZC$  и его узвязывают. После узвязки внутреннего кольца, когда высчи-

<sup>1)</sup> Для зыбких местностей способ квадратов практикуется в холодное время года, когда болото замерзает.

таны отметки его точек, начинают вычислять отметки точек вдоль вертикальных прямых, проходящих через вершины: 1)  $F'$  и  $b'$ , 2) через  $a'$ , 3) через  $e, d, F, g, h$ , 4) через  $a''$  и  $a$  и, наконец, последний 5) через  $b''$  и  $b$ . Очевидно, что все

План луга в горизонталях.



Рекомендуется по отметкам вершин квадратов проследить интерполированные точки проведенных горизонталей.

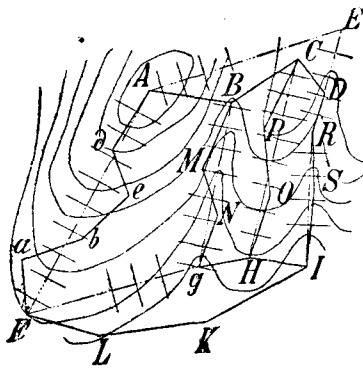
Черт. 66.

хода по вертикальным прямым должны быть увязаны между двумя реперами, отметки которых получились вычислением по внутреннему кольцу, так, например, ход  $edOgh$  начинается с отметки точки  $e$  и вычислением закан-

чивается отметкою точки *h*. Оказавшуюся разницу для отметки точки *h* разлагают на отметки точек *d*, *O* и *g*. Как пример, предлагаем следующий абрис-журнал нивелирования поверхностей луга (см. стр. 59).

Надписав отметки при вершинах квадратов на копии сетки, построенной в крупном масштабе, приступают к отысканию и проведению кривых линий, имеющих во всех своих точках одинаковые отметки (так называемых, горизонталей), так, напр., сперва ищут кривую, отметки точек которой были бы 10.000, ватем путем интерполирования между двумя точками с отметками 10 и 9,8 а также 9,86 и 9,96 и т. д. попарно взятыми на сторонах квадратов, проводят кривую отметок 9,9 м, после того 9,8 м и т. д. (черт. 66). Более подробно о проведении кривых одной и той же высоты мы остановимся в статье „о проведении горизонталей по плану (§ 57).

Во втором случае, когда на данном участке приходится встречать крутые склоны, работа располагается следующим образом: 1) По наиболее



Черт. 67.

высокой части участка *ABCDE* (черт. 67) пролагают сомкнутый нивелирный ход, измеряя длины *AB*, *BC*, *CD*, *DE* и *EA* и углы поворотов *A*, *B*, *C*, *D* и *E*; ход прокладывается так, чтобы он связал нивелировкой вершины *A* и *C* хребтов *AF* и *CH* и высшие точки *B* и *E* ущелий *BK* и *EL*. 2) Внизу, под горою, у ее подножия, связывают наиболее низкие точки участка, а именно: *F*, *F*, *g*, *H*, *I*, *K* и *L* — также сомкнутым полигоном. После этого, чтобы избежать большого числа станций, а следовательно, накопления ошибок, стремятся связать по наиболее отлогому ущелью *g.NMB* точки *g* и *B* с помощью разомкнутого полигона, пройденного нивелировкой вперед и назад. Такие же разомкнутые

полигоны прокладывают и по склонам *AE* и *CH*, а также по ложине *EL*. Одновременно с продольною нивелировкой ведут и поперечную.

Вычисление отметок начинают с наиболее низкой точки, напр., с точки *K*. Пусть отметка *K* дана, тогда по ней вычисляют отметки точек *L*, *F*, *g*, *H*, *I* по второму сомкнутому ходу. После этого, имея отметку точки *g*, находят отметки точек *N*, *M* и *B*. По отметке точки *B* вычисляют отметки вершин верхнего полигона. Несомкнутые хода *AB*, *CH* и *DI* увязывают по реперам *A* и *F*, *C* и *H*, *D* и *I*. Если бы местность не имела резких (крутых) склонов, то можно было бы ограничиться проложением сомкнутого хода *FABgHCDIKFF* в связи с поперечными к нему ходами.

Если понадобится на данном участке земной поверхности осуществить проект какого-нибудь земляного сооружения, то нужно прежде всего снять границы этого участка, привелировать его поверхность и составить на него план в горизонталях. После этого, переведя на кальку границы участка, выразить на копии также горизонталями проектируемое сооружение <sup>1)</sup>. Если это, напр., будет наклонная плоскость (стрельбище, то оно выразится равноотстоящими параллельными прямыми <sup>2)</sup>. Сделав надписи высот горизонталей на плане и на копии, отыскивают на копии (на кальке) точки пересечений одноименных горизонталей плана и копии. Заметив их и соединив непрерывной кривою, получают границу между насыпью и выемкой <sup>3)</sup>.

§ 37. Нивелирование реки. Нивелирование реки бывает двух родов: 1) с целью получения живого сечения в данном месте, т. е. поперечного профиля ее

<sup>1)</sup> Или прямо на плане начертят горизонтали сооружения другой краской, напр. красной.

<sup>2)</sup> См. черт. 55—57, стр. 52, изображенных горизонталями правильных геометрических тел.

<sup>3)</sup> Проводя ее синим цветом.

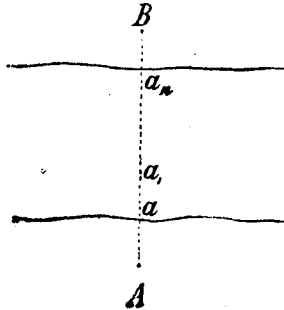
дна и берегов (для определения формы русла) и 2) для нахождения уклона уровня ее воды.

Прием определения формы русла реки зависит от ее ширины. Если речка не широка и по глубине незначительна, то с одного ее берега на другой перебрасывают канат. При этом, так как уровень воды в реке горизонтален только по направлению, перпендикулярному к ее течению, то направление каната должно быть перпендикулярно к берегам. На канат через равные промежутки в 5 метров привязываются кожаные ярлыки с померами. Направляясь на лодке вдоль каната, у каждого ярлыка опускают рейку, устроенную из газовой трубы с тяжестью на конце (наметка), и по рейке читают глубину реки до горизонта ее воды. Записав глубину при соответствующих номерах в журнале, дома вычерчивают форму живого сечения. Для этого берут прямую и на ней откладывают горизонтальные расстояния между кожаными ярлыками в каком-либо масштабе. Из точек отложения, вниз от прочерченной линии, восстанавливают перпендикуляры. На перпендикулярах откладывают соответствующие глубины и соединяют концы этих перпендикуляров непрерывною чертою, чрез что и получают желаемый профиль—живое сечение.

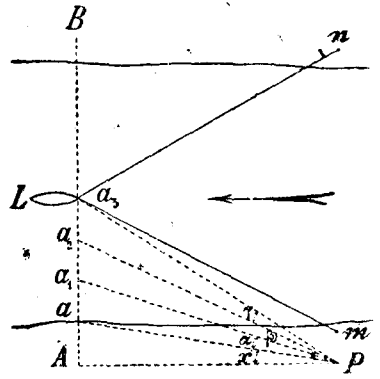
Для широких рек наиболее удобным временем года для определения формы русла считается зима. Через реку по льду провешивают линию  $Aa_1... a_n B$  (черт. 68), перпендикулярную к берегам; по направлению этой линии просверливают лед на равных расстояниях и измеряют глубину реки<sup>1)</sup>. После чего оба берега нивелируются до того места,

куда доходит вода в большие разливы; составленный по полученным данным профиль представит живое сечение.

Для достижения той же цели поступают иначе, а именно, при ширине реки меньшей 500 м, при быстром течении натягивают воротом через поверхность воды по направлению



Черт. 68.



Черт. 69.

линии  $Aa_1... a_n B$  (черт. 69) канат с узлами на определенных расстояниях и, подъезжая на лодке к каждому узлу, измеряют глубину реки. Чтобы канат по тяжести своей не тонул, его поддерживают лодками, по крайней мере, через каждые 100 м. Лодки держатся неподвижно на якорях или сваях. При ширине реки большей 500 м укрепляют на якорях по середине ее барку, а между нею и берегами—лодки на взаимных расстояниях около 20 м; протягивают по данному направлению канат и поступают по предыдущему.

Другой прием состоит в том, что на одном из берегов реки измеряют базис  $AP$  (черт. 69), приблизительно перпендикулярный к  $AB$  и равный ширине реки, а также измеряют при точке  $A$  угол  $BAP$ . После этого один из съемщиков с зрительною трубою становится в  $A$ , а другой с угломерным инструментом в  $P$  и, направив трубу инструмента в  $A$ , делает отсчет на лимбе. Затем съемщик в  $B$  дает знак установить лодку в створе  $AB$ , напр., в точке  $a$ . Когда

<sup>1)</sup> Это делается или намоткою или лотом, который представляет собою гири, привязанную к концу веревки. Вследствие течения реки и присутствия в ней мелкого зернистого льда, вод си ошибкою его массой. лот может быть отнесен по течению или задержан, а потому вес гир. должен быть значительный (напр., 20 килограммов при глубине 10 м). Если надо определить также и количество грунта, то в основании гир делается углубление, заливаемое салом,

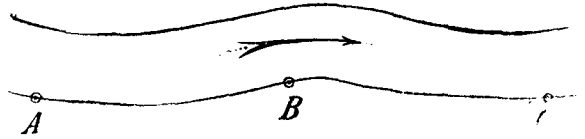
сьемщик в  $A$  дает знак, что лодка находится в створе  $AB$ , рабочий отпускает наметку, а съемщик в  $P$ , направляя трубу инструмента на наметку, отсчитывает угол  $x$ . В  $a$  измеряется глубина. Последующие глубины в  $a_1, a_2, a_3...$  измеряются с лодки  $L$ , которая удерживается на линии  $AB$  съемщиком  $A$ . При измерении глубин съемщик  $P$  поворачивает алидаду инструмента и последовательно определяет углы  $\alpha, \beta, \gamma...$  Чтобы устанавливать лодку в надлежащих точках, необходимы или два якоря, или два столба  $m$  и  $n$ , к которым привязаны канаты; ослабляя один из них и натягивая другой, можно передвинуть лодку по указанию съемщиков. Длина каждого из канатов должна быть, разумеется, более ширины реки, а потому для перетягивания их иногда нужны на носу лодки два ворота. Дома проводят на бумаге в масштабе базис  $AP$  и и строят угол  $A$ , проводят прямую  $AB$ , и углы  $x, \alpha, \beta, \gamma...$  и, найдя точки  $a, a_1, a_2$  прямой  $AB$ , строят в них перпендикулярные к  $AB$  линии полученных глубин и затем — живое сечение. При более быстром течении пользуются лодкой, направляя ее выше по течению створа  $AB$ . Через 10—15 гребков лодку предоставляют течению. Когда она появится в створе  $AB$ , опускают наметку и с концов базиса меряют углы для определения положений лодки засечками.

**Определение уклона реки.** Начальную и конечную точки при нивелировке уреза воды стремятся отнести к одному и тому же уровню воды. Зная отметки этих двух точек, достаточно разность отметок начальной и конечной точек продольной (вдоль берега реки) нивелировки разделить на горизонтальное расстояние между ними, чтобы получить уклон реки. Поэтому, если допустить, что уровень воды в реке остается все время без изменения, то определения уклона реки лучше всего можно было бы достигнуть нивелировкой поверхности ее воды, располагая нивелирный ход по берегу, по возможности параллельно линии течения реки. При этом можно было бы забивать пикетажные колья, начиная от того места, с которого желают определить уклон, через каждые 50—100 м или же на иных расстояниях, более подходящих к строению откосов берега; на колья уреза воды можно было бы ставить рейки, наблюдая, чтобы вода касалась пятки рейки.

Сделанных по рейкам взглядов и измеренных между ними расстояний вполне было бы достаточно для определения падения и уклона реки. В небольших речках, ручьях и каналах (водотеках) можно было бы рейки ставить прямо на дно по середине ложа водотека и, в зрительную трубу, по рейкам читать высоту горизонтального луча зрения, а непосредственно (по рейкам) еще и высоту горизонта воды. Через это одновременно определились бы уклоны дна и поверхности воды.

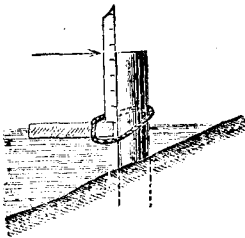
Представим теперь себе, что уровень воды в реке не остается постоянным, а постепенно повышается (или понижается), так как прибыль воды в реке не соответствует ее расходу. Такого рода неравномерный расход в количестве воды может породить явление, сходное или с подпором воды запрудой, или понижением горизонта воды от открытия шлюз, а нивелирование изменяющегося уровня воды в реке, в эти моменты, могло бы привести к ложному заключению, а именно, что уклон реки противоположен действительному ее уклону. Такое заключение может произойти при нивелировании реки вниз по течению при повышающемся горизонте (подпор воды), а также при нивелировании вверх по реке во время понижения уровня воды (спад воды в открытый шлюз). Подпор и спад воды равносильны подъему и опусканию пятки рейки во время нивелировки, так как пятка рейки должна касаться воды. Вследствие этого нивелирование воды в реке должно быть отнесено на всем нивелируемом участке (бьефе) к одному и тому же ее уровню в один и тот же заранее определенный момент. а в случае, если одновременных наблюдений уровня воды в реке в различных ее пунктах невозможно произвести, то последовательно произведенные наблюдения следует путем вычисления привести к одному и тому же моменту

времени. Для одновременных наблюдений уровня воды в реке на нивелируемом участке забивают ряд кольев *A, B, C* (черт. 70) на расстоянии от 1 до 2 километров друг от друга; каждый из наблюдателей забивает свой кол так, чтобы в условный момент (но часам, сверенным с часами других наблюдателей, или по сигналу, напр., по выстрелу) верхушка кола была или в уровень с водой (тогда рядом с ним для видимости наблюдатель забивает другой, более высокий кол), или же верхушка кола оставляется на



Черт. 70.

значительной высоте над водою, и на ней делается заметка (напр., зарубка яодом), в условленный момент показывающая высоту горизонта воды. Вместо зарубок можно сделать одновременно измерение высот верхушек кольев над водою. Лучше всего делать такое измерение помощью поплавка (черт. 71), состоящего из дощечки с делениями, с веревочной петлей, надеваемой на кол. Проложив по берегу нивелирный ход между *A* и *B*, а также *B* и *C*, концы хода связывают с верхушками забитых кольев *A* и *B*, а также *B* и *C*, и высчитывают падения линий *AB* и *BC*, а затем и уклон реки в бьефах *AB* и *BC*.



Черт. 71.

Наблюдение высоты воды на забитых кольях делается или до нивелировки их верхушек, или после нее, но всегда в один и тот же момент времени: тогда по отметкам верхушек кольев *A, B, C*, полученным из нивелировки, и измеренным высотам кольев над водою, определяются отметки уровня воды у кольев *A, B, C*, а по ним и превышения  $h_1$  и  $h_2$  уровня воды у кола *A* над *B* и у кола *B* над *C*. По построенному на бумаге нивелирному ходу можно измерить расстояния *AB* и *BC*, а следовательно, найти уклоны реки:

$$p_1 = \frac{h_1}{AB}, \quad p_2 = \frac{h_2}{BC} \quad \text{и} \quad p = \frac{1}{2} (p_1 + p_2).$$

Самое нивелирование между реперами *A* и *B*, а также *B* и *C*, делается два раза: вперед и назад обычным приемом продольной нивелировки, без разбивки закруглений по ее оси.

В случае недостатка в числе наблюдателей, однако, когда их не менее двух, возможно наблюдать высоту воды, напр., на кольях *A* и *B*, а затем на *B* и *C*, и при посредстве двойного наблюдения высоты воды на коле *B* можно определить одновременную высоту воды на коле *C* и на коле *A*: для этого, разумеется, достаточно в наблюденную высоту воды кола *C* ввести с соответствующим знаком разность двух наблюденных высот воды на коле *B*.

При наличии только одного наблюдателя необходимо: 1) допустить гипотезу, что изменение высоты уровня воды в реке совершается пропорционально времени и, для удобства вычисления, а также для допущения существования гипотезы,—на возможно меньший промежуток времени, 2) требовать, чтобы на наблюдения высоты воды на всех забитых кольях и на проход от кола до кола тратилось столько же времени при обратном ходе<sup>1)</sup>, сколько и при прямом ходе; тогда среднее из двух наблюдений для каждого кола можно считать отнесенным к одному и тому же моменту времени, а именно, считать его

<sup>1)</sup> Сделанном не медленно после прямого.

отнесенным к уровню воды, в средний момент промежутка времени, потраченного на наблюдения и прохождение прямого и обратного хода.

Пусть, напр., на некотором промежуточном коле  $i$  первое наблюдение было сделано в момент  $t_i$ , а второе в  $t'_i$ , изменение высоты уровня воды за единицу времени  $= \pm q^1$ , начальная высота уровня воды в момент  $t_i$  пусть была  $s$ , тогда

$$s + q \frac{t_i - t_i}{2}$$

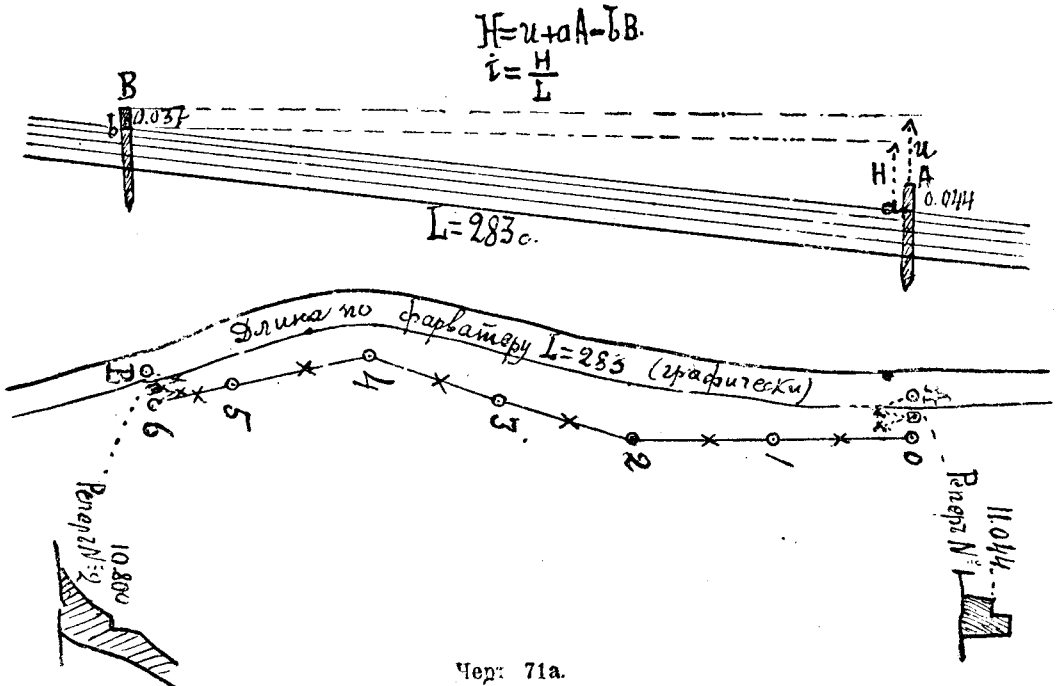
даст высоту уровня воды на коле  $i$  в момент времени  $= \left(\frac{1}{2} t'_i + t_i\right)$ . К этому же моменту времени будут отнесены и наблюдения на прочих кольях.

Самые наблюдения, как уже сказано на стр. 65, нужно делать одним и тем же переносным поплавком во избежании ошибок от (смачивания) прилипания воды к шкале, непосредственно погруженной в воду.

Проследим все сказанное на 1-м примере. См. стр. 68.

II-й пример. Пусть в точке  $A$  (черт. 70) забит кол в уровень с водою в 8 часов утра, и нивелировкой верхушку кола связали с репером, пришли в  $B$  в 10 часов дня и сделали на коле  $B$  заметку уреза воды, связали кол с репером и вернулись в  $A$  в 12 часов, здесь сделали на коле новую заметку выше первой на величину  $h_a$ , вторично в  $B$  были в 2 часа дня, в  $C$  были в 4 часа дня и также вбили здесь кол в уровень с горизонтом воды. В  $B$  вернулись в 6 часов вечера и на коле сделали вторую заметку, стоящую выше первой на величину  $h^b$

Эскиз к примеру определения уклона роки по двум одновременно забитым кольям.



Черт. 71а.

Примечание. Колья  $A$  и  $B$  одновременно забиты в воду на расстоянии 0,5 м от берега. Репера взяты на случай определения уклона при других горизонтах воды в реке (чтобы не делать вторично нивелировку по берегу; крестиками обозначены места постановки нивелира).

1) Навеленное на начальном коле.



Следовательно, за единицу времени вода прибывала на величину  $h_a : 4 = q$ . В точке  $B$  в 10 часов горизонт был выше, чем он был бы в 8 часов утра на величину  $q \times 2$ . Поэтому, идя по берегу нивелировкой от репера до репера, ставя рейку на кол  $B$  в 10 часов, мы делали отсчет по рейке меньший, чем следовало, на величину  $2q$ , ибо вода, а следовательно, и подлива рейки стояли выше. Вводя величину  $2q$  со знаком  $+$  в отсчет по рейке и вычисляя по журналу отметку точки  $B$ , мы получим верный уклон  $p_1$  промежутка  $AB$ . Так же точно придется поступать при определении уклона между кольями  $B$  и  $C$ .

Когда окажется, что река имеет разные уклоны на обоих берегах, то среднее из определенных уклонов можно считать за уклон середины реки <sup>1)</sup>. Примером, малого уклона реки может служить уклон Москвы-реки между городами Москвою и Коломною, где он равен почти 0,0001.

- Уклоны Волги различны: от 0,00008 до 0,00032.  
 „ Немана от Гродно до Ковно почти 0,0003.  
 „ Невы в Ленинграде—0,000014.  
 „ Сены—0,00004 (между Руаном и Гавром во Франции).  
 „ Белой—от 0,00007 до 0,00060.

§ 38. Нивелирование дна стоячих вод пруда, озера и части моря удобнее всего делать зимою по льду; оно состоит в том, что по плану, составленному для берегов и уреза воды, намечают направления, по которым производят промеры глубин дна волохранилища наподобие того, как это делалось для определения живого сечения реки. Для пруда и небольшого озера летом разбивают на берегу два пересекающихся, лучше, взаимно перпендикулярных направления, на которых отмеряют равные между собою расстояния. Через точки отложения одной прямой на плане проводят линии, параллельные другой. На местности делают промеры с лодки, устанавливаемой последовательно в точках пересечения параллелей, а на плане записываются результаты при соответствующих точках. Для больших озер и моря по плану намечают ряд магистралей, по которым впоследствии будут делаться промеры глубин. На местности, на берегу, направление каждой магистрали обозначается парюю вех, по створу которых направляется лодка. Конечные точки магистралей, а также и некоторые промежуточные точки определяются засечками при помощи угломерных инструментов (см. черт. 68 и 69). По направлению каждой магистрали с лодки через каждые 20 — 30 гребков (ударов веслами) производится промер глубины дна; при чем не все точки стояния лодки замечаются инструментом, а лишь те, которые соответствуют 5, 10, 15, 20-му промеру; они замечаются тем, что в них с лодки выкидывают флаг, и положение его определяется с берега засечкою. Нанеся на план точки засечек по магистрали, делят промежутки между засеченными точками на равные части по числу произведенных между ними промеров.

Объем стоячей жидкости (воды, нефти) в пронивелированном по квадратам пруду определяется, как сумма объемов многогранников, ограниченных с боков вертикальными плоскостями, сверху—уровнем воды, а снизу—соответствующей частью дна. Если в 4 вершинах квадрата со стороною  $a$  глубины дна равны соответственно  $m$ ,  $n$ ,  $p$ ,  $q$ , то объем  $v$  многогранника, сходного с параллелепипедом, будет:

$$v = \frac{m + n + p + q}{4} \cdot a^2 z).$$

<sup>1)</sup> Если бы поднимался вопрос о том, — какой высоты плотину в точке  $B$  (черт. 70) можно поставить, при условии, что подпруженная вода, принимающая горизонтальное направление, не затопит точку  $A$ , то, приближенно решая вопрос, можно было бы сказать, — не выше разности отметок точек  $A$  и  $B$ . Более точно задача эта решается в гидравлике.

<sup>2)</sup> Формула эта выводится, допуская что поверхность дна пруда есть кося плоскость.

**Числовой пример сложного нивелирования прямым и обратным ходами глухим нивелиром с обработкой журнала методом „повышений и понижений“.**

ТОЧКИ.	Расстоя- ния	Взгляд (в тысячи. долях м).		Разности уровней.		Средн. раз- ности урв- ни из прям и обрат. ход.	Услови- е отметки.	Примечания.
		Задн.	Перед.	Повы- шен. +	Пони- жен. -			
А		1339						
Репер № 1	3		295	+1044		+1044	10.000	Пример взят из работы по определению уклона реки во время половодья. А и В — кольца, набитые около берега, с затесавными гранями, на которых в одно и то же время сделаны на уровне воды, карандашом метки а и в. Расстояния этих меток от вершукшек колеьев оказались: $aA = 0,044$ ; $bB = 0,037$ . Реперами служат владки ступенек, выпиленых на пнях против колеьев Разность уровней точек В и А: $w = 0,143$ .
Репер № 1		1107					11.044	
Пикет № 0	7		411	+ 696		+ 695,5	11 739,5	
0		817						
1	50		170	+ 647		+ 647	12.386,5	
1		423						
2	50		451		- 028	- 028	12.358,5	
2		113						
3	50		681		- 568	- 568	11.790,5	
3		794						
4	50		270	+ 524		+ 524	12.314,5	
4		813						
5	50		1641		- 828	- 827	11.487,5	
5		1383						
6	30		541	+ 842		+ 842	12.329,5	
6		214						
Репер № 2	7		1744		-1530	-1529,5	10.800	
Репер № 2		678						
В	2		1335		- 657	- 657	10.143	
Конт роль		7681	7539	+3753	-3611	+ 143	10.143	
		7539					10.00	
		+ 142		+ 142			+ 143	

**О б р а т в ы й х о д.**

В		1335						Падение реки между точками В и А: $H = w + aA - bB = 0,143 + 0,044 - 0,037 = 0,150$ . Соответствующая этому падению длина по фарватеру: $L = 283$ (по плану) Уклон: $i = \frac{H}{L} = \frac{0,150}{283} = 0,00053$ .
Репер № 2			678	+ 657				
Репер № 2		1744						
6			215	+1529				
6		205						
5			1047		- 842			
5		1034						
4			208	+ 826				
4		320						
3			844		- 524			
3		700						
2			132	+ 568				
2		401						
1			373	+ 028				
1		180						
0			827		- 647			
0		433						
Репер № 1			1128		- 695			
Репер № 1		396						
А			1440		-1044			
Конт роль		6748	6892	+3608	-3752			
		6892						
		- 144		- 144				
При	при			+ 142				
	мом			002				
	Не							
	вязка							

## ГЛАВА II.

### Детальная разбивка закруглений.

§ 39. Разбивка главных точек и расстояния между промежуточными точками. В § 14 этой книги было указано на разбивку закруглений в главных точках и были выведены формулы (применительно к чертежу 71б), необходимые для назначения на местности 3-х главных точек кривой: ее начала *A*, конца *E* и середины *S*, а именно:

$$TA = TE = r \cdot \operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta; TS = TC - r; \text{ но } AC = TC \cos \frac{1}{2} \beta$$

или

$$TS = r \cdot \sec \frac{1}{2} \beta - r.$$

Формулы эти выводились в зависимости от радиуса *r* кривой и центрального угла:

$$\beta = 180^\circ - \alpha.$$

определяемого по измеренному углу  $\alpha$  между двумя данными прямолинейными направлениями.

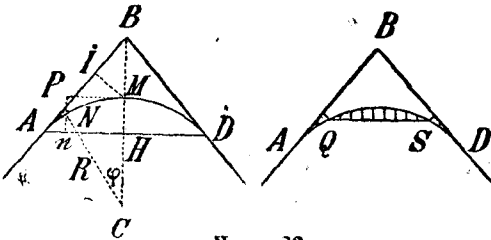
Длина кривой  $ASE = b$  находилась по формуле.

$$b = \frac{\beta}{180^\circ} \cdot \pi r \text{ или } b = \frac{\beta}{\varrho} \times r, \text{ где } \varrho = \frac{180^\circ}{\pi}.$$

Что же касается до детальной разбивки закруглений, т. е. до назначения на местности промежуточных точек кривой, то они берутся настолько близко друг к другу, чтобы часть кривой, заключающаяся между двумя соседними точками, могла быть или принята за прямую, или соответствовала условному расстоянию между пикетами, напр., 100 метров. В первом случае близость промежуточных точек зависит от длины заданного радиуса: чем он больше, тем более расстояние между двумя соседними точками кривой, так как при большем радиусе кривизна кривой будет меньше.

При радиусе:

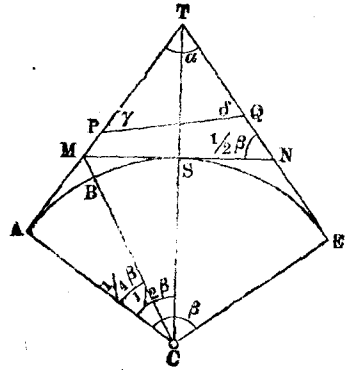
от 200 до 1000 м	расстояние	делается	равным	10—20 М
" 20 "	" 200 "	" "	" "	" в 2 М.



Черт. 72.

Существует несколько приемов разбивки промежуточных точек кривой закругления; мы остановимся на чаще встречающихся в практике случаях и разделим их на две группы: а) детальная разбивка кривой без употребления угломерного инструмента<sup>1)</sup>. и б) детальная разбивка кривой при помощи угломерного прибора. Первая группа: 1) Способ прямоугольных координат. Прием направление касательной за ось *x*-ев, а точку касания за начало координат. Так как точку *M* (черт. 72) кривая делится на две равные и симметричные части, то координаты достаточно вычислить для точек одной половины кривой, и тогда они могут наноситься и от начала *A* кривой, и от конца *D*.

<sup>1)</sup> При этом мы полагаем, что для построения прямого угла имеется вспомогательный прибор — экер.



Черт. 71б.

Выведем формулы для вычисления координат  $x$  и  $y$  любой промежуточной точки кривой. Положим, что длина  $l$  части кривой от ее начала  $A$  до промежуточной точки  $M$  дана, тогда соответствующий длине  $l$  дуги  $AM$  угол  $\beta = \widehat{ACM}$  найдется из выражения (в секундах):

$$\beta'' = \frac{l}{R} \times \rho; \dots \dots \dots (\beta'')$$

здесь  $R$  — данный радиус кривой и  $\rho = 206265''$  (в мильтах 3438').

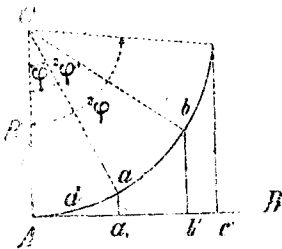
Эта формула справедлива для любой точки кривой, для средней же точки  $M$  угол  $\beta$  найдется непосредственно; он равен  $\frac{1}{2}(180 - a)$ , см. черт. 71b.

Пусть для кривой искомые промежуточные точки будут  $a, b, c$ , (черт. 73) и пусть они соответствуют дугам  $Aa = d, Ab = 2d, Ac = 3d$ , тогда центральные углы будут  $\varphi, 2\varphi, 3\varphi$ ; они найдутся по формуле ( $\beta''$ ), т.е. будут  $\varphi = \frac{d}{R} \cdot \rho; 2\varphi = 2 \frac{d}{R} \rho \dots$ ;

абсциссами точек кривой будут  $Aa_1, Ab', Ac'$ , а ординатами  $a_1a, b'b, c'c$ . Если из точек  $a, b, c$  провести параллели к осп  $x$ -ов, т.е. к  $AB$  (черт. 73), то из соответствующих точкам  $a, b$  и  $c$  прямоугольных треугольников получим, напр., для точки  $a$ :

$$x = Aa_1 = R \sin \varphi. \dots \dots \dots (x)$$

$$y = a_1a = AC - R \cos \varphi = 2 R \sin^2 \frac{\varphi}{2} \dots \dots (y)$$



Черт. 73.

Для средней точки  $M$  (черт. 72) формулы останутся справедливыми и сверх того из равенства треугольников  $AIM$  и  $AMH$  следует, что для средней точки координаты  $x = AI = AH =$  полу хорде  $p$

$$y = IM = HM = \text{стрелке дуги } AD.$$

Иногда надо определять точки кривой, хотя тоже координатами, но не относительно касательных, а относительно хорды. Покажем как это сделать для произвольной точки  $N$  (черт. 72). Если  $d$  есть данная длина дуги  $MN$ , то, приняв среднюю точку  $H$  хорды  $AD$  за начало координат и расположив ось  $x$  по самой хорде, имеем:  $\varphi = \frac{MN}{R} \times \rho$ :

$$\begin{aligned} x &= Hn = R \sin \varphi \\ y &= nN = HM - PN = \\ &= MH - R(1 - \cos \varphi) = \\ &= HM - 2 R \sin^2 \frac{1}{2} \varphi. \end{aligned}$$

В этих формулах  $y$  отличается от соответственной величины в формуле (1), тем, что там произведение  $2 R \sin^2 \frac{1}{2} \varphi$  выражало величину самого  $y$ , а здесь это произведение нужно вычесть из ординаты  $HM = MI$  средней точки кривой. Этот прием полезно применять в особенности в соединении с предыдущим, когда ординаты относительно касательной становятся очень длинными. На том же чертеже (справа) кривая  $AD$  разбита сначала относительно касательных  $AB$  и  $DB$  до точек  $Q$  и  $S$ , а затем относительно хорды  $QS$ .

Достоинство способа координат состоит в том, что положение каждой точки кривой определяется совершенно независимо от положения точек предыдущих, вследствие чего и нет накопления погрешностей.

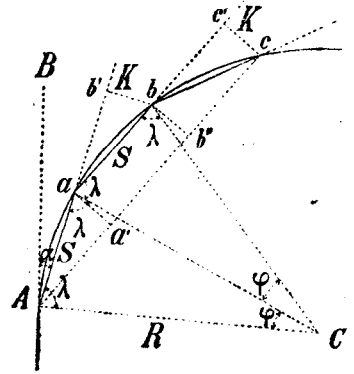
Из сделанного рассмотрения видно, что средняя точка  $M$  кривой может быть нанесена не только по биссектрисе, но еще и проверена по координатам

от начала до конца кривой, а равно и от середины ее хорды. Во избежание вычислений по логарифмическим таблицам рекомендуется пользоваться „таблицами для разбивки кривых“, напр., Кренко, Моржова, Яцны, Изюмова, Стримаба и друг. Об употреблении таблиц будет сказано дальше.

2) Способ последовательных хорд. Пусть  $a, b, c$  (черт. 74) последовательные точки кривой, которые желательнее разбить, сводя длины промеряемых линий к возможному минимуму, вследствие того, что кривая или располагается на высокой насыпи, или вообще в узкой и тесной местности, занятой деревьями сада, постройками и т. п. Допустим, что длина дуги  $d = aa = ab = bc$  заранее задана в метрах, тогда при радиусе  $R$  имеем:

$$1) \varphi = \frac{b}{R} \times \rho, \quad 2) \text{полухорда } \frac{S}{2} = R \sin \frac{\varphi}{2} \text{ или } S = 2R \sin \frac{1}{2} \varphi. \dots (3)$$

Вычислив длину хорды  $S$  и координаты 1-й точки  $a$  по формулам (x) и (y), намечаем на местности первую точку  $a$  кривой по координатам (хотя ее можно назначить и какими-либо иными способами, которые будут ниже сего изложены). Имея два кола: в начале  $A$  кривой и в точке  $a$ , вешат линию  $Aa'$  и на ней откладывают от точки  $a$  длину  $ab' = S$ . Точку  $b'$  временно замечают железной шпилькой или вехой. Из равнобедренного треугольника  $abb'$  видим, что  $bb' = K = 2S \cdot \sin \frac{1}{2} \varphi$ ; а из треугольника  $AaC$ , что угол  $A = \text{углу} = \lambda = \frac{1}{2} (180 - \varphi)$  и так как по чертежу угол  $bab' = 180^\circ - 2\lambda = 180^\circ - 2 \left( 90 - \frac{\varphi}{2} \right) = \varphi$ , то  $K = 2S \times \sin \frac{\varphi}{2}$ , по (3)  $\sin \frac{1}{2} \varphi = \frac{S}{2R}$ , а потому



Черт. 74.

$$K = \frac{S^2}{R} \quad 1).$$

Если мы теперь в  $a$  закрепим одним концом ленту, а в  $b'$  укрепим начало рулетки, и затем, соединив вместе свободные концы ленты и рулетки, соответствующие расстояниям: на ленте  $S$  и на рулетке  $K$ , натянем ленту и рулетку по земле, то место соединенных концов и даст вторую промежуточную точку  $b$  кривой. Повторив тот же прием в точке  $b$ , можно получить третью точку  $c$  кривой и так продолжать далее, пока не получатся все требуемые точки кривой. Очевидно, что здесь ошибки измерений и построений постепенно будут накапливаться.

Положение точки  $b$  относительно прямой  $ab'$  определится также, если вычислять ее координаты  $x$  и  $y$  относительно начала  $a$  по формулам:

$$x = S \cdot \cos \varphi$$

$$y = S \cdot \sin \varphi$$

и так как угол  $\varphi$  мал (при  $d = 10$  м и  $R = 300$  м он равен приблизительно  $1^\circ 55'$ ), то  $x$  очень мало будет отличаться от  $S$ , а ордината  $y$  от  $\frac{S^2}{R}$ . Тем не менее,

<sup>1)</sup> К этому выражению можно прийти из подобных равнобедренных треугольников  $AaC$  и  $bab'$ , имеющих одинаковые углы  $\varphi$  при вершинах  $C$  в  $a$ . Действительно  $K : S = S : R$  Откуда:

$$K = \frac{S^2}{R}$$

Обратить внимание следует при этом на таблицу  $S$  у Вяч. Яцны в „Таблицах для скорой и точной разбивки кривых“, и Таблицу VI А. Моржова, „Разбивка жел.-дорож. кривых“ и К. В. Изюмов — III таблица из „Полных таблиц кривых“ 1898 г.

если  $y$  найден, то для возможного уменьшения накопления неизбежных ошибок при разбивке точек кривой следует, наметив 4 точки кривой  $A, a, b, c$ , натянуть веревку от  $A$  к  $c$  и измерить перпендикуляры  $aa' = bb'$ ; они должны быть равны вычисленному  $y$ , что ясно видно из равенства треугольников  $Aaa'$ ,  $abb'$  и  $bb'c$ .

Допустим, что постепенное накопление погрешностей привело нас, при разбивке положения (способом последовательных хорд) конечной, т.е. по счету от начала  $A$ ,  $n$ -ой точки кривой, к ошибочному ее положению, отстоящему от действительного или заданного положения на величину  $\Delta$ . Чтобы судить, насколько нужно передвинуть каждую ошибочно назначенную нами точку параллельно невязке  $\Delta$ ,

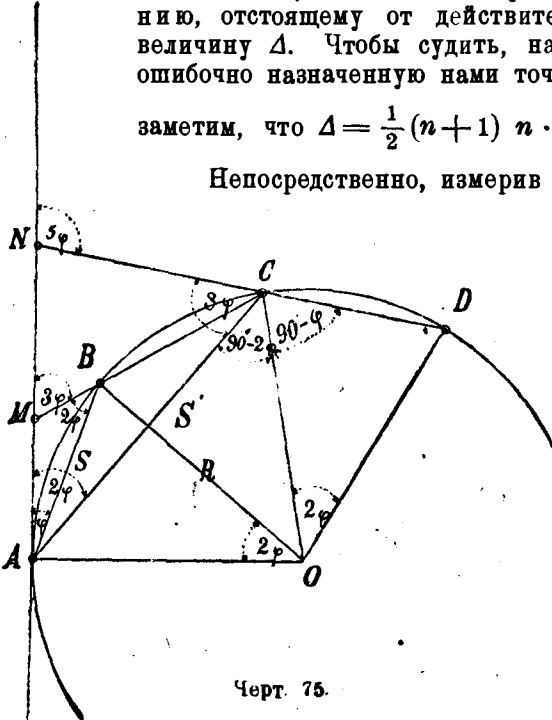
$$\text{заметим, что } \Delta = \frac{1}{2}(n+1) \cdot n \cdot \delta. \dots \dots \dots (4)$$

Непосредственно, измерив  $\Delta$ , мы найдем, что

$$\delta = \frac{2\Delta}{n(n+1)}.$$

Зная же  $\delta$ , можно вновь вернуться к равенству (4) и из него найти величину передвижения каждой точки, если положим опять последовательно  $n = 1, 2, 3 \dots n$ , а именно;

при $n = 1$	$\dots \dots \dots$	$\delta_1 = 0$
$\dots \dots \dots 2$	$\dots \dots \dots$	$\delta_2 = 3\delta$
$\dots \dots \dots 3$	$\dots \dots \dots$	$\delta_3 = 6\delta$
$\dots \dots \dots 4$	$\dots \dots \dots$	$\delta_4 = 10\delta$
$\dots \dots \dots 5$	$\dots \dots \dots$	$\delta_5 = 15\delta$
$\dots \dots \dots$	$\dots \dots \dots$	$\dots \dots \dots$
$\dots \dots \dots$	$\dots \dots \dots$	$\dots \dots \dots$
$\dots \dots \dots = n$	$\dots \dots \dots$	$\delta_n = \Delta$



Черт. 75.

3) Способ отрезков на касательных. Пусть  $A, B, C, D$  (черт. 75) равно удаленные точки кривой; для того, чтобы их наметить на местности от начала  $A$  кривой, заметим, что если мы продолжим хорды  $BC$  и  $CD$  до встречи с касательной  $AN$ , то на касательной получим отрезки  $AM$  и  $AN$ . Если длина этих отрезков будет известна, то по ним и по первой точке  $B$  кривой можно назначить вторую  $C$  и третью  $D$  точки кривой.

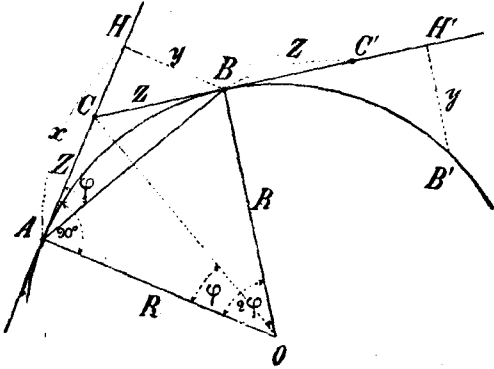
Вывод формулы, по которой вычисляются отрезки на касательной можно найти у С. П. Стримбан в введении к „Руководству к разбивке закруглений“ там же составленную для сего таблицу V.

4) Способ последовательной перемены начала координат. Если  $B, B' \dots$  (черт. 76) промежуточные точки кривой, то они могут быть намечены так: первая точка  $B$  наносится по координатам  $x$  и  $y$ , вычисленным во углу  $\varphi$ , найденному по формуле:

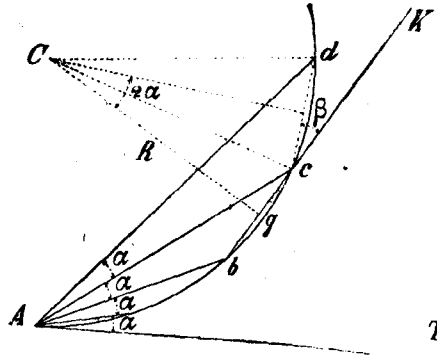
$$2\varphi = \frac{\text{arc} \cdot AB}{R} \times \sigma;$$

что же касается остальных, напр.,  $B'$ , то в точке  $B$  вообразим вспомогательную касательную  $CBH'$  к кривой. Пусть она пересекает касательную  $AN$  в точке  $C$ . Длина  $CA = Z$  найдется из подобия треугольников  $AHB$  и  $ACO$ , в которых  $Z : R = y : x$ ; откуда  $Z = R \cdot \frac{y}{x}$ . Зная длину  $Z$ , можно 2-ю точку кривой наметить следующим образом: на касательной  $AN$  в начальной точке  $A$  отмеряем длину  $Z = AC$  и  $x = AH$ , в точке  $H$  откладываем ординату  $y = HB$ , через что

получится 1-я точка  $B$  кривой. Соединив, затем, точку  $C$  с  $B$ , внешн направлени-  
 $CBH'$  новой касательной в точке  $B$ ; точку  $B$  можно принять за новое начало  
 координат и от нее приемом, подобным описанному, получить 2-ю точку  $B'$   
 кривой и точку  $C'$ . Наметив точки  $C'$  и  $B'$ , получают новую 3-ю касательную и т. д.  
 При этом способе можно также пользоваться таблицей I и II руководства  
 С. Стримбана и „табличкой А“ у В. Яцьян.



Черт. 76.



Черт. 77.

Вторая группа. 5) Способ полярных координат или, иначе, способ  
 углов называется иногда также „способом хорд“; он применяется в тех случаях,  
 когда ординаты становятся слишком длинны и когда их приходится откладывать  
 на неровной местности, на насыпи или в выемке криволинейного пути; этот  
 способ требует применения угломерного инструмента и заключается в следующем.  
 Пусть от начала  $A$  (черт. 77) кривой радиуса  $R$  требуется разбить точки  $a, b,$   
 $c, d, \dots$ , отстоящие друг от друга по кривой на расстояниях  $Aa = l, ab = l_1, bc =$   
 $= l_2, cd = l_3, \dots$ . По известной нам формуле вычислим центральные углы:  $2a = \frac{l_1}{R} \times \rho^1$ ;  
 $2a_1 = \frac{l_1}{R} \times \rho$ ;  $2a_2 = \frac{l_2}{R} \times \rho, \dots$ ; тогда углы между касательной  $AT$  и хордам  
 $Aa, Ab, Ac, \dots$  будут последовательно равны:

$$a; a + a_1; a + a_1 + a_2 \text{ у т. д.}$$

Вычислив затем длины хорд  $Aa = s; ab = s_1; bc = s_2, \dots$ , по предыдущей фор-  
 муле (3), устанавливают в точке  $A$  теодолит и, наведя на точку  $T$  крест нитей  
 трубы, делают по лимбу отсчет  $m$ . Предположив затем, что подпись делений  
 лимба идет, увеличиваясь по ходу часовой стрелки (слева на право), и центр  $C$   
 кривой лежит влево от касательной  $AT$ , повертываем алидаду (трубу) так, чтобы  
 отсчет по лимбу из  $m$  изменился в  $m - a^2$ ). Укрепив, затем, один начальный  
 конец ленты в точке  $A$ , находят на ней длину  $= S$  и заставляют рабочего пере-  
 двигаться с другим концом натянутой ленты до тех пор, пока на вертикальной  
 нити сетки не появится точка ленты, находящаяся в руке рабочего; тогда та  
 точка, где будет находиться рука рабочего с лентой на земле, и будет первая  
 искомая точка  $a$  кривой. В точке  $a$  забивают деревянный колышек и закреп-  
 ляют в ней начальный конец ленты, длина которой сделана равной  $s_1$ ;  
 трубу поворачивают на угол  $a_1$ , т. е. так, чтобы отсчет по лимбу сделался  
 равным  $m (a + a_1)$ , после чего приказывают рабочему вновь двигаться с натя-  
 нутой лентой, пока она не появится в трубе. Там, где будет находиться во второй  
 раз рабочий, и будет вторая точка  $b$  кривой. Закрепив в  $b$  начальный конеп  
 ленты и повернув алидаду на угол  $a_2$ , продолжают повторять описанный прием

<sup>1)</sup> На чертеже 77 углы  $\phi$  взяты для  $l = l_1 = l_2$  и обозначены через  $a$ .

<sup>2)</sup> Если же центр кривой лежит вправо от касательной, то в  $m + a$ .

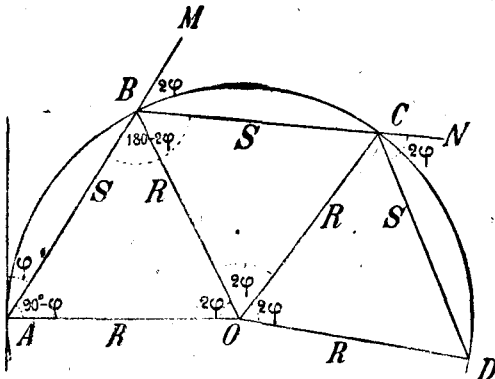
до тех пор, пока не получатся все требуемые точки кривой. Само собою разумеется, что задача значительно упрощается, когда все дуги  $l = l_1 = l_2 = l_k$  равны между собою, так как тогда угол  $\angle T A a = \alpha = \frac{k}{R} \times \rho$  придется только повторить по числу разбиваемых точек, а хорды  $Aa, ab, ac \dots$  будут при этом равны по длине. Если угломерный инструмент имеет потворительный лимб, напр., нивелир, подвижные и неподвижные диоптры, то, установив подвижные диоптры так, чтобы их коллимационная плоскость составляла с коллимационной плоскостью неподвижных диоптров угол  $\alpha$ , закрепляют алидаду и движением лимба неподвижные диоптры направляют на  $T$ ; тогда подвижные диоптры разумеется, укажут направление на точку  $a$ . Наметив точку  $a$ , вновь движением лимба наводят неподвижные диоптры на точку  $a$ , тогда подвижные диоптры укажут направление на точку  $b$  и т. д.

Если бы для продолжения разбивки кривой нужно было (вследствие невозможности визировать вперед) перейти с теодолитом в точку  $c$ , то, направив трубу на  $K$  по продолжению хорды  $bc$  и закрепив лимб, поворачивает алидаду на угол  $\angle Kcd = 2\alpha$  (углы со взаимно перпендикулярными сторонами).

Для удобства пользования этим способом можно рекомендовать IV таблицу „Руководства к разбивке закруглений“ инженера Стримбаана III таблицей у Кренке, таблицей V—у А. Моржова и косвенно табличкой B у В. Яцыны, а также в Tafeln zum Abstecken von Kreis- und Uebergangsbögen durch Polarkoordinaten von Ing. Max Pernt. Wien, Pest, Leipzig, 1903.

6) Способ вписанного многоугольника. Пусть  $A$  начало кривой, точки которой  $B, C, D \dots$  (черт. 78) желаем наметить на местности. Допустим, что  $AB = BC = CD = \dots$ . Вычислив угол  $2\varphi$  по данной длине  $arc AB$ , а по

углу  $\varphi$  — и хорду  $S$ , становимся с теодолитом в точку  $A$  и направляем трубу вдоль касательной  $AT$ . Сделаем на лимбе отсчет  $m$ , поворачиваем алидаду на угол  $\varphi$  и ведем по трубе линию  $AM$ . На линии  $AM$  отмериваем длину  $AB = S$  и забиваем в  $B$  кол, получим первую точку кривой. После этого переносим теодолит в точку  $B$  и направив трубу на веху  $M$ , делаем на лимбе отсчет  $m_1$ , придаем к нему угол  $2\varphi$  и по отсчету  $m_1 + 2\varphi$  ведем по трубе линию  $BN$ , на ней отмеряем длину  $BC = S$  точка  $C$  будет вторая точка кривой; в ней забиваем — кол и над ним устанавливаем перенесен-



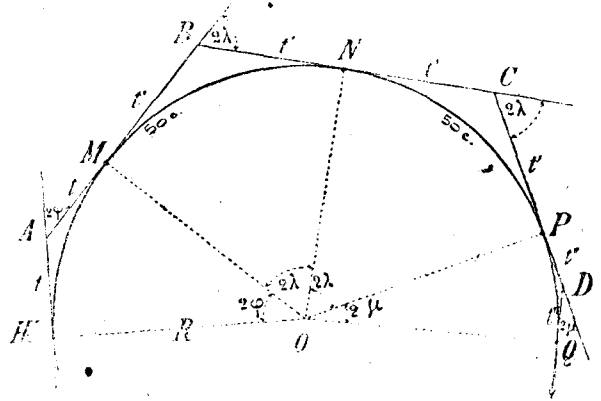
Черт. 78.

ный из  $B$  теодолит. В точке  $C$  повторяем тот же прием, что и в точке  $B$ . Для вычисления  $\varphi$  можно пользоваться V-й таблицей Моржова, а хорду — по I-й таблице, или по Кренке III и I таблицам.

7) Способ описанного многоугольника. Пусть  $HK$  начало кривой радиуса  $R$ , точки которой  $M, N, P, Q$  (черт. 79) должны отстоять друг от друга по кривой на расстояниях  $HKM, MN = NP = \delta$ , напр., 50 саж. и данной длины  $PQ$ . Если длина всей кривой вычислена, то  $PQ$  является остатком после кратного отложения по кривой от точки  $M$  дуги данной длины (50 м). Соответственно длинам дуг вычисляем углы при центре  $O$ , а именно:  $2\varphi, 2\lambda, 2\mu$ . По данному радиусу  $R$  и углам  $\varphi, \lambda$  и  $\mu$  находим длины касательных,  $HKA = AM = t = R \operatorname{tg} \varphi, MB' = BNt' = R \operatorname{tg} \lambda = CN = CP$  и, наконец,  $PD = DQ = t'' = R \operatorname{tg} \mu$ . Имея длины касательных (их также можно найти по табличке А у Яцыны) и углы  $2\varphi, 2\lambda$  и  $2\mu$  (см. также табличку В у Яцыны) кривую разбивают так: от точки  $HK$ , отмеряют по касательной  $HKA$  длину  $t$ , в точку  $A$



переносят теодолит и по теодолиту, имея направление первой касательной, изменяют его на угол  $2\varphi$ , проведя по трубе прямую, на ней отмеряют  $AM = t$  и  $MB = t'$ , в точке  $M$  забивают кол; это и будет первая промежуточная точка кривой. В точку  $B$  переносят теодолит и, повернув трубу так, чтобы она с предшествующим направлением образовала угол  $2\lambda$ , вешат линию  $BNC$ . На линии  $BNC$  откладывают  $BN = t'$ , в точке  $N$  забивают 2-й кол для кривой, от  $N$  отмеряют  $NC = t''$  и в  $C$  переносят теодолит и т. д. продолжают отмерять величины  $2\lambda, t', t'', 2\mu, t''$ , данные на чертеже и определяющие точки  $P$  и  $Q$  кривой.



Черт. 79.

Если точка  $Q$  дана, то последний промер должен приттись в данную на местности точку. Этот способ очень часто употребляется при разбивке на кривой пикетов нивелировки, вместо произвольных промежуточных точек. Для него также можно пользоваться таблицей IV Стримаана. Так, например, при  $R = 200$ , на странице 65 находим для 50 м длины дуги кривой угол  $\lambda$  на окружности  $= 2^{\circ}51'53'' + 4^{\circ}17'50'' = 7^{\circ}9'43''$ . Удвоив его, получим угол  $2\lambda = 14^{\circ}19'26''$ , что легко поверить:

$$\frac{50}{R} \varphi = \frac{50}{200} \times 206265'' = 14^{\circ}19'26''.$$

В случае короткой дуги кривой ее разбивают всю за-раз с одного конца до последней точки кривой; эту точку получают для контроля также и по длине касательной. Дуги более длинные разбиваются с обоих концов до середины кривой. При очень больших дугах полезно две смежные со серединою точки кривой назначить для контроля также и относительно касательной в этой средней точке.

§ 40. Употребление таблиц при разбивке закруглений. Чтобы избежать вычисления на месте работ величин, необходимых при разбивке закруглений, пользуются обыкновенно таблицами, заранее составленными по выведенным нами формулам.

Наиболее употребительными таблицами для способа прямоугольных координат являются таблицы Кренке (Handbuch zum Abstecken von Curven, von Köhlike)<sup>1)</sup>. Они состоят из трех таблиц; таблица I содержит: 1) длины касательных, 2) длину всей дуги кривой для данного центрального угла, 3) полухорду, 4) координаты  $x$  и  $y$  средней точки  $M$  кривой и 5) биссектрису. Все эти величины вычислены для радиуса  $R = 1000$ . Аргументом в этой таблице служит центральный угол  $ACD$  (черт. 72), дополняющий до  $180^{\circ}$  непосредственно измеренный угол поворота  $ABD$ . Таблица I вычислена для величин центрального угла от  $0^{\circ}$  до  $120^{\circ}$ . Число градусов аргумента стоит как сверху каждой страницы таблицы, напр., 70—75 градусов, так и в первой левой графе, а минуты—во второй, с промежутком через каждые десять минут<sup>2)</sup>. Вот часть одной из страниц этой таблицы:

<sup>1)</sup> Иностранное издание составлено через каждые 2 минуты.

<sup>2)</sup> См. также «Новые таблицы для разбивки железнодорожных и шоссевых кривых взамен Кренке с общедоступными объяснениями инженера А. Моржова».

70—75 градусов.

I таблица.

Градусы.	Минуты.	Касательная	Длина кривой	Полухорда $АН$	Ордината	Биссектриса
		$АВ.$	$АМD.$	Абсцисса $АJ.$	$НМ = JM.$	
72	0	726,543	1256,637	587,785	190,983	236,068
	10	728,777	1259,546	588,961	191,839	237,376
	20	730,998	1262,455	590,135	192,696	238,681
	30	733,230	1265,364	591,310	193,555	240,011
				и т. д.		

Таблица II содержит координаты промежуточных точек кривой относительно касательных. Аргументами служат: 1) радиус  $R$  кривой, который изменяется от 10 до 1000, и 2) длина дуги. Вот образец этой таблицы:

II таблица.

Длина дуги $АF.$	$R = 250.$		$R = 260.$		$R = 270.$	
	Абсцисса $АЕ.$	Ордината $ЕF.$	Абсцисса $АЕ.$	Ордината $ЕF.$	Абсцисса $АЕ.$	Ордината $ЕF.$
10	10,00	0,20	10,00	0,19	10,00	0,19
20	19,88	0,80	19,98	0,78	19,98	0,74
		и	т.	д.		
100	87,35	19,73	97,55	18,99	87,73	18,31
		и	т.	д.		
250	210,37	114,92	213,22	111,21	215,78	107,70

Переходя к употреблению этих таблиц, нужно прежде всего сказать, что все величины, в них помещенные, выражены в той же единице меры, в которой выражен и данный радиус. Самое употребление разъясним на числовом примере; положим, что угол  $ABD$  (черт. 72) по измерению оказался равным  $107^{\circ}2',25$ , а требуется разбить закругление с радиусом 250 м.

Центральный угол  $ACD = 180^{\circ} - 107^{\circ}2',25 = 72^{\circ}57',75$ . Открываем таблицу I и надписанным наверху аргументом 70—75 градусов, и в ней

находим для	$72^{\circ}50'$	$73^{\circ}0'$	Разности
Длина касательной . . . . .	727,713	739,961	2,248
Длина кривой . . . . .	1271,182	1274,090	2,908
Полухорда или абсц. средн. точки.	593,653	594,823	1,170
Ордината ср. точки . . . . .	195,279	196,143	0,764
Биссектриса . . . . .	242,656	244,002	1,336

На основании полученных разностей составляем пропорцию сначала для длины касательной:

$$10' : 7',75 = 2,248 : x,$$

отсюда  $x = 1,742$ . А потому длина касательной для центрального угла  $72^{\circ}57',75$  будет:

$$737,713 + 1,742 = 739,455.$$

Но эта касательная соответствует радиусу  $R = 1000$  м, а нам нужна касательная для  $R = 250$  м. Поэтому полученную величину ее изменяем в отношении:

260:1000, т.-е. в 4 раза, в получаем окончательно 184,864 м. (См. у Моржова. стр. 73, строки 2 и 3 снизу. Здесь  $R = 1$ ).

Подобным же образом интерполяцией вычислим и остальные элементы закругления, как-то: длину дуги, полухорду, ординату и биссектрису.

В таблицах В. Яцыны для скорой и точной разбивки кривых на стр. 139, найдем в таблице I кроме  $Tg$  и кривой  $K$ , еще и  $(2 Tg - K)$ , а также биссектрисы для углов  $72^{\circ}50'$  и  $73^{\circ}0'$ ; для углов же от  $0^{\circ}$  до  $40^{\circ}$  через каждые  $10^{\circ}$  можно непосредственно найти те же величины при радиусе  $= 250$  (700, 500, 450, 400, 350, 300, 250, 200, 175, 150, 125, 120, 75, 60).

У Стримбана те же величины найдутся из I-й таблицы при  $R = 1$  и для величины углов в поворотных точках (на стр. 12).

У Ияюмова—на стр. 147 (3—4 строках снизу)—здесь  $R = 100$ .

После вычисления приступают к назначению на местности главных точек. Для этого отмеривают от вершины  $B$  длину касательной по сторонам угла а получают начало  $A$  и конец  $D$  кривой. В эти точки забивают колья с надписью Н. К. (начало кривой) и К. К. (конец кривой). Затем (если возможно и удобно) измеряют хорду  $AD$  и сравнивают длину ее с соответственной табличной величиною; согласно результатов послужит некоторым ручательством верного отложения касательных и верного определения угла  $ACD$ . Делят хорду пополам а в средней точке ее  $H$  восставляют перпендикуляр, на котором откладывают ординату  $HM$ . Полученную точку  $M$  обозначают колом с надписью С. К. (средина кривой). Проверкою определения точки  $M$  служит расстояние ее от вершины  $B$ , которое помещается в последнем столбце таблицы I-й Кренке. Середину  $M$  кривой намечают от точки  $B$  вершины угла поворота, пользуясь теодолитом, т.-е. став с теодолитом в  $B$  а направившись трубой на начало  $A$  кривой, делают на лимбе отсчет, который изменяют (т.-е. повертывают алидаду) на  $\frac{1}{2} \alpha^{\circ}$  и, выставив по трубе вежу, откладывают на полученном расстоянии биссектрису  $BM$ .

Заметим, что если по местным препятствиям точка  $M$  не может быть определена относительно хорды, то это делают посредством координат относительно касательных. Величины этих координат берутся из 5-го и 6-го столбцов таблицы 1-й (Кренке).

После этого приступают к назначению промежуточных точек кривой: для этого открывают то место таблицы II-й, которое имеет заглавие  $B = 250$ , и, начав последовательно от точек  $A$  и  $D$ , отмеривают по касательным вятые из таблиц абсциссы и восставляют на концах их перпендикуляры, на которых откладывают табличные ординаты. Таким образом, продолжают до точек кривой, лежащих перед точкою  $M$ . Затем измеряют расстояние этих точек до  $M$  и складывают полученные длины с длинами дуги от начала и конца кривой до последних назначенных точек. Сумма выразит длину всей кривой. Ее сравнивают для проверки разбивка с длиною, полученною из 4-го столбца таблицы I-й. Вместо II-й таблицы Кренке (Моржова) можно пользоваться III-й таблицей Моржова, а также II-й таблицей Яцына, где дается разность  $d$ —кривой без абсциссы ( $d = Kp. - x$ ), кривая а ордината  $y$ . По данной кривой находят  $d$  и  $y$ , а по  $d$ —абсциссу  $x$ .

Для  $y$  имеются у Моржова пропорциональные части на 0,10, 0,20... до 0,90.

§ 41. Перенос пикетов на кривую. Хотя нанесение пикетов на кривую может быть сделано способами описанного или вписанного многоугольника, но оно также достигается способом координат. Если на кривой  $AMD$  (черт. 80) нужно будет заметить, напр., 24-й пикет, когда 23-й намечен уже на прямой  $SB$ , то поступают следующим образом. Пусть расстояние от начала кривой  $A$  до 23-го пикета  $= 12,3$ ; а тогда от начала кривой до 24-го пикета будет:  $50 - 12,3 = 37,7$  м. Пикет 24-й должно нанести не на прямой  $AB$ , а на кривой  $AMD$ , т.-е. найти на кривой точку  $E$  по дуге  $AE = 37,7$  м. Точка намечается на земле по абсциссе  $x = AF$  и ординате  $y = FE$ ; их можно было бы брать из таблицы II Кренке, во не совсем точно; поэтому покажем вычисление  $x$  и  $y$  несколько иным

путем. Для нахождения точки  $E$  рассуждают так: если точку  $E$  будем считать средней точкой некоторой дуги  $AM$ , то понятно, что  $AM = 2 \times 37,7 = 75,4$  м. При данном радиусе  $R$  рассчитаем, какому углу  $\varphi$  при центре  $C$  кривой будет соответствовать дуга  $AM$ . Угол  $\varphi$  найдется по формуле:  $\varphi = \rho \cdot \frac{AM}{R}$ .

Вычислив угол  $\varphi$ , легко по первой таблице Кренке найти абсциссу и ординату средней точки  $E$ . Пусть, напр.,  $R = 300$  м; тогда:

$$\varphi = \rho \times \frac{75,4}{300} = 3438 \cdot \frac{75,4}{300} = 11,46 \cdot 75,4 = 864,084 = 14^\circ 24',1.$$

Для удобства вычисления углов  $\varphi$ , при данных — дуге  $AM$  и радиусе  $R$ , Кренке составил таблицу III. Длина  $AM$  дается от 1 до 9.

Так для 7 и $R = 300$ находим:	$\varphi = 1^\circ 20' 12'',85$ ,
" 5 " " " "	$\varphi = 0^\circ 57' 17'',75$ и
" 4 " " " "	$\varphi = 0^\circ 45' 50'',20$ .

По этим данным полное  $\varphi$ , соответствующее 75,4, будет:

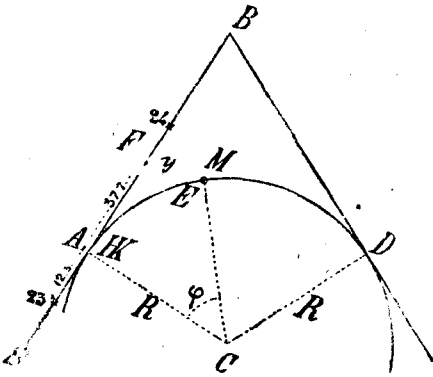
$$(1^\circ 20' 12'',85 \times 10) + 0^\circ 57' 17'',75 + \frac{0^\circ 45' 50'',20}{10} = 14^\circ 24',27.$$

Для данного угла из таблицы I-й находим  $x$  и  $y$  при радиусе  $= 1000$ , а для нашего радиуса 300 надо найденные  $x$  и  $y$  умножить на  $\frac{300}{1000} = 0,3$ .

В I таблице у Изюмова находим для  $14^\circ 21'$  величины  $x = 12,533$  и  $y = 0,789$  при  $R = 100$ , следовательно, при  $R = 300$ ,  $x = 37,599$ ,  $y = 2,367$  или до сотых долей  $x = 37,60$  и  $y = 2,37$ .

Если бы в III-й таблице у Кренке не было данного радиуса, напр., 75, то пришлось бы сделать для углов интерполяцию между табличными величинами для ближайших радиусов, напр., 74 и 76.

Еще проще это делается по таблице II у Яцыны, см. стр. 227, где для  $R = 300$  и  $l = AE = 37,60$  и  $37,80$  находим разность  $d$  (между  $l$  и  $x$ )  $= 0,10$ , и ординаты  $y = 2,35$  и  $2,38$ . Вследствие чего искомые  $x = 37,60$  и  $y = 2,365$ . См. также таблицу III у Моржова, стр. 6.



Черт. 80.

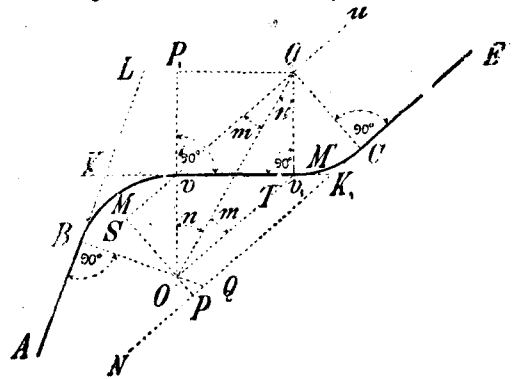
§ 42. Разбивка извилины. Обходя на местности какие-либо препятствия, приходится иногда соединять два данные прямолинейные направления  $AL$  и  $NE$  (черт. 81) двойным закруглением  $Bv_1C$ , состоящим из двух дуг круга  $Bv_1$  и  $v_1C$ , обращенных кривизнами в разные стороны, и вставленной между ними прямой  $vv_1$ , которая касательна к этим дугам. Такое двойное закругление с прямой вставкой носит название извилины. Данными для разбивки извилины на местности служат, помимо указанных двух направлений: 1) начальная точка  $B$  извилины, 2) радиусы  $R$  и  $R_1$  дуг  $Bv_1$  и  $v_1M_1C$  и 3) длина  $D$  прямой вставки  $vv_1$ . Сверх того для решения задачи необходимо знать угол  $BQE = Q$  между направлением  $NE$  и перпендикуляром  $BQ = p$  к направлению  $AL$  в точке  $B$ . Обычно они непосредственно измеряются на местности. Задача решится, если мы найдем центральные углы  $BOv_1$  и  $v_1O_1C$ , а по ним по I таблице Кренке — и остальные элементы, так как тогда разбивку извилины можно произвести в следующем порядке: найдя по I таблице Кренке по углам  $BOv_1$  и  $v_1O_1C$  и заданным радиусам  $R$  и  $R_1$  длины касательных  $BK = kv$  и  $v_1K_1 = K_1C$ ,

отмеривают от начальной точки  $B$  по заданному направлению  $AL$  длину  $BK$ , в точку  $K$  устанавливают теодолит, направляют его трубку на веху, выставленную в точке  $A$  и, сделав по лимбу отсчет, поворачивают алидаду на угол  $BKv = 180^\circ - BOv$ ; проведя линию  $KK_1$ , на ней последовательно отмеривают  $Kv$ , прямую вставку  $D = vv_1$  и  $v_1K_1$ ; в точку  $K_1$  переносят теодолит и, направив трубку на веху  $K$ , поворачивают алидаду на угол  $KK_1C = 180^\circ - v_1O_1C$ ; от точки  $K_1$  отмеряют длину касательной  $K_1C$ . Поверкою работы служит: 1) то, что точка  $K_1$  должна придти на заданном направлении  $NE$ , в чем легко убедиться простым вешением линии  $NQK_1CE$  и 2) угол  $KK_1E$  по измерению должен отличаться от вычисленного угла  $(180^\circ - v_1O_1C)$  не более, как на  $2t$ , где  $t$  точность верньера теодолита, т. е. на 1—2 минуты.

Если разбивка покажет, что точки  $K$ ,  $v$ ,  $v_1$ ,  $K_1$ ,  $C$  намечены правильно, то приступают к назначению средних привых —  $M$  и  $M_1$  и необходимого числа промежуточных точек на обеих кривых.

Углы  $BOv$  и  $v_1O_1C$  зависят от направления линий  $AL$  и  $NE$  и находятся с помощью двух вспомогательных углов  $m$  и  $n$  (черт. 81), а именно:

$$\begin{aligned} \angle BOv &= BOT - (m + n) \\ \angle v_1O_1C &= SO_1C - (m + n). \end{aligned}$$



Черт. 81

Углы же  $m$  и  $n$  находятся так: соединяют центры  $O$  и  $O_1$ , проводят параллель  $OT$  к прямой  $QK_1$  и, соединив центр  $O$  с точкою  $v$ , продолжают радиус  $Ov$ ; прямая  $OvP_1$  будет перпендикулярна к прямой вставке  $vv_1$ . Точно так же и радиус  $O_1v_1$  будет перпендикулярна к касательной  $vv_1$ . Проводя затем  $O_1P_1$  перпендикулярно к  $OvP$ , найдем из прямоугольного треугольника  $OP_1O_1$ .

$$O_1P_1 = R + R_1; P_1O_1 = D; OO_1 = d = \sqrt{(R + R_1)^2 + D^2}.$$

При  $R = R_1$  величина  $d = \sqrt{4R^2 + D^2}$ .

Линии  $OP_1$  и  $O_1v_1$  будут параллельны, так как обе перпендикулярны к  $vv_1$ , а потому и углы  $P_1OO_1$  и  $OO_1v$  будут равны между собою. На чертеже они обозначены через  $n$ .

Опуская затем из  $O$  перпендикуляр  $OP$  на  $NE$  и продолжив его, отложим на нем  $PS = R_1$ . Проведем  $Su$  параллельно к  $NE$ ; она пройдет через  $O_1$ , так как  $O_1$  отстоит от  $NE$  также, как и  $S$ , на расстоянии  $R_1$ . Обозначив через  $m$  равные углы  $SO_1O$  и  $O_1OT$ , найдем:

$$\angle BOv = \angle BQE - (m + n) \dots \dots \dots (1)$$

$$\angle v_1O_1C = 90^\circ - (m + n) \dots \dots \dots (2)$$

Углы  $m$  и  $n$  определяются по формулам:

$$\operatorname{tg} n = \frac{P_1O_1}{P_1O} = \frac{R + R_1}{D} \dots \dots \dots (3)$$

$$\sin m = \frac{SO}{OO_1} = \frac{SP - OP}{d} = \frac{R_1 - OQ \cdot \sin Q}{d} = \frac{R_1 - (R \sin Q)}{d} \dots \dots (4)^1$$

$n$  могут войти в иной комбинации и найтись не по  $\operatorname{tg}$  и  $\sin$ .

<sup>1)</sup> В зависимости от направлений  $AL$  и  $NE$  углы  $m$ .

Если  $R = R_1$ , то

$$\operatorname{tg} n = \frac{D}{2k} \dots \dots \dots (5)$$

$$\sin m = \frac{R - (p - \lambda) \sin Q}{\sqrt{4R^2 + D^2}} \dots \dots \dots (6)$$

В частном случае, когда  $AL$  параллельна  $NE$  и отстоят друг от друга на расстоянии  $a = p$ , т. е.  $BQ = a$  и  $\angle BQE = 90^\circ$ , формулы изменяются и дадут:

$$a = \sqrt{(R + R_1)^2 + D^2}; \operatorname{tg} n = \frac{D}{R + R_1} \left( \text{или } \sin n = \frac{D}{a} \right)$$

$$\sin m = \frac{R_1 + (R - a)}{a}; \quad \angle BOV = 90^\circ - (m + n).$$

При  $R = R_1$  получим:

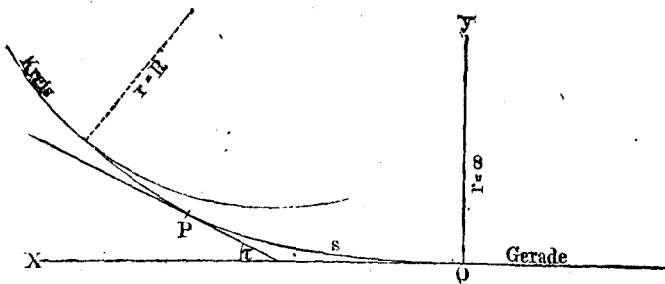
$$a = \sqrt{4R^2 + D^2}; \operatorname{tg} n = \frac{D}{2R}; \sin n = \frac{D}{a};$$

$$\sin m = \frac{2R - a}{a}.$$

Предел для прямой вставки  $D$  между кривыми, обращенными в разные стороны, очень разнообразен. Он зависит от технических условий и меняется с изменением величины радиусов закруглений и при небольших величинах этих последних (менее 600 м) доходит до 20—30 м<sup>1</sup>).

§ 43. О переходных кривых. Поезд, двигаясь сперва по прямой и переходя на кривую радиуса  $R$ , получает тем сильнее толчок, чем меньше  $R$ . Поэтому

желательно (чтобы достичь плавного движения), чтобы у кривой радиус был переменный, меняющийся от радиуса прямой (прямую можно рассматривать за окружность радиуса, равного бесконечности) до данного радиуса круга  $R$  закругления. Достигается это помощью вставки между прямой и кругом радиуса  $R$ , так



Черт. 82.

называемой, „переходной кривой“, сопрягающей прямую с кругом. Между прочим такой кривой может быть кубическая парабола, уравнение которой:  $y = \frac{x^3}{6q}$ .

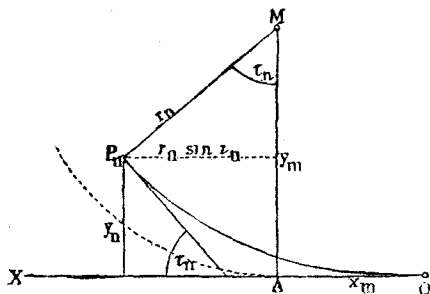
Вид этой кривой показан на черт. 82, где кривая длиной  $S$  сопрягает прямую  $OX$  с кругом радиуса  $R$ , касаясь прямой в точке  $O$  и круга в точке  $P$ .

При движении по кривой развивается центробежная сила, стремящаяся сбросить вагон с кривой. Действие центробежной силы уничтожается возвышением наружного рельса над внутренним на некоторую высоту  $Z$ . Возвышение достигается постепенным его уклоном  $i$ . В формуле параболы  $y = \frac{x^3}{6q}$ , величина  $q$  зависит от уклона  $i$ , возвышения  $Z$ , скорости движения вагона  $V$ , ширины колеи  $W$ , ускорения силы тяжести  $g$  и радиуса кривой  $R$ . (Длина переходной кривой  $S$  на абсциссе ее конца).

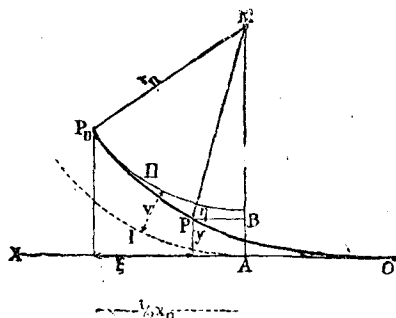
<sup>1</sup>) Для определения  $D$  иногда применяется формула:  $D = 10c + 500c \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R_1} \right)$

Порядок разбивки. Прежде всего по данному углу между двумя прямолинейными направлениями и радиусу  $R + V$  закругления находят длину касательной, определяющей проекцию  $A$  центра  $M$  (черт. 83 и 83 bis) круга на касательную  $OX$  и разбивают (пунктирную на чертеже) дугу круга радиуса  $R + V$ , где  $V = \frac{1}{4} y_n = \frac{1}{24} \frac{x_n^3}{q}$  и  $X_n = \frac{q}{R} = S$ .

Затем вычисляют абсциссу  $X_m = X_n$  центра  $M$  по формуле  $x_m = \frac{q}{2R}$ , а также ординаты точек  $P_n$  и  $K$  переходной кривой (ее конца  $P_n$  и точки  $K$ , лежащей на радиусе  $AM$ ). И так как  $x_k = x_n = \frac{1}{2} x_n$ , а абсцисса  $x_n = \frac{q}{v_n} = \frac{q}{R}$ , то по



Черт. 83.



Черт. 83 bis.

формуле  $y = \frac{x^3}{q}$  найдутся  $y_n$  и  $y_k$ , а именно,  $x_k = \frac{(\frac{1}{2} X_n)^3}{6q} = \frac{1}{8} y_n$  и  $y_n = 4 V$ .

По той же формуле  $y = \frac{x^3}{6q}$  найдутся все промежуточные точки переходной кривой. Достаточно вычислить для равномерно увеличивающихся абсцисс одну ординату, и все остальные получатся умножением первой ординаты на  $2^3 = 8$ ,  $3^3 = 27$ ,  $4^3 = 64$ ... Разбив по координатам кубическую параболу, далее разбивают дугу круга II радиуса  $V_n = R$ . Она отстоит от дуги круга I на величину  $V = \frac{1}{4} Y_n = \frac{x_n^3}{24^3}$  и может быть поверена передвижением точек круга I по направлению к центру  $M$  на  $\frac{1}{4} Y_n$ . Начало переходной кривой  $O$  получается отложением от  $A$  величины  $\frac{q}{2R}$  вправо. Пример см. у Стримбана.

### ГЛАВА III.

#### Тахиметрия.

§ 44. Общее понятие. Тахиметрия<sup>1)</sup> есть один из видов вертикальной съемки, состоящий в определении разности высот двух точек с помощью наклонного луча зрения по быстро определенному расстоянию между ними и углу наклона луча к горизонту. Особенность тахиметрии состоит в том, что одним и тем же инструментом, при том одним визированием на пикет со станции, определяется положение пикета по высоте, азимуту и расстоянию. Таким образом, это есть одновременная горизонтальная и вертикальная съемка.

Приборы, служащие для определения высоты предмета, называются высотомерами; приборы, предназначенные для определения азимутов — буссолями

<sup>1)</sup> Скорозмерение.





фокусное расстояние собирающего стекла  $S$ . Из предыдущих четырех уравнений найдем расстояние  $D$ ; для чего исключим величины  $d$ ,  $x$  и  $l'$ . Уравнение (2) дает:

$$D = l \cdot f \cdot \frac{1}{l'}$$

Из уравнения (4) находим:  $\frac{1}{l} = \frac{1}{p} \cdot \frac{y}{x}$ .

Вставляя это значение  $\frac{1}{l}$  в предыдущее равенство, получим:

$$D = l \cdot \frac{f}{p} \cdot \frac{y}{x} = kl \cdot \frac{y}{x} \dots \dots \dots (5)$$

Отношение  $\frac{y}{x}$  найдем из равенства (3), умножая его на  $y$ , имеем:

$$\frac{y}{x} = 1 - \frac{y}{f'}$$

А потому уравнение (5) преобразуется в

$$D = k \left( 1 - \frac{y}{f'} \right) l = k'l, \dots \dots \dots (6)$$

где  $k' = k \left( 1 - \frac{y}{f'} \right) \dots \dots \dots (7)$

Обозначая, как и прежде, расстояние от середины  $M$  инструмента до центра объектива, измеряемое по оси объектива, через  $\delta$ , а расстояние от середины инструмента до рейки через  $E$ , имеем:

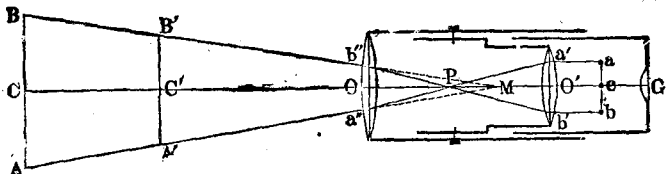
$$E = D + f + \delta = k'l + f + \delta \dots \dots \dots (8)$$

или  $E = k'l + c, \dots \dots \dots (II)$

где  $k = \left( 1 - \frac{y}{f'} \right) \frac{f}{p}$ , а  $c = f + \delta$ .

При употреблении формулы (II) необходимо, чтобы  $k'$  и  $c$  были постоянны. Так как  $c$  зависит от  $f$  и  $\delta$ , то оно постоянно для одного и того же объектива и одного и того же инструмента; что же касается  $k'$ , зависящего от  $f$ ,  $f'$ ,  $p$  и  $y$ , то оно будет постоянным для одной и той же трубы только тогда, когда будет постоянно  $y$ , т.е. расстояние от сетки до собирающего стекла. На этом основании, сетка нитей в дальномере Эртеля не должна изменять своего расстояния от собирающего стекла.

§ 46. Устройство дальномера Порро. Профессор Порро в Милане предложил дальномер, устройство которого схематически представлено на черт. 85. Особенность этого дальномера заключается в том, что в объективном колене помещаются не только ахроматический объектив  $O$ , но и собирающее стекло  $O'$ ; последнее, находясь в особом от объектива цилиндре, может быть самостоятельно передвигаясь вдоль оси трубы. Для этого передвижения нужно предварительно отвернуть окулярное колено от объективного колена. В окулярном колене помещаются: окуляр  $G$ , состоящий из двух ахроматических стекол, и диафрагма с сеткой  $a, c, b$ , в виде трех горизонтальных и одной вертикальной нити. Дальномерные нити неподвижны. Если нити  $a$  и  $b$  вертикальны, то рейка держится горизонтально.



Черт. 85.

§ 47. Теория дальномера Порро. Оставим для вывода теории дальномера Порро тот же чертеж 84, однако, примем во внимание, что у Порро расстояние  $\Delta$  собирающего стекла  $S$  от объектива  $O'$  постоянно, а  $y$  может меняться и расстояние  $x = d - \Delta$ . Вставляя это значение  $x$  в уравнения (3) и (4), получим прежние 4 уравнения в виде:

$$\frac{1}{D+f} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f} \dots (1) \quad \left| \quad \frac{1}{y} - \frac{1}{d-\Delta} = \frac{1}{f'} \dots (3)\right.$$

$$\frac{D}{l} = \frac{f}{l'} \dots (2) \quad \left| \quad \frac{p}{l'} = \frac{y}{d-\Delta} \dots (4)\right.$$

Найдем расстояние  $D$  из этих уравнений, исключая вспомогательные величины  $l', y$  и  $d$ . Из равенства (2) следует, что:

$$D = f \cdot l \cdot \frac{1}{l'}$$

Из равенства (4) находим:

$$l' = \frac{(d-\Delta)p}{y}$$

Подставляя это значение в выражение  $D$ , получим:

$$D = f \cdot l \cdot \frac{y}{p(d-\Delta)} \dots (5)$$

Уравнение (3) дает:

$$\frac{1}{y} = \frac{1}{d-\Delta} + \frac{1}{f'}$$

или 
$$y = \frac{1}{\frac{1}{f'} + \frac{1}{d-\Delta}} = \frac{f'(d-\Delta)}{d-\Delta+f'} \dots (6)$$

Заменяя  $y$  в равенстве (5) его значением из (6), получим:

$$D = \frac{f \cdot l \cdot f'}{p(d-\Delta+f')} \dots (7)$$

Для исключения  $d$  из (7) обратимся к уравнению (1); оно дает:

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{f} - \frac{1}{D+f} = \frac{D}{f(D+f)}$$

или 
$$d = \frac{f(D+f)}{D}$$

Уравнение (7) по исключении из него  $d$ , примет вид:

$$D = \frac{ff'l}{\left\{ \frac{f(D+f)}{D} - \Delta + f' \right\} p}$$

или

$$D = \frac{ff'l \cdot D}{[f(D+f) + (f' - \Delta)D] p}$$

Откуда:

$$1 = \frac{ff'l}{[f^2 + D(f+f' - \Delta)] p} \quad \text{или} \quad D = \frac{ff'l - pf^2}{p(f' - \Delta + f')}$$

Прибавив по  $f$ , получим расстояние до центра объектива, оно будет:

$$D + f = \frac{ff'l}{p(f' - \Delta + f')} - \frac{f^2}{f+f' - \Delta} + f = \frac{ff'}{p(f' - \Delta + f')} l + \frac{f(\Delta - f')}{f+f' - \Delta}$$

1) См. статью о зрительных трубах.

Эта формула определяет расстояние рейки от центра объектива, а потому расстояние  $E$  от рейки до середины инструмента при прежних же обозначениях будет:

$$E = \frac{ff'}{(f - \Delta + f')p} l - \frac{f(\Delta - f')}{f - \Delta + f'} + \delta \dots \dots \dots (8)$$

Порро предложил брать  $\delta$ ,  $f$ ,  $f'$  и  $\Delta$  такой длины, чтобы они удовлетворяли равенству:

$$c = 0 \text{ или } \frac{f(\Delta - f')}{f - \Delta + f'} + \delta = 0,$$

т.е., чтобы

$$\delta = \frac{f(\Delta - f')}{f - \Delta + f'}.$$

Тогда, при  $c = 0$ ,

$$E = \frac{ff'}{(f - \Delta + f')p} l \dots \dots \dots (9)$$

Обозначив выражение  $\frac{ff'}{(f - \Delta + f')p}$ , постоянное для одной и той же трубы, через  $k''$ , получим формулу дальномера Порро:

$$E = k'' l \dots \dots \dots (III)$$

Так как из оптики известно, что эквивалентное фокусное расстояние  $f''$  системы двух собирающих стекол (объектива и собирающего стекла) есть:

$$f'' = \frac{ff'}{f - \Delta + f'}$$

то

$$k'' = \frac{f''}{p}.$$

Расстояние  $\Delta$  собирающего стекла  $S$  от объектива  $O'$ , будучи однажды выбрано для дальномера Порро, не должно изменяться с изменением расстояния рейки от инструмента, между тем, как в дальномере Эртеля эта длина изменяется. В этом и состоит существенное различие дальномеров Порро и Эртеля.

Так как в дальномере Порро часть  $l$  рейки, видимая в трубу между дальномерными нитями, пропорциональна расстоянию ее от середины инструмента, то угол зрения при точке  $M$  на оси трубы (черт. 85) постоянен <sup>1)</sup>, а потому Порро назвал эту точку аналлатической <sup>2)</sup>, а самый дальномер аналлатическим. В этом смысле передний фокус  $F$  объектива дальномеров Эртеля и Рейхенбаха есть также точка аналлатическая.

**§ 48. 0** **высотомерах.** Возможность определять с помощью сектора или вертикального круга относительные высоты двух данных точек (см. главу о нивелировании § 22) послужила поводом называть эклиметр, сектор, вертикальный круг и вообще приборы, допускающие определение с их помощью относительных высот данных точек, — **высотомерами**.

Высотомеры редко являются самостоятельными приборами, по большей же части они составляют приспособление к визирному снаряду теодолита.

Высотомер с зрительною трубою представляет собой или полный вертикальный круг, или часть круга в виде сектора, при чем при трубе (или при неподвижной алидаде вертикального круга) иногда помещается цилиндрический уровень.

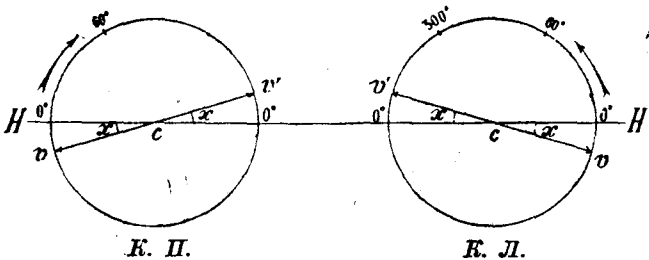
<sup>1)</sup> Лучи, идущие от  $a$  и  $b$  параллельно оси трубы, преломясь в стекле  $O'$  (черт. 85), сойдутся в фокусе  $F$  этого стекла и, пройдя через объектив, дадут лучи  $a'' A$  и  $b'' B$ . Продолжение этих лучей, очевидно, даст постоянную точку  $M$ .

<sup>2)</sup> Неизменно

Пусть высотомер представляет собою полный подвижной вместе с трубою вертикальный круг и неподвижную алидаду с прикрепленным к ней уровнем (черт. 193, ч. I) или уровнем, прикрепленным к подставке трубы (черт. 196, ч. I).

Разберем случай, когда круг разделен на 4 квадранта; каждый квадрант подразделен лишь по дуге в  $60^\circ$ . Подпись делений идет от обоих концов горизонтального диаметра, при котором стоят верньеры. Если смотреть на инструмент при круге вправо, то верхний левый и нижний правый квадранты имеют надписи от  $0^\circ$  до  $60^\circ$  по ходу часовой стрелки, а левый нижний и правый верхний квадранты имеют подписи также по ходу часовой стрелки, но от  $300^\circ$  до  $360^\circ$  (или, иначе, до  $0^\circ$ ). Таким образом, верхняя половина круга, над диаметром, имеет подписи  $0^\circ-60^\circ$  и далее  $300^\circ-360^\circ$ , а нижняя половина, под диаметром, налево—( $360^\circ-300^\circ$ ) и направо—( $60^\circ-0^\circ$ ). Благодаря такой надписи, когда диаметрально противоположные точки круга подписаны одинаково, по обоим верньерам всегда прочитывается одно и то же число градусов, при этом при *К. П.* углы повышения читаются между  $0^\circ$  и  $60^\circ$ , а углы понижения от  $300^\circ$  до  $360^\circ$ , т.-е. вместо углов понижения читается их дополнение до  $360^\circ$ . При *К. Л.* углы понижения будут читаться от  $0^\circ$  до  $60^\circ$ , (черт. 86), а углы повышения—между  $300^\circ$  и  $360^\circ$ , т.-е. не самые углы, а их дополнение до  $360^\circ$ . Таким образом, можно сказать, что если бы инструмент был абсолютно верен, то сумма отсчетов, сделанных при *К. Пр.* и *Кр. Л.* (при наведении креста нитей на один и тот же предмет, и при установке перед отсчетом по верньерам середины пузырька уровня алидады на середину трубки), должна быть равна  $360^\circ$ . Если же инструмент не верен, т.-е. визирная ось трубы не параллельна оси уровня алидады, при совпадении нулей верньеров с нулями вертикального круга, то необходимо узнать величину угла  $x$ , образуемого нулевым диаметром круга с линией нулей верньеров, при параллельности оси трубы и оси уровня или, иначе определить „место нуля“ вертикального круга.

Для отыскания на вертикальном круге места нуля, т.-е. того отсчета по верньерам  $v$ , при котором оптическая ось трубы должна быть параллельна



Черт. 86.

оси уровня, а в частном случае перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента, поступают так: движением алидадного круга по горизонтальному лимбу инструмента направляют трубу при *К. П.* на хорошо видимую точку *A* высокого предмета (черт. 86), приводя пузырек уровня, закрепленного при подставке

подъемными винтами на середину <sup>1)</sup> и, установив пересечение нитей на точку *A*, отсчитывают на вертикальном круге (*К. П.*) показание  $a$  верньера  $v$ .

Затем переводят трубу через зенит, и, наводя трубу на тот же предмет, предварительно повернув высотомер вокруг вертикальной оси инструмента, делают отчет  $a'$  по вертикальному кругу при *К. Л.* (черт. 86, правый) от  $0^\circ$  круга до нуля верньера, предварительно поставив пузырек уровня алидады на середину.

Обозначая  $a + 360 = K. П.$ , а  $a' = K. Л.$ , убедимся на числах, а также и по чертежу, что искомый угол наклона  $a$  равен полуразности отсчетов при

<sup>1)</sup> Если уровень на алидаде, вертикального круга, то микрометрическим винтом при алидаде (на черт. 196, ч. I, см. справа, внизу у вертикального круга).

круге право и круге лево или, короче, „круг право минус круг лево, деленное пополам“, а место нуля на лимбе будет равно полусумме отсчетов при круге право и при круге лево, или, короче, круг право плюс круг лево, деленное пополам“, т.-е.

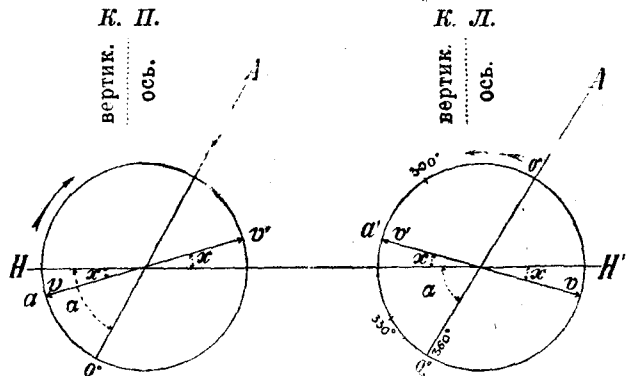
$$M. O. = \frac{K. П. + K. Л.}{2}$$

и

$$a = \frac{K. П. - K. Л.}{2}$$

также, что угол наклонения равен кругу право минус место нуля, или равен место нуля минус круг лево.

Применительно к чертежу 87 легко усмотреть, что между углом наклона  $a$ , ошибкою  $x$  и местом нуля  $M. O. = 360^\circ - x$ , а также и отсчетами  $a + 360^\circ = K. П.$  и  $a_1 = K. Л.$  существуют соотношения



Черт. 87.

Левый чертеж 87 . . . . .  $a = a + x$  . . . . . (1)

Правый чертеж 87  
(Деления идут против хода часовой стрелки) } . . . . .  $360^\circ - a - x = a_1$  . . . . . (2)

Здесь не надо забывать, что отсчеты делаются от нуля круга до нуля верньера по направлению подписи делений, которая при *К. П.* на чертеже 87 идет по ходу часовой стрелки, а при *К. Л.* (т.-е. после поворота круга вокруг вертикальной оси) против хода часовой стрелки. На чертеже направление подписи отмечено стрелочками.

Сложив равенства (1) и (2), найдем:

$$360^\circ - x = a + x + a_1.$$

Откуда:  $360^\circ - a - a_1 = 2x$  я  $x = \frac{360^\circ - a - a_1}{2}$ .

По чертежу 87  $M. O. = 360^\circ - x$ , следовательно, найдем по отсчетам:

$$M. O. = 360^\circ - x = 360^\circ - \frac{360^\circ - a - a_1}{2} = \frac{720^\circ - 360^\circ + a + a_1}{2}$$

или  $M. O. = 360^\circ - x = \frac{(360^\circ + a) + a_1}{2} = \frac{K. П. + K. Л.}{2}$  . . . . . (I)

Вычитая из (2) равенства равенство (1), найдем:

$$360^\circ - 2a - x = a_1 - a - x \text{ или } 2a = (360^\circ + a) - a_1.$$

Откуда:  $a = \frac{K. П. - K. Л.}{2}$  . . . . . (II)

Или непосредственно из равенств (1), а затем и из (2):

1)  $a = a + (360^\circ - M. O.)$  или  $a = (360^\circ + a) - M. O. = K. П. - M. O.$  . (III)

2)  $360^\circ - x - a = a_1$  или  $M. O. - a = a_1$ ; откуда:  $a = M. O. - K. Л.$  . (IV)

Примеры: 1) При *Кр. Пр.* отсчет  $a_1 = 2^\circ 18'$ , а при *К. Л.* отсчет  $a_2 = 357^\circ 42'$ , тогда  $M. O. = 360^\circ$  или  $0^\circ$  и  $a = +2^\circ 18'$ .

II)  $\alpha_1 = 359^\circ 12'$  и  $\alpha_2 = 0^\circ 40'$ , место нуля

$$M. O. = \frac{0^\circ 40' + 360^\circ + 359^\circ 12'}{2} = 359^\circ 56' \text{ (или } x = 0^\circ 44') \text{ и } \alpha = K. II. - M. O. = 359^\circ 12' - 359^\circ 56' = -0^\circ 44'; \text{ или } M. O. - Kp. Л. = \alpha = 359^\circ 56' - (0^\circ 40' + 360^\circ) = -0^\circ 44'.$$

Чтобы обратить *M. O.* в нуль, нужно, высчитав истинное значение  $\alpha$ , напр., при *Kp. Пр.* направить крест нитей трубы на предмет, далее микрометренным винтом при алидаде вертикального круга поставить 0 верньера на отсчет  $\alpha$ , а затем, отпустив у уровня закрепительный винт, помещающийся на рычаге алидады, поставить пузырек уровня на середину трубки, и у уровня винт вновь закрепить. Если уровень имеет двойной (слева и справа от рычага) исправительный винт, то исправление (постановка пузырька на середину трубки) делается этими двумя винтами<sup>1)</sup>.

§ 49. Применение дальномера-высотомера к вертикальной съемке. Так как ближайшая цель вертикальной съемки заключается в определении относительных высот точек земной поверхности, то дальномеры-высотомеры вполне применимы для вертикальной съемки, так как с помощью их легко определяются расстояние *D* и угол наклона  $\alpha$  (черт. 88), по которым относительная высота *h* (или разность уровней) точка *B* над *A* определяется по формуле<sup>2)</sup>:

$$h = D \operatorname{tg} \alpha \dots \dots \dots (h)$$

<sup>1)</sup> Если этого сделать нельзя, то во все отсчеты по вертикальному кругу приходится вводить поправку „за место нуля“:  $\alpha = K. II. - M. O. = M. O. - K. Л.$

Примечание. Если установить аналогию между измерением углов наклоения вертикальным кругом и измерением горизонтальных углов на лимбе, то, как известно, для получения горизонтального угла необходимо сделать два последовательные наведения на две точки, определяющие угол, и затем составить разность отсчетов (см. § 123, ч. II). Для углов наклоения один отсчет будет соответствовать наведению на ту точку, угол наклоения которой определяется, а другой — горизонтальному положению визирной оси трубы. Если подпись делений круга идет от 0° до 360° слева направо (по ходу часовой стрелки) и вращается круг вместе с трубой, то при *K. II.* для того, чтобы наведение сделать по направлению подписи делений, необходимо при углах повышения сперва сделать запись, соответствующую *M. O.*, т. е. горизонтальному положению оптической оси, а затем уже ее наклонному положению, соответствующему наведению на предмет, и из 2-го отсчета вычесть первый. При *K. Л.* подпись пойдет в противоположную сторону, а запись и вычитание придется делать в обратном порядке.

Таким образом, при *K. II.* угол наклона  $\alpha$  по неизвестному *M. O.* и отсчету  $\alpha_1$  будет:

$$\alpha = \alpha_1 - M. O. \dots \dots \dots (1)$$

а при *K. Л.* он найдется по отсчету  $\alpha_2$ , как

$$\alpha = M. O. - \alpha_2 \dots \dots \dots (2)$$

По вычитании находим:

$$0 = \alpha_1 - M. O. - M. O. + \alpha_2$$

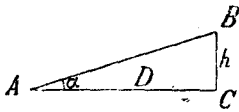
$$\text{Откуда определится } M. O. = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}, \dots \dots \dots (3)$$

т. е. *M. O.* равно полусумме отсчетов при *K. II.* и при *K. Л.*

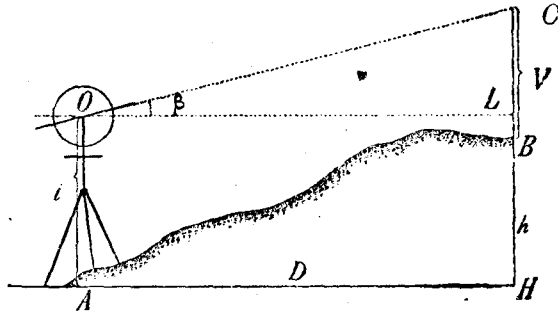
Само собою разумеется, если определяется абсолютная величина  $\alpha$  по формуле (1) и по (2), то вычитание числовых величин возможно только тогда, когда не упущено из вида, что нуль круга прошел через нуль верньера, и числовая величина отсчета увеличена на 360°. Когда *M. O.* почти равно нулю, то по (2) угол  $\alpha = (M. O. + 360) - \alpha_2$  и согласно равенства (3) получим  $M. O. = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 - 360}{2} \dots \dots (a)$ . Если же *M. O.* близко к 360°, то по (1) угол  $\alpha = \alpha_1 + 360 - M. O.$  и потому по (3)  $M. O. = \frac{\alpha_1 + \alpha + 360}{2} \dots (b)$ . Так как, прибавляя 360° к *M. O.*, мы *M. O.* не изменим, то формулу (a) преобразуем в (b), если к (a) прибавим 360°.

<sup>2)</sup> Величина *h* тем точнее определяется, чем более точно измерено *D* и определено  $\alpha$ . От ошибок в *D* и  $\alpha$  зависит ошибка в *h*.

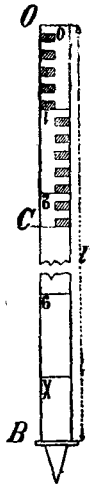
На практике при отыскании  $D$  и  $\alpha$  поступают следующим образом: если  $AB$  (черт. 89)—данная линия местности, то в одном ее конце  $A$  устанавливают дальномерную трубу с высотомером (вертикальным кругом), в другой— $B$  посылают рабочего с рейкой, длина  $V$  которой известна (или заранее ставят сигнал—веху известной длины  $V$ ). Расстояние  $D=AH$  определяют дальномером (если оно еще неизвестно из горизонтальной съемки), а угол наклона меряют по вертикальному кругу, направляя крест нитей или на вершину  $C$  вертикально установленной рейки (вехи), или вообще на произвольную точку  $C$  рейки с делениями. В последнем случае по рейке в точке  $C$  делают отсчет по средней горизонтальной нити сетки трубы. В точке  $A$  измеряют высоту  $i=A'O$  инструмента (от земли до горизонтальной оси вращения трубы).



Черт. 88.



Черт. 89.



Черт. 90.

Искомое превышение  $h=BH$  найдется по формуле:

$$BH = CL + LH - CB \text{ или}$$

$$h = D \operatorname{tg} \beta + i - V \dots \dots \dots (h')$$

Эта формула показывает, что в том случае, когда  $V=i$ , т.е. когда высота инструмента отложена на вехе, то  $i-V=0$ , и угол  $\beta$  обращается в угол наклона а линии  $AB$  местности, а член  $D \operatorname{tg} \beta$  дает искомое превышение.

На черт. 90 показана дальномерная рейка.

§ 49 bis. 0 погрешности в  $h = D \operatorname{tg} a$ . Перейдем к отысканию ошибки  $S$  в  $h$  в зависимости от погрешностей: 1)  $\Delta$  в  $D$  и 2)  $x$  в  $a$ , т.е. вместо  $h = D \operatorname{tg} a$  возьмем равенство:

$$h + S = (D + \Delta) \operatorname{tg} (a + x)$$

и займемся нахождением  $S$  по  $\Delta$  и по  $x$ .

Так как ошибки  $\Delta$  и  $x$  по своей природе очень малы и стремятся к нулю с увеличением точности измерения  $D$  и  $a$ , то проще всего найти  $S$  помощью дифференцирования формулы  $h = D \operatorname{tg} a$

$$dh = D \operatorname{tg} a + \operatorname{tg} a \partial D$$

или

$$dh = D \frac{\partial a}{\cos^2 a} + \operatorname{tg} a \cdot \partial D.$$

Здесь  $dh = S$ ;  $da = x$  и  $dD = \Delta$ .

Следовательно,

$$S = D \frac{x}{\cos^2 a} + \Delta \cdot \operatorname{tg} a \dots \dots \dots (S)$$

Переходя же от градусной величины  $x$  к линейной, найдем (см. часть I. Введение):

$$S = \frac{D}{\cos^2 a} \cdot x \cdot \sin 1' + \Delta \cdot \operatorname{tg} a.$$

Если допустим, что  $\Delta = \frac{1}{n} D$ , то легко усмотреть, что  $S$  пропорционально  $D$ :

$$S = D \left( \frac{x \cdot \sin \cdot 1'}{\cos^2 \alpha} + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{n} \right),$$

т. е. для уменьшения ошибки  $S$  в  $h$  по формуле  $h = D \operatorname{tg} \alpha$  нужно брать  $D$  не особенно большим.

Так, если  $\alpha = 2^\circ$ ;  $x = 2'$ ;  $n = 500$  и  $S = 0,1$  м, то простой подстановкой в формулу для  $S$  данных значений найдется из нее  $D =$  около 100 м.

Для дальномера  $\Delta = \frac{1}{125} D$ ; при  $x = 1'$ , при  $\alpha = 5^\circ$ , и  $D = 100$  м,  $S$  выходит равным:

$$S = 0,03 \text{ м или } 3 \text{ см.}$$

**§ 50.** Порядок работ при вертикальной съемке, производимой дальномерами-высотомерами. В статье о нивелировании поверхности было указано, что для того, чтобы снятый план возможно лучше давал понятие о рельефе местности, следует данный участок заключать мысленно в многоугольник, съемкою отдельных сторон которого и следует заняться. Указанные в § 36 приемы основаны на выполнении угломерной съемки в связи с нивелировкой. Такой порядок работ и продолжителен, и дорог, а потому его заменяют, особенно в гористой местности, съемкой, основанной на употреблении высотомера-дальномера (§ 49). В основании этого рода съемки лежит применение формулы  $h = D \operatorname{tg} \alpha + i - V$  (см. формулу ( $h$ ) § 49 и относящиеся к ней замечания). Самая работа начинается с того, что сперва по этой формуле определяют взаимные превышения, а затем и альтитуды всех основных или опорных точек съемки, так как основные правила съемки, переходить от общего к частному, сохраняются и здесь.

Основные точки, если работа ведется на большом участке, со значительной шириной, выбираются по осям хребтов и лощин, преимущественно на вершинах гор, у устья лощин и на т. п. характерных точках рельефа; они замечаются высокими вежами или сигналами, так как они значительно удалены друг от друга (от 400 до 1000 м) и для них определяются отметки вершин сигнала и отметки их подошв на земле. Взаимное положение основных точек определяется горизонтальной съемкой способом засечек или обходом. Для участка небольших размеров довольствуются меньшим числом основных точек, и их ничем особенно (кроме вбитого в землю кола) не замечают. В этом случае основными точками являются станции (точки постановок инструмента), при чем для определения взаимного их положения применяется исключительно способ обхода.

Для выражения неровностей местности данного участка горизонталями недостаточно знать только альтитуды основных точек, напротив того, необходимо знать альтитуды возможно большего числа характерных точек земной поверхности; это число должно быть таково, чтобы линии земной поверхности между теми точками, между которыми будут проводить горизонтали, могли быть рассматриваемы за прямые линии; при съемке эти точки делаются станциями и пикетами. Пикетами называются те из них, на которые ставятся рейки, с целью определения их альтитуд.

Определение альтитуд пикетов производится применением формулы ( $h$ ) § 49 следующим образом: на местности намечают наиболее характерные точки, напр., вершины гор, их подошвы, устья лощин, седловины и т. п. и делают их станциями, т. е. становятся в них с инструментом и связывают эти точки (станции) с основными точками. С этою целью измеряют со станции углы наклонения на 2 или на 3 основных точки и определяют расстояние <sup>1)</sup> от станции

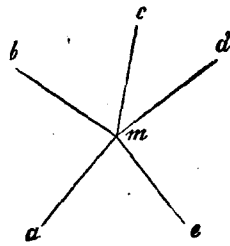
<sup>1)</sup> Станция определяется относительно основных точек засечкою назад.



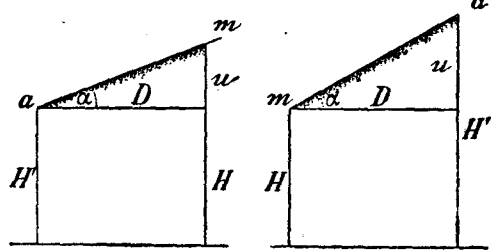
до основных точек, если оно неизвестно из горизонтальной съемки. Альтитуду станции  $H_0$  вычисляют по альтитудам  $H_0$  основных точек, пользуясь формулой ( $h'$ ) того же § 49, и из полученных результатов берут среднее арифметическое, которое принимают за окончательное значение альтитуды станции. Затем со станции  $m$  (черт. 91) по направлению скатов (и при том по возможности в концах их) назначают на местности пикеты  $a, b, c, \dots$  и ставят на них последовательно рейку, дальномером определяют расстояние  $D$  до них от точки  $m$ , а по высотомеру измеряют соответственно углы наклона  $\alpha$ .

Этих данных совершенно достаточно для определения альтитуд пикетов.

Пусть  $ma$  (черт. 92) есть профиль земной поверхности по линии  $ma$ ,  $H$  — альтитуда станции,  $H'$  —



Черт. 91.



Черт. 92.

альтитуда пикета; тогда из левой части чертежа видно, что  $H' = H - u$ , где  $u = D \operatorname{tg} \alpha$ ; при местности же повышающейся (правая половина чертежа) ясно, что  $H' = H + u$ .

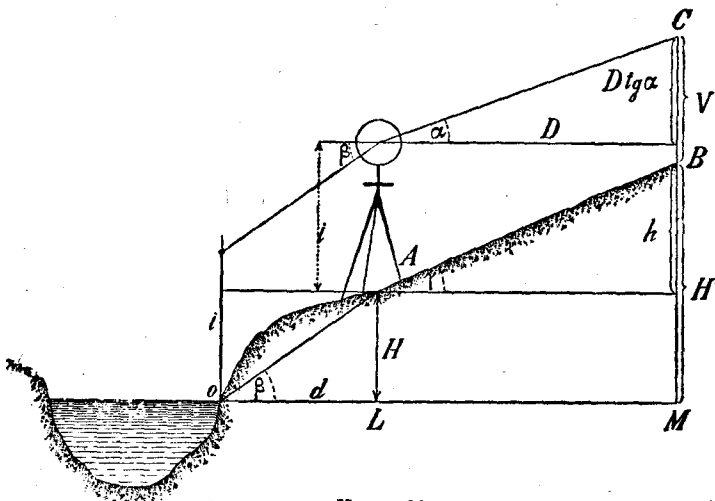
Если же условимся углы повышения означать знаком  $+$ , а углы понижения  $-$ , то формула будет иметь общий вид:

$$u = \pm D \operatorname{tg} \alpha \text{ и } H' = H \pm u \dots \dots \dots (H)$$

Из всего только-что изложенного следует, что на данном участке сперва намечаются основные точки, затем станции и, наконец, с каждой станции набирается ряд пикетов. На участке незначительных размеров можно, как уже было замечено, не прибегать к системе опорных точек, а за них принять станции.

Определив на каждой станции ее альтитуду и по ней альтитуды всех связанных с этой станцией пикетов, переходят затем на следующую станцию и так продолжают до тех пор, пока вся местность будет покрыта пикетами.

Первый пикет обыкновенно берется у поверхности воды.



Черт. 93.

Из чертежа 93 видно, что альтитуда  $H$  первой станции, т.-е. точки  $A$ , где находится инструмент, может быть найдена по альтитуде первого пикета.

Проще всего  $H$  определится, если на рейке отложена высота инструмента  $i$ , и угол наклона  $\beta$  измерен по высотомеру, направляя крест нитей на метку, сделанную на рейке, так как  $AL = OL \cdot \operatorname{tg} \beta$ , т.-е. искомое  $H = d \cdot \operatorname{tg} \beta$ . Зная величину альтитуды  $H$ , легко усмотреть, что альтитуда  $H$  первого сигнала

(основной точки) найдется по альтитуде первой станции, а именно, для местности повышающейся  $H' = H + h$ , а так как  $h = i + D \operatorname{tg} a - V$ , то

$$H' = H + i + D \operatorname{tg} a - V.$$

Само собою разумеется, что альтитуда  $MC$  вершины  $C$  сигнала найдется так:

$$MC = H' + V = H + i + D \operatorname{tg} a.$$

Здесь  $a$  — угол наклонения, измеренный на вершину сигнала, а  $D$  — расстояние, или взятое из горизонтальной съемки, или измеренное по дальномеру, т.-е.  $D = a \cos^2 n$ , здесь  $n$  есть угол наклонения линии  $AB$  к горизонту, а величина  $a$  есть отсчет, сделанный по дальномеру [на вертикально стоящей рейке. Для местности понижающейся формула остается та же, но в ней  $a$  должно быть отрицательно и  $h$  должно быть взято со знаком минус:

$$-h = -\{D \operatorname{tg}(-a) + i - V\}, \text{ т.-е. } (-h) = -D \operatorname{tg} a - i + V.$$

Если вообразим в точке  $B$  — инструмент и в точке  $A$  — вежу с высотой  $V$ , то чертеж даст, если через вершину инструмента провести горизонтальную линию, что по абсолютной (без знака) величине:

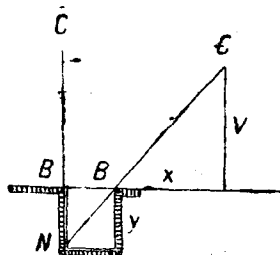
$$h + i = V + D \operatorname{tg} a \text{ или } h = D \operatorname{tg} a - i + V.$$

Обратно, — альтитуда станции по альтитуде сигнала с высотой  $V$  найдется по формуле:

$$H = (H' + V) - (D \operatorname{tg} a + i) \dots \dots \dots (H_{cm})$$

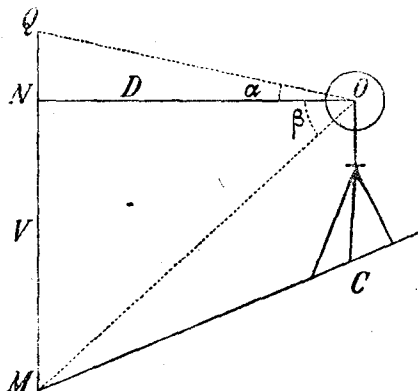
*Пример.*  $H' = 20,00$ , высота  $V = 3,98$ ;  $D \operatorname{tg} a = 0,43$  и  $i = 0,67$ , тогда  $H_{cm} = (20,00 + 3,98) - (0,43 + 0,67) = 22,88$ .

Высота сигнала  $V$  или измеряется при постановке сигнала, или определяется путем вычисления. В первом случае перед постановкою сигнала измеряют длину его  $NC$  (черт. 94) и из нее скидывают глубину  $y$  ямы, так что принимают  $BC = NC - y$ .



Черт. 94.

Если сигнал устанавливается несколько наклонно, то к вершине  $C$  привязывается бечевка с тяжелой гирей и на местности измеряется катет  $x$ . Гипотенуза  $BC$  принимается  $NC - y$ , а потому искомая высота  $V = \sqrt{BC^2 - x^2}$ .



Черт. 95.

Если высота  $V$  не может быть получена непосредственным измерением, то как видно из чертежа 95, она найдется как сумма  $MN + NQ = D \operatorname{tg} \beta + D \operatorname{tg} a = D \cdot (\operatorname{tg} a + \operatorname{tg} \beta)$ . Здесь  $a$  и  $\beta$  углы наклонения, измеренные на вершину сигнала и на его основание или на точку, взятую близ основания; при чем высота ее над основанием известна. При этом знак  $\beta$  не принимается в расчет.

Из формулы:

$$H' = H + i + D \cdot \operatorname{tg} a - V \dots \dots \dots (I)$$

легко найти по данному  $H'$  (или все равно  $H' + V$ ) альтитуду  $H$  любой станции; она будет:

$$H = H' + V - i - D \cdot \operatorname{tg} a \dots \dots \dots (II)$$

Применяя формулы (I) и (II), не следует забывать знак у угла  $\alpha$ , а следовательно, у члена  $D \operatorname{tg} \alpha$ . Он будет  $+$  для угла повышения и  $-$  для угла понижения <sup>1)</sup>.

Ко всему этому достаточно прибавить, что по альтитуде первой станции можно найти альтитуды лежащих вокруг нее и видимых из нее основных точек: после чего по ним — определить вторую станцию и т. д.

**§ 51.** Цель съемки тахеометром, ее особенность, преимущества и недостатки. Тахеометрическая съемка, как уже было сказано в § 44, преследует двойную цель, — одновременно, а главное быстро, производить и горизонтальную и вертикальную съемки. Невысокая, сравнительно с нивелирными работами, ее точность вполне достаточна для некоторых случаев практики и вполне вознаграждается быстротой получаемых результатов.

Главнейшая особенность тахеометрии состоит в получении со станции посредством одного визирирования на пикет всех трех элементов, определяющих положение пикета относительно станции, т. е. расстояния, азимута и относительной высоты.

Результаты полевой работы выражаются числовыми данными в полярных координатах, т. е. расстоянием и дирекциональным углом (азимутом) и отметкой. Необходимые вычисления производятся при этом логарифмически или с помощью таблиц, или с помощью масштаба высот, или с помощью так назыв. вычислительной линейки. Самый порядок работы дает возможность контролировать получаемые данные как во время полевых действий, так и дома, при составлении нивелирного плана.

Тахеометрические работы требуют небольшого числа рабочих рук, а потому дешевле. Тахеометрия предложена была в Италии в 1823 году миланским профессором Порро; после этого она получила широкое применение не только в Италии, но во Франции и Испании. За последнее время наибольшего своего развития она достигла во Франции, где с любовью и полным успехом занимаются усовершенствованием тахеометров. Она получила там свое применение при кадастровых и военных съемках. Сравнительно с другими родами съемки, где горизонтальная съемка ведется отдельно от вертикальной, тахеометрия сводит время полевой работы, как наиболее дорогое, к *minimum* у, а следовательно, обходится дешевле.

**§ 52.** Тахеометры. Употребляющийся при одновременной горизонтальной и вертикальной съемке полевой инструмент носит название тахеометра.

Первоначально устроенный по идее Порро, тахеометр имел сложную конструкцию и малую устойчивость и, главное, мог быть поверяем только механиком. Эти недостатки устранены в новейших тахеометрах, изготовляемых по идее французского инженера Муано, в общих чертах имеющих вид теодолита, снабженного буссолью, дальномером и высотометром.

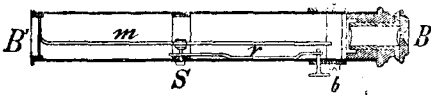
Всякий повторительный и даже простой теодолит, в трубе которого имеются дальномерные нити, легко обращается в тахеометр, если к нему присоединить буссоль и вертикальный круг (или сектор). К такому теодолиту, помимо дальномерной рейки, должно быть приложено приспособление для вычисления (по отсчетам, сделанным на рейке и вертикальном круге) горизонтальных расстояний и относительных высот (в виде таблицы высот, масштаба высот или, наконец, логарифмической линейки).

Во избежание этих приспособлений для вычислений, Крейтер, а за ним Вагнер, Пуллер, Тише, Шарно, Санге, Гаммер, а также и другие лица предложили тахеометры, автоматически дающие горизонтальное и вертикальное расстояние одной точки над другой. Существенным недостатком таких тахеометров является их громоздкость, благодаря добавочным частям, предназначенным непосредственно давать требуемые от тахеометра величины: горизонтальное проложение и разность высот.

<sup>1)</sup> Для угла понижения  $\beta$  (черт. 89 и 93) легко вывести, что  $H + i = H' + V + D \operatorname{tg} \beta$ .

Тахиметрические теодолиты были уже ранее нами (по частям) рассмотрены: по чертежам, части 1-й курса 180, 192, 193 и 196. Что же касается до тахиметров то они отличаются от только-что указанных теодолитов главным образом устройством вертикального круга и буссоли.

Буссоль тахиметра Муано по внешнему виду представляет трубочку  $BB'$ , помещенную под лимбом и наглухо с ним скрепленную. Внутреннее ее устройство изображено на черт. 96; внизу трубки на острие шпильки  $S$  помещена



Черт. 96.

магнитная стрелка  $m$  с загнутым кверху северным концом; при смотреии через окуляр он проектируется на шкалу, деления которой награвированы на матовом стекле объектива  $B'$ . Линия, соединяющая острие шпильки  $S$  со средним штрихом шкалы, должна быть параллельна коллимационной плоскости трубы. При чтении азимута по лимбу (см. ч. I, § 132) тахиметра, для приведения в совпадение загнутого конца стрелки со средним штрихом шкалы, вращают окулярную трубочку  $bb$  буссоли справа налево; вследствие чего опустится конец рычага  $r$ , и стрелка сядет на шпиль, после этого вращают лимб  $L$  около его вертикальной оси настолько, чтобы загнутый конец стрелки совпал со средним штрихом шкалы.

Неподвижный алидадный круг высотомера (т. е. вертикального круга) устроен так, что нули его верньеров совпадают со штрихами 100 и 300 град ( $90^\circ$  и  $180^\circ$ ) вертикального круга, когда оптическая ось трубы  $TT$  тахиметра параллельна оси уровня  $u$ , прикрепленного к алидаде (иногда уровень прикрепляется к подставке трубы); таким образом, по вертикальному кругу получаются (по верньеру при окуляре) отсчеты  $= 100g + a$ . При алидаде помещаются исправительные винты  $y, y'$ , к головкам которых имеется особый ключ для надлежащей их установки <sup>1)</sup>.

§ 53. Порядок производства тахиметрической съемки. Съемка (горизонтальная и одновременно вертикальная) тахиметрами обыкновенно делается целою партией техников: на одного из них, начальника партии, возлагается главнейшая часть работы — выбор мест станций (для тахиметра) и пикетов (для реек). Начальник партии руководит общим ходом всей работы; он же ведет пикетажную книжку или абрис (брульен или кроки). Другой техник (которого назовем наблюдателем), находится постоянно при инструменте; он наводит трубу последовательно на выставляемые начальником партии рейки и делает на них отсчеты, им же прочитываются отсчеты на горизонтальном и вертикальном кругах и диктуются третьему съемщику (секретарю), заносящему их в журнал измерения и производящему в промежутках времени вычисления (горизонтальных расстояний и высот) по логарифмической лпнейке. Еще лучше, если эту последнюю работу производит отдельное лицо (вычислитель), также находящийся при инструменте. В случае недостатка съемщиков вся работа может быть возложена на два и даже на одно лицо, но понятно, что это неминуемо отразится на успехе дела. Для быстроты полезно, если съемщики, находящиеся при инструменте, меняют свои обязанности. Начальник партии должен иметь в своем распоряжении двух рабочих-реечников; собственно число их зависит от характера местности — в местности открытой достаточно два и даже одного реечника, а в местности пересеченной необходимо число их увеличивать. Наконец, для перенесения инструмента с одной станции на другую, для защиты его зонтом от солнечных лучей и дождя и для разных мелких услуг по съемке при инструменте должен

<sup>1)</sup> Перед работами тахиметр должен быть правильно установлен. Установка заключается: 1) в определении постоянных дальномера  $k$  и  $s$ , 2) в определении места нуля  $M$  О вертикального круга и 3) в установке буссоли, чтобы нулевой ее диаметр был параллелен коллимационной плоскости трубы.

быть еще один рабочий (сигналист) с флагами стольких цветов, сколько реечников.

Самая работа на местности состоит в выборе, обозначении и определении станции и пикетов.

Перед началом работ обзревается вся местность; это делается для того, чтобы с нею ознакомиться и составить себе общий план действий. Станции выбираются так, чтобы они были, по возможности, равномерно распределены по всему снимаемому участку и представляли прочное место для постановки инструмента, а также были удобны для обозрения той части местности, на которой будут ставиться кругом пикеты.

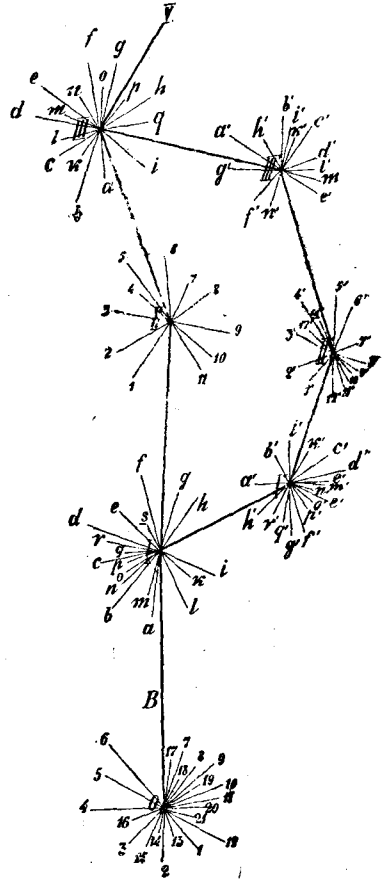
Для определения, как взаимного горизонтального положения, так и относительных высот станций, употребляются приемы более точные, чем для пикетов. Так между некоторыми станциями можно произвести геометрическую нивелировку. Если требуется не высокая точность от работы, то поверхность всего снимаемого участка покрывается полигонами, которые и снимаются тахеометром постепенно один за другим:

При обходе полигона производится съемка горизонтальная и вертикальная не только по направлению сторон его, но и по всей близ лежащей вокруг станций местности при помощи пикетов. Величина невязки в периметре и в высоте исходной точки каждого сомкнутого полигона позволит судить о степени точности его съемки.

При съемке подробностей внутри полигонов проходят по ломаным линиям (магистральям), соединяющим вершины снятых полигонов. При назначении и съемке полигонов должно стараться направлять их стороны по дорогам, межникам, лугам, выгонам и т. п., точно так же и при назначении магистралей. Если две и более магистрали пересекаются, то за истинную высоту точки пересечения принимают среднюю арифметическую величину.

Станции берутся так, чтобы две смежные из них были взаимно видимы. Длины сторон при определении их дальномером зависят, главным образом, от силы зрения трубы инструмента, но во всяком случае они не должны превышать 300 м, обычно около 200 м. Такой полигонный ход, называемый осью или базисной линией, пролагается по середине полосы, чтобы взятые в обе стороны ее пикеты не слишком от нее удалялись (не более 200 м, обычно 100 — 120 м). Если пикеты не достаточны для съемки какой-нибудь подробности, то берут вспомогательные станции (черт. 97), как напр., I', которая связана с базисною линиею расстоянием I—I' я углом II, I, I'. Если и отдельных вспомогательных станций все-таки недостаточно, то проводится вариант I', II', III' III, с постановкою инструмента в вершинах его углов.

Главные станции базисной линии снимаются последовательным переходом от одной к другой, вспомогательные же станции и варианты снимаются вслед за окончанием работы на ближайших главных. Линии, соединяющие две соседние станции, могут не принадлежать одному и тому же скату. Так, между двумя станциями, из которых каждая выбрана на вершине горы, может находиться лощина.



Черт. 97.

Кругом каждой станции назначаются пикеты, которыми определяются: 1) контуры местности, и 2) ее неровности. Пикеты должны быть настолько близки между собою, чтобы промежуток между двумя ближайшими из них имел один скат или, по крайней мере, незначительные его изменения; это даст возможность назначить горизонтали. При определении относительного положения пикетов, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях, на них ставятся рейки.

Станции на местности обозначаются деревянными кольями, выступающими над земною поверхностью примерно на 0,2 метра. На стесанной стороне кола пишется номер станции соответственными римскими цифрами. Пикеты же на местности совсем не обозначаются; их номера или буквы записываются в журнал измерения и в кроки.

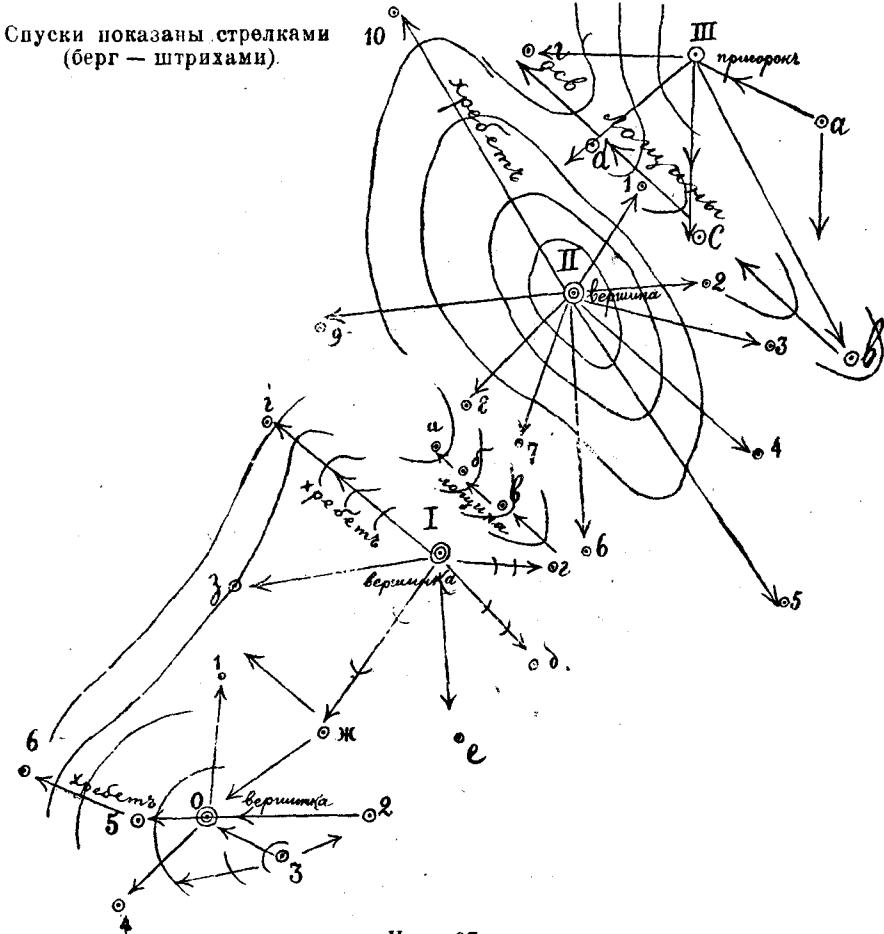
§ 54. Кроки <sup>1)</sup> есть тот же абрис, который ведется начальником партии при назначении им на местности станций и пикетов. Отличается же он от абриса тем, что только в соединении с журналом, который ведется наблюдателем, может служить для составления плана снятой местности. Также и один журнал без кроки не может служить для составления плана. Это потому, что на кроки хотя и не имеется некоторых чисел, необходимых при составлении плана (напр., взаимных расстояний между станциями, расстояний между станциями и пикетами, углов между направлениями на пикеты), но за то начальник партии должен на нем выразить характер неровностей снимаемого участка. Выразить характер местности можно: 1) или указывая стрелками направление скатов между отдельными пикетами, дабы при составлении плана можно было варанее знать,—какие пикеты возможно соединять по парно,—для расчета и проведения на плане горизонталей, 2) или проведением на-глаз главных горизонталей отдельных неровностей (хребтов и лощин), которые бы впоследствии указывали чертежнику при назначении им горизонталей на плане, между какими пикетами местность можно рассматривать за часть плоскости и где этого допустить нельзя. Кроки должно составлять в возможно крупном масштабе, при чем нет надобности заботиться о сохранении масштаба для всего кроки; напротив, он находится в полной зависимости от большего или меньшего числа подробностей на снимаемом участке. На кроки должны быть обозначены все снятые контуры, при чем избегают излишних подробностей, напр., при съемке проселочной дороги пикеты достаточно брать на середине ее. На каждой странице кроки должны поместить одну или несколько станций со всеми снятыми с них контурами, но нельзя размещать часть контура на одной странице, а другую часть на следующей. На каждой странице нужно обозначить последнюю станцию предыдущей страницы и те из пикетов, вблизи которых проведены горизонтали, продолжающиеся на следующей странице. Если с базисной линии виден один какой-нибудь фас сооружения на местности и нужно будет изобразить его на плане, то остальные стороны сооружения должны быть сняты начальником партии при помощи имеющейся у него карманной буссоли и рулетки или шагами, и все сделанные измерения должны записать на кроки.

§ 55. Порядок наблюдений инструментом для определения относительного положения станций и пикетов следующий: придя с тахеометром на начальную станцию (0) (черт. 97а и 97б), устанавливают его на ней надлежащим образом, т.-е.: 1) центрируют и приводят в горизонтальное положение, затем 2) измеряют высоту инструмента и 3) ориентируют лимб, т.-е., смотря в окуляр буссоли, вращают лимб грубым и микрометренным движением настолько, чтобы северный конец стрелки остановился на среднем штрихе шкалы объектива буссоли; далее 4) определяют место нуля вертикального круга, делая

<sup>1)</sup> Фр. слово Croquis—очерк, эскиз.

наведения трубы на хорошо видимый предмет, напр., яблоко под крестом колокольни, при *Кр. Пр.* и *Кр. Л.*; 5) вращают алидаду до наведения трубы на следующую станцию (I), на которой предварительно по указанию начальника партии выставлена рейка (иногда с меткою высоты инструмента) и наводят нижнюю дальномерную нить на нулевой (или иной, подписанный цифрой) штрих рейки; после этого делают на рейке по верхней и средней нити отсчеты

Полевые кроки тахиметрической съемки.



(расстояния), 6) отсчеты на вертикальном и 7) горизонтальном кругах, 8) переводят трубу через зенит, вновь наводят нижнюю нить сетки на тот же штрих рейки и вторично делают отсчеты на кругах. Далее определяется положение пикетов 1, 2, 3, 4, 5 и 6 измерением расстояний, азимутов и углов наклона.

На станции I инструмент центрируют, приводят в горизонтальное положение и ориентируют лимб по буссоли; ослабляют нажимательный винт алидады и трубы, визируя на предыдущую станцию (0) определяют обратный азимут линии 0, I, делают отсчеты на рейке, стоящей на станции 0, и отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругу. После этого визируют и делают отсчеты на станцию II, на которой начальник партии уже поставил реечника. Далее делают направления на рейки, выставленные на пикетах кругом станции I по указанию начальника партии. Вычислитель

в промежутке времени между занесениями чисел в журнал сличает азимуты направлений I, 0 и 0, I и по новым данным определяет опять для линии I, 0 горизонтальное расстояние и относительную высоту, которые и сравнивает с соответственными величинами, полученными на станции 0 (см. журнал наблюдений).

Журнал наблюдений.

15 июля 1923 года.

Название наблюдаемых точек.	Отсчет <i>a</i> по рейке.	Отсчет на		Место нуля.	Угол $\alpha$ наклон.	Горизонт. расстояние $d = a \cos^2 \alpha$ .	Превышен. $U = d \operatorname{tg} \alpha$ при $i = V$ .	Альтитуда.		Примечание.
		Вертик. круге.	Горизонт. круге 1).					Станция.	Пикета.	
	Станция №	0.			Высота инструмента:	$i = 1,5$ метра.				
		<i>Кр.</i>	<i>Пр.</i>					10,00 м		Длина V рейки = 3,12 метра.
Ст. I	108	0°6'	328°45'	—	+ 0°7'	108,25	+ 0,25		10,25	
		4'	44'	359°58'						
		<i>Кр.</i>	<i>Лев.</i>							
Ст. I	108,5	359°50'	328°45'							
		52'	46'							
1 *)	45	358°4'	76°32'	—	+1°54'	45	+ 1,5	—	11,50	1) На верш. рейка $i - V = -1,62$ м.
		4'	33'							
2.	59	0°20'	174°13'	—	-0°23'	69	- 0,4	—	9,60	—
		22'	15'							
3.	63	359°10'	283°0'	—	+0°47'	63	+ 0,8	—	10,80	—
		12'	12'							

Если разность азимутов направлений 0, I и I, 0 отличается от 180° или 200g менее, чем на  $\frac{1^{\circ}}{2}$  или 0,50g, то она может быть допущена. Разница же большая допускается только тогда, когда она происходит от действия на стрелку какой-нибудь возмущающей причины, иначе она указывает на существование грубой ошибки или в ориентировке инструмента, или в отсчете на горизонтальном лимбе.

Точно так же берутся разницы и в горизонтальном расстоянии, и в относительной высоте, которые ни в каком случае не допускаются более 2 м для расстояний и  $dh = D \cdot \sin I'$  для высот (для одномоментного верньера вертикального круга).

В случае недопускаемых разниц, проверив на станции I отсчеты при направлении на станцию 0 и окончив на ней (I) все наблюдения, возвращаются на станцию 0 и проверяют отсчеты при направлении трубы на станцию I. Вокруг станции I, также определяется положение пикетов, *a, б, в, г, д, е, ж, з и и.*

Указанным путем продолжают работу на II, III, IV и т. д. станциях.

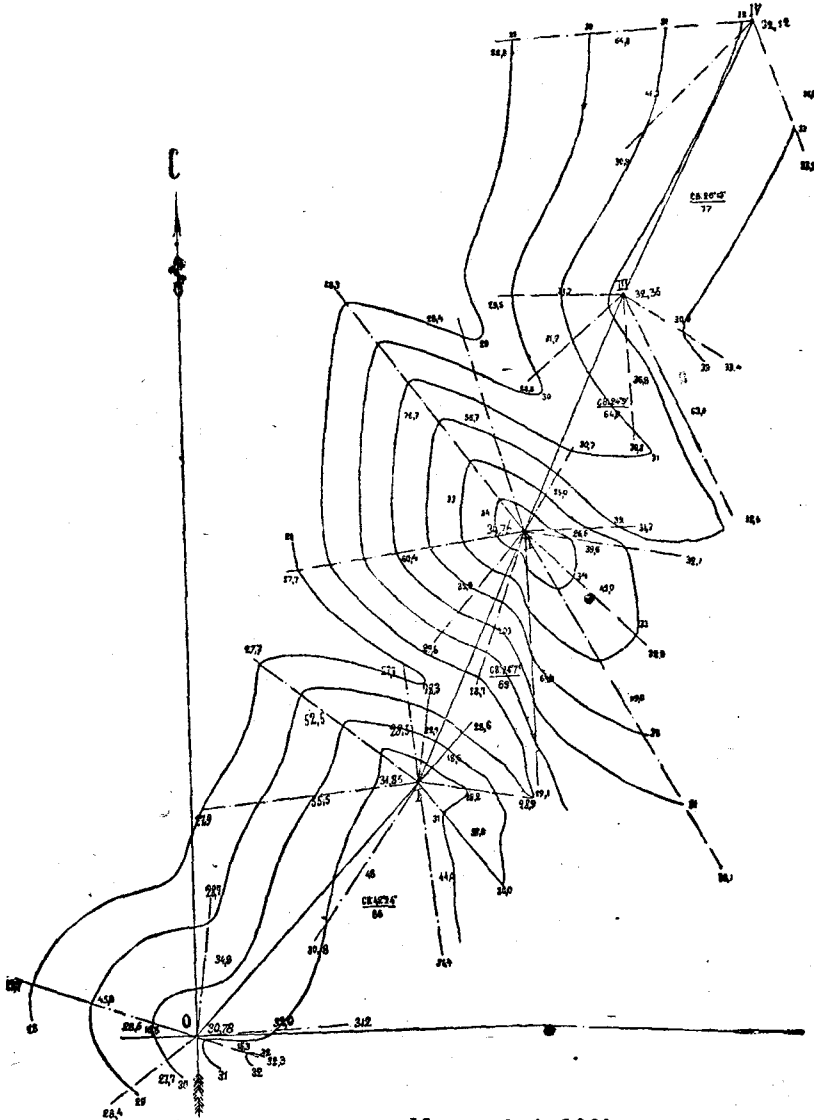
§ 56. Составление плана. Так как при составлении плана ось тахеметрического хода или базисная линия большею частью наносится по координатам, то их необходимо предварительно вычислить по расстоянием между станциями и азимутам сторон. По читанным (измеренным) расстояниям и углам

\*) При мензуральной съемке графа (отсчет на горизонтальном круге) остается незаполненной.



наклона  $\alpha$  вычисляют горизонтальные проложения  $d = kl \cdot \cos^2 \alpha$ . Читанные по лямбу азимуты заменяют исправленными азимутами  $\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180 - B$ .  $B$  — разности читанных азимутов назад и вперед. Исправление

План тахиметрической съемки.  
(План с горизонталями).



необходимо потому, что азимуты получены на местности приближенно, при ориентировании лимба по буссоли. По совершении этого исправления надо приступить к вычислению приращений координат по формулам  $\Delta c = d \cdot \cos \alpha$  и  $\Delta y = d \cdot \sin \alpha$  и самых координат. Все эти предварительные вычисления составляют то, что называется приготовлением журнала для накладки.

Если длина оси хода невелика и состоит из 4—5 станций, т.-е. длиною около километра, то и она, как и пикеты вокруг станций, наносятся транспортиром.

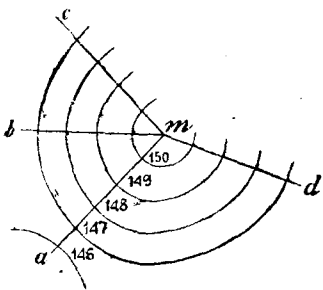
Высоты пикетов высчитываются после того как увязаны высоты станций. Если разность высот начальной и конечной станции дана, то сумма превышений в ходе, т.-е.  $\sum h = \sum D \operatorname{tg} a$  не должна отличаться от этой разности более, чем на  $2 \sum dh = R = 2 (D_1 + D_2 + \dots) a \cdot \sin 1' = 2P \cdot a \sin 1'$ , где  $P$  — периметр хода и  $a$  — точности верньера вертикального круга. Невязка в высотах  $R$  раз-  
верстывается пропорционально  $D$ .

§ 57. Назначение горизонталей на плане по данным альтитудам точек земной поверхности производится следующим образом. Положим, что имеем альтитуду станции (черт. 98)  $m$  и альтитуды пикетов (эти альтитуды вычисляются по формулам, данным в § 49 и 50) и положим, что горизонтали получаются сечением земной поверхности, отстоящими на вертикальном расстоянии одного метра друг от друга. Пусть альтитуды станции  $m$  и пикетов  $a, b, c, d$  выражаются числами:

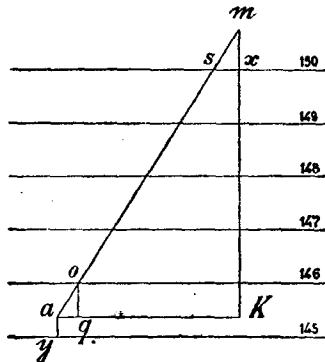
$m$ . . . . .	150,6	метра.
$a$ . . . . .	145,4	"
$b$ . . . . .	136,8	"
$c$ . . . . .	144,6	"
$d$ . . . . .	134,6	"

Эти числа нужно понимать так: точка  $m$  лежит выше 150-й горизонтали на 0,6 отвесного расстояния между горизонталями, точка  $a$  лежит выше 145-й горизонтали на 0,4 того же отвесного расстояния между горизонталями и т. д.

Предлагаемый чертеж 98 представляет собою относительное расположение точек на плане, которых альтитуды в горизонталях были даны выше. Для того, чтобы на плане назначить точки пересечений горизонталей направлений  $ma, mb, mc$  и  $md$ , рассмотрим одно из этих направлений, напр.,  $ma$ , и построим по отметкам его концов  $m$  и  $a$  профиль по линии  $ma$ . На профиле (черт. 99) пусть  $mK$  выражает разность уровней между точками  $m$  и  $a$ , т.-е. разность отметок точек  $a$  и  $m$ ; а  $aK$  — горизонтальное положение линии  $ma$  местности <sup>1)</sup>. Профиль построен на разлинованной бумаге, на которой горизонтальные линии, обозначенные через 150, 149, ... 145, выражают следы (в вертикальной плоскости) горизонтальных плоскостей сечения земной поверхности параллельно уровню воды (или условному горизонту); при чем  $mx$  есть высота точки  $m$  над 150-ю горизонталью, т.-е. 0,6; а  $ay$  высота точки  $a$  над 145-ю горизонталью, т.-е. 0,4. Масштаб для вертикальных расстояний —



Черт. 98.



Черт. 99.

произвольный, а для горизонтальных — одинаковый с масштабом плана. Определим теперь расстояние 150-й горизонтали на плане от точки  $m$ , т.-е. определим длину линии  $sx$ , а также расстояние  $aq$  или место 146-й горизонтали от точки  $a$ .

Нахождение расстояний  $sx$  и  $aq$  чертежа 99 делается, во избежание вычислений, обыкновенно графически. Для этого употребляется бумага (с заранее начерченными равноотстоящими друг от друга параллель-

<sup>1)</sup> Очевидно, что  $aK$  на чертеже 99 равна длине  $ma$  на чертеже 98.

ными линиями, напр., профильная; и на ней по данным  $aK$  и  $mK$  строится чертёж 99, с которого механически и переносятся (проектируются) затем на план места горизонталей. Для чего достаточно к линии  $ta$  плана приложить линию  $Ka$  профиля (совмещая  $K$  профиля с точкою  $m$  плана и точку  $a$  профиля с точкою  $a$  плана) и провести параллели через точки  $o$  и  $z$  к линии  $mK$  до встречи с линией  $ta$  плана. Промежуток на плане между 146-й и 150-й горизонталями делится на 4 равные части. Нахождение длины  $sx$  и  $aq$  можно было бы сделать и путем вычислений в числах; но это слишком кропотливо; так из подобия треугольников  $smx$  и  $amK$  имеем:

$$\frac{mx}{mK} = \frac{sx}{aK}, \text{ откуда } sx = \frac{aK \cdot mx}{mK},$$

здесь  $mx$  есть высота точки над 150-ю горизонталью и равна 0,6;  $aK$ —горизонтальное проложение расстояния между точками  $m$  и  $a$ , которое берется с плана, пусть оно = 50 м,  $aK$ —разность уравнений между теми же точками и равно 150,6 м — 145,4 = 5,2. Подставляя эти числа в последнее равенство, получим:

$$sx = 5,8 \text{ м.}$$

Откладывая на плане (черт. 98) от точки  $m$  по линии  $ta$  величину 5,8, получим место 150-й горизонтали; назначим теперь место 146-й горизонтали, а для этого снова обращаемся к предыдущему 99 чертежу и из подобных треугольников  $aoq$  и  $amK$  пишем:

$$aq : aK = oq : mK, \text{ откуда } aq = \frac{aK \cdot oq}{mK}.$$

Здесь  $aK = 50$  м,  $mK = 5,2$ ,  $aoq$  — есть дополнение пикета  $a$  до 146-й горизонтали и равно 0,6. Подставляя эти величины в последнее равенство, получаем  $aq = 5,8$  м и откладываем эту длину на плане от точки  $a$  по  $am$  (черт. 98), получаем место 146-й горизонтали.

Принимая во внимание, что угол наклоения линии  $ta$  постоянен, для получения на плане по линии  $ta$  промежуточных горизонталей 149, 148, 147 нужно расстояние между 150 и 146 горизонталями, как уже сказано, разделить на 4 равные части. Точно так же назначим место горизонталей по направлению линии  $tb$ ,  $tc$ ,  $td$  (черт. 98). Соединив последовательно на плане прямыми линиями места, означенные одинаковыми номерами горизонталей на линиях  $ta$ ,  $tb$ ,  $tc$  и  $td$ , получим на плане изображение горизонталями возвышенности около точки  $m$ . Разумеется, горизонталы в тех местах, где они пересекают данное на плане направление, немного округляются от руки. Образец плана см. черт. 97b.

§ 58. Приспособления для вычисления превышений точек местности. Из предыдущего § следует, что для выражения на плане неровностей местности горизонталями необходимо, предварительно перед проведением горизонталей, определять отметки основных точек, станций и пикетов.

Вычисление альтитуд (отметок) производится по указанным выше формулам. К этому еще прибавим, что вычисление по формулам должно производиться непременно или вечером того дня, когда сделаны наблюдения, или тотчас же в поле после наблюдений, ибо самое проведение на плане горизонталей (во избежание неправильного соединения точек, имеющих одинаковые альтитуды) должно быть произведено, соображаясь с кроки или, еще лучше, в поле на самой местности.

В формулы, по которым производятся вычисления альтитуд, входит член  $D \operatorname{tg} a$ , вычисление его для основных точек производится или по четырехзначным логарифмам<sup>1)</sup>, или по таблице высот; но так как логарифмическое

<sup>1)</sup> Особенно удобны изданные: 1) Военно-Топографич. Управлением, 2) Швейцера, 3) Вика, 4) Гаусса.

вычисление для большого числа пикетов (не требующих той же точности, что и основные точки) неудобно по своей продолжительности, то на практике избегают вычисления члена  $D \operatorname{tg} a$  по логарифмам и для этой цели употребляют или особую диаграмму, называемую масштабом горизонталей, а также масштабом высот, или логарифмическую линейку, или, наконец, просто для углов наклона до  $3^\circ$  допускают, что  $D \cdot \operatorname{tg} a' = D \cdot \sin a' = D \cdot a \cdot \sin 1' = D \cdot a \cdot \frac{1}{3438}$ .  
 Например, при  $D = 17,2 \text{ м}$  и  $a = 1^\circ 2'$ , находят, простым умножением, искомое  $u = D \cdot \operatorname{tg} a$  в виде  $17,2 \times 62 \times \frac{1}{3438} = 0,31 \text{ м}$ .

Таблица высот вычисляется обыкновенно по логарифмам для расстояний от 100 до 900 м и для углов наклона от  $0^\circ 1'$  до  $0^\circ 10'$  через каждую минуту, а от  $0^\circ 10'$  до  $10^\circ$  через каждые десять минут. Для расстояний и углов, не помещенных в таблице, величина  $u$  находится простым интерполированием, полагая изменение  $u$  пропорциональным изменениям  $D$  и  $a$ . Так для  $D = 417 \text{ м}$  и угла  $a = 5^\circ 16,5'$  находят  $u$  по частям, а именно, применяясь к таблице, последовательно отыскивают:

$u$ для 400 м и $a = 5^\circ 10'$	оно будет: 36,17
" " 10 " " " = $5^\circ 10'$	" " " 0,904
" " 7 " " " = $5^\circ 10'$	" " " 0,633
" " 400 " " " = $0^\circ 8'$	" " " 0,70
" " 10 " " " = $0^\circ 6'$	" " " 0,017
" " 7 " " " = $0^\circ 6'$	" " " 0,012
" " 400 " " " = $0^\circ 0,5'$	" " " 0,06
" " 10 " " " = $0^\circ 0,5'$	" " " 0,002
Сумма 38,498	
или 38,50.	

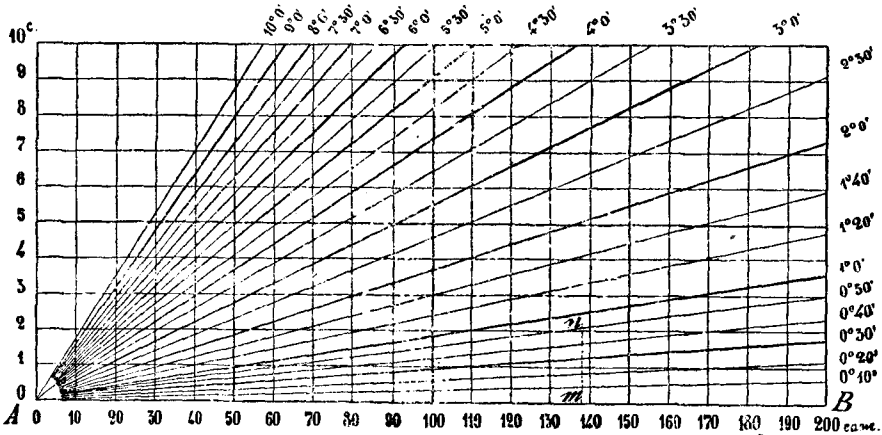
Таблица высот <sup>1)</sup>.

Расстояния в саж. или метрах.	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Углы наклоения.	Высоты в сажених или метрах								
1'	0,03	—	—	0,12	—	—	0,20	—	—
2	0,06	—	—	0,23	—	—	0,41	—	—
3	0,09	—	—	0,35	—	—	0,61	—	—
4	0,12	—	—	0,47	—	—	0,81	—	—
0° 5'	0,15	—	—	0,58	—	—	1,02	—	—
6	0,17	—	—	0,70	—	—	1,22	—	—
5° 0'	8,74	17,50	26,25	35,00	46,74	52,49	61,24	69,99	73,74
10	9,04	18,09	27,13	36,17	43,21	54,26	63,29	72,33	81,37

Можно рекомендовать: 1) Таблицы Намтер'а, составленные через 2 минуты до  $25^\circ$ ; 2) М. З. Кипкапи, составленные через 1 минуту до  $35^\circ$ ; 3) Н. Соколова—через 10 минут до  $34^\circ$ ; 4) таблицы высот в книге „Практика Низшей Геодезии“, ч. II. Для пикетов превышения  $u$  достаточно знать точно до десятых долей метра, для чего вполне может служить масштаб высот или, еще лучше, логарифмическая линейка, напр., системы швейцарского профессора Вильда, изготовляемая механиком Керном в Швейцарии.

<sup>1)</sup> Помещаем только ту часть таблицы, которая нужна для примера.

Масштаб высот строится следующим образом: возьмем линию  $AB$  длиной в  $n$  каких-нибудь единиц, напр., сантиметр (черт. 100); в конце каждого сантиметра восставим перпендикуляры; на проведенном в конце  $n$ -го сантиметра перпендикуляре отложим величины, вычисленные по формуле  $u = D \operatorname{tg} \alpha$ , для  $D = 20$  сантиметров и  $\alpha$  последовательно  $= 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$  и т. д. Для большего удобства употребления масштаба и для большей точности, на последнем перпендикуляре откладываются выражения  $D \operatorname{tg} \alpha$ , увеличенные в 5, 10 и т. д. раз; так, если будем увеличивать  $u$  в 5 раз, то откладываются выражения  $5 \cdot 20 \operatorname{tg} 1^\circ$ ;  $5 \cdot 20 \operatorname{tg} 2^\circ$ ;  $5 \cdot 20 \operatorname{tg} 3^\circ \dots$ ; если  $u$  будем увеличивать в 10 раз, то  $10 \cdot 20 \operatorname{tg} 1^\circ$ ;  $10 \cdot 20 \operatorname{tg} 2^\circ$ ;  $10 \cdot 20 \operatorname{tg} 3^\circ \dots$ . На чертеже 100 они увеличены в 10 раз. На масштабе точки отложения высот подписываются при последнем перпендикуляре, соответственно числам  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ \dots$ . Промежутки между 0 и 1, и 1 и 2 градусами делят на 6 частей, вследствие чего каждая часть будет соответствовать  $10'$ , а между  $2^\circ$  и  $3^\circ, 3^\circ$  и  $4^\circ \dots$  промежутки делятся пополам, так что каждая



Черт. 100.

часть соответствует  $\frac{1^\circ}{2}$ . Соответственно масштабу плана по линии  $AB$  подписываются горизонтальные расстояния. На левом перпендикуляре откладываются вертикальные расстояния, также увеличенные, при том в то же число раз, что  $D \operatorname{tg} \alpha$ , т.-е. вместо 1, 2, 3... единиц, берут 10, 20, 30..., и через точки отложения, отстоящие на равном расстоянии друг от друга, к основанию  $AB$  масштаба проводятся параллели. Чтобы по такому масштабу получить  $D \operatorname{tg} \alpha$ , при  $D = 137$  м и  $\alpha = 0^\circ 50'$ , находят на линии  $AB$ , в расстоянии 137 м, от нулевой точки  $A$ , точку  $m$ , поднимаются по перпендикуляру и помещают острый карандаш на линию, соответствующую  $0^\circ 50'$ , в точку  $n$ ; тогда  $mn$  дает  $D \operatorname{tg} \alpha$ , увеличенное в 5, 10 и т. д. раз (смотря по тому, во сколько раз увеличены  $u$  при построении масштаба); во избежание деления построенные высоты подписываются уже уменьшенными. Подпись высот располагается слева у масштаба, при параллелях основанию  $AB$ . В нашем примере  $mn = 2,1$ .

Во избежание вычислений выражения  $d = a \cos^2 \alpha$  возможно построить для него также диаграмму, сходную с масштабом высот: стоит только положить:

$$\cos^2 \alpha = \cos x,$$

тогда и выражение для  $d$  примет вид:

$$d = a \cdot \cos^2 \alpha = a \cdot \cos x.$$

Давая  $x$  значения, равные  $0^\circ, 1^\circ, 2^\circ \dots$ , можно из точки  $A$  (черт. 100) провести соответственные наклонные к  $AB$  лучи, и, беря каждый раз в рассто-

циркуля наклонное (прочитанное по рейке) расстояние, откладывать его от точки  $A$  по наклонному лучу с подписью, соответствующей читанному углу наклона  $\alpha$  (ибо в диаграмме, вместо углов  $x$ , написаны углы  $\alpha$ ), а затем, освобождая ножку циркуля, стоящую в  $A$ , проводить этой ножкой дугу круга, касательную к вертикали, проходящей через  $A$ , тогда раствор циркуля и будет давать горизонтальное проложение наклонного расстояния, читанного по рейке, или, что то же самое, отложив наклонное расстояние  $An$ , спуститься по вертикали, идущей через конец  $n$  до встречи ее с  $AB$  в точке  $m$ . Линия  $Am$  будет искомым горизонтальным положением. Самое построение диаграммы рекомендуется делать, пользуясь величинами  $\operatorname{tg} x$ , вычисление же углов  $x$ , соответствующих  $\alpha$ , производить не по формуле  $\cos^2 \alpha = \cos x$ , а по уравнению:

$$1 - \cos^2 \alpha = 1 - \cos x$$

или

$$2 \sin^2 \frac{x}{2} = \sin^2 \alpha,$$

откуда:

$$\sin \frac{x}{2} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{2}} \dots \dots \dots (x)$$

при $\alpha = 1^\circ$	$x = 1^\circ 25'$	$\operatorname{tg} x = 0,0247$
2	2°50'	494
3	4°14'	742
4	5°39'	990
5°	7°04'	0,1240
6	8°29'	0,1492

при $x = 10^\circ$	$\alpha = 14^\circ 05'$	$\operatorname{tg} x = 0,2513$
15°	21°05'	0,3857
20	27°59'	0,5315
30	41°25'	0,8819

§ 59. Вычислительная логарифмическая линейка проф. Вильда предназначена для нахождения числовых величин  $D$  и  $h$  (или  $u$ ), т.-е. расстояний и превышений, по наблюдаемым в поле отсчетам: 1) по дальномерной рейке  $a$  расстояний и 2) по вертикальному кругу — углов наклона  $\alpha$  (или  $n$ ) по формулам  $D = a \cdot \cos^2 n$  и  $u = D \operatorname{tg} n = a \frac{1}{2} \sin 2n$ .

Линейка Вильда встречается двух видов: старого и нового устройства. В линейке нового устройства нет надевающейся на линейку старого устройства рамы — бегуна, служащей для определения горизонтального проложения  $D$ . Общая обоим видам часть представляет собою линейку с вырезанным по середине ее пазом, в котором движется вторая узенькая линейка, — кулиска.

На верхней части основной линейки, над пазом, нанесена так называемая логарифмическая шкала Гунтера, дающая логарифмы чисел графически, т.-е. в виде длины отрезков прямой линии.

Шкала Гунтера заключается в следующем. Взяв отрезок прямой произвольной длины принимают его за единицу длины и в долях его наносят графически логарифмы чисел от 1 до 10. От длины единицы  $AB$  зависит точность, с которой можно нанести отрезки, выражающие логарифмы чисел. Возьмем отрезок  $AB$  (черт. 101), разделим его на 100 частей и, выписав до третьего десятичного знака логарифма чисел, при основании, равном 10:

$\lg 1 = 0,000$	$\lg 4 = 2 \lg 2 = 0,602$
$\lg 2 = 0,301$	$\lg 6 = \lg 2 + \lg 3 = 0,778$
$\lg 3 = 0,477$	$\lg 8 = 3 \lg 2 = 0,903$
$\lg 5 = 0,699$	$\lg 9 = 2 \lg 3 = 0,945$
$\lg 7 = 0,845$	$\lg 10 = 1,000$

отложим их на отрезке  $CD$ , параллельном и равном  $AB$ .

Пусть отрезки  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_{10}$  дают графически логарифмы чисел 1, 2, 3, ... 10. При концах их подпишем (справа) те числа, логарифмы которых

они изображают. Из чертежа видно, что наибольший промежуток между цифрами 1 и 2, 2 и 3, ... 9 и 10 будет между 1 и 2; остальные промежутки пойдут уменьшаясь; однако, их можно разбить на два класса: от 2 до 5 и от 5 до 10.

Обыкновенно шкала Гунтера  $CD$  на линейке Вильда берется сравнительно небольших размеров и наносится на верхней части линейки два раза. Левая шкала дает в промежутке между 1 и 2 числа, различающиеся между собою на 0,02, т.-е.

$$1,02; 1,04; 1,06; \dots 1,98;$$

в промежутке между 2 и 5 левая шкала дает числа, различающиеся на 0,05, т.-е.

$$2; 2,05; 2,10; 2,15; \dots 3,00; 3,05; 3,10; \dots 4,00; 4,05; \dots 4,95$$

и в третьем промежутке между 5 и 10 она дает числа, различающиеся на 0,10, т.-е.

$$5; 5,10; 5,20; 5,30; \dots 6,00; 6,10; \dots 8,00; 8,10; \dots 9,80; 9,90; 10.$$

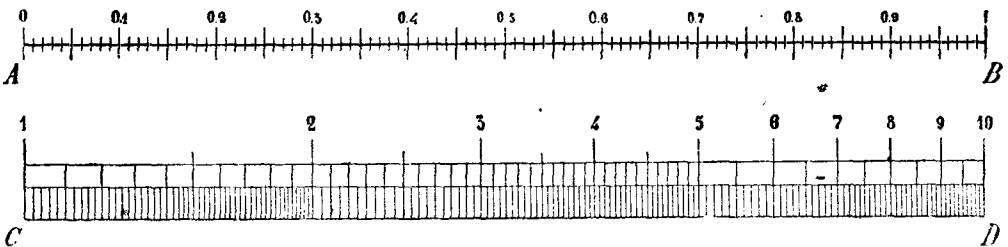
Если линейку продолжать и отложить те же самые деления еще один раз, то вся линейка увеличится вдвое и даст логарифмы чисел в десять раз больших, т.-е.  $= 10, 20, 30, \dots$  до 100, ибо

$$\lg_{10} 100 = 2,$$

т.-е. двум избранным единицам длины (черт. 102). Три ее промежутка также дают ряд чисел в десять раз больших, чем промежутки левой шкалы, т.-е. уже идущих:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{через } 0,2 \quad \dots \quad 10,2; 10,4; \quad 11,0; 11,2; \dots 18,0; 18,2; \dots 19,8 \\ \text{„ } 0,5 \quad \dots \quad 20,0; 20,5; 21,0; \dots 30,0; 30,5; \dots 40,0; 40,5; \dots 49,5 \\ \text{„ } 1,0 \quad \dots \quad 50,0; 51,0; \quad 52; 53; \dots 60; 61; \dots 80; 81; \dots 99,100 \end{array} \right\}$$

Цифры второй правой шкалы, однако, подписывают одинаково со всеми числами первой (левой) шкалы, хотя они дают числа в десять раз большие чисел левой шкалы.



Черт. 101.

Итак, если левую шкалу принять за единицы, то правая даст десятки; а если левую принять за десятки, то правая изобразит логарифмы сотен. Соответственно этому и значения промежуточных чисел будут возрастать в 10 раз, так что вторая шкала станет давать 100, 200, ... 1000, если левая дает 10, 20, ... 100.

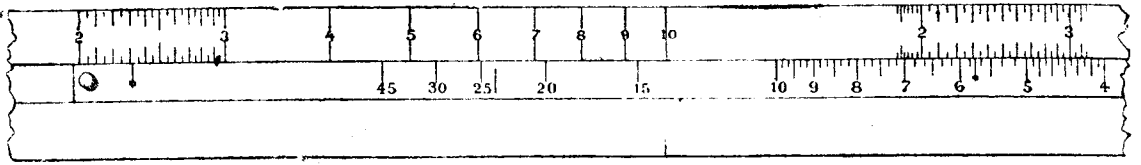
На кулисе линейки старого устройства наносятся в том же масштабе  $AB$  длины логарифмов чисел  $\frac{1}{2} \sin 2n$ , (черт. 102 и 104) от начального левого штриха  $C$ , обозначенного на кулисе звездочкой \*, и так как  $\sin$  всегда менее единицы, то  $\frac{1}{2} \sin 2n$  можно изобразить дробью вида  $\frac{1}{k}$ , так что

$$\lg \frac{1}{2} \sin 2n = \lg \frac{1}{k} = -\lg k.$$

а следовательно, из равенства  $u = D \operatorname{tg} n = a^{1/2} \sin 2n$  получим:

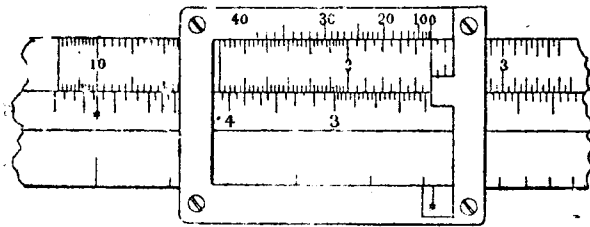
$$\lg u = \lg a - \lg k.$$

При $n = 45^\circ$	величина $k = 2$	(ибо $\frac{1}{2} \sin 2 \cdot 45^\circ = \frac{1}{2} \sin 90^\circ = \frac{1}{2}$ )
" "	$40^\circ$	" " 2,03
" "	$25^\circ$	" " 2,61
" "	$20^\circ$	" " 3,11
" "	$15^\circ$	" " 4,00
" "	$10^\circ$	" " 5,85
" "	$5^\circ$	" " 11,52
" "	$1^\circ$	" " 57,47
" "	$0^\circ 35'$	" " 98,04



Черт. 102.

Величина  $0^\circ 35'$  — наименьший угол, который нанесен на кулису; соответствующий ему штрих находится почти под правым концом второй (правой) шкалы Гунтера.



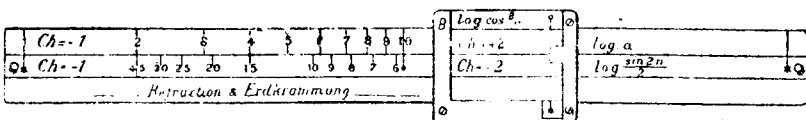
Черт. 103.

Очевидно, что на кулисе, если ее звездочку (левую) совместить с левым концом основной линейки, т.е. шкалы Гунтера, придется под цифрой 2 подписать  $45^\circ$ , (черт. 104), под цифрой 4 —  $15^\circ$  под цифрой 11,52 второй шкалы —  $5^\circ$ , под числом 57,47 той же второй шкалы —  $1^\circ$  и наконец под второй шкалой, у правого ее конца,

под числом 98,04 —  $0^\circ 35'$ . Внимательно взглядываясь в промежутки, подписанные на кулисе  $1^\circ, 3^\circ, 5^\circ, \dots$ , легко заметить, что углы между

$0^\circ 35'$ и $1^\circ$ идут через $1'$	$5^\circ$ и $10^\circ$ идут через $10'$
$1^\circ$ и $3^\circ$ " " $2'$	$10^\circ$ и $20^\circ$ " " $20'$
$3^\circ$ и $5^\circ$ " " $5'$	$20^\circ$ и $30^\circ$ " " $30'$
	$30^\circ$ и $40^\circ$ " " $1^\circ$

в промежутке между  $40^\circ$  и  $45^\circ$  — нет совсем штрихов. Кроме левой звездочки у начального штриха кулисы нанесены еще две звездочки указателя, средний и правый, в расстоянии  $\lg 10$  и  $\lg 100$  от начального указателя.



Черт. 104.

При всяком положении кулисы, отсчет по средней звездочке в 10 раз более отсчета по начальной — левой, а отсчет по правой звездочке в 100 раз более отсчета по левой и в 10 раз более по средней звездочке.



На верхнем крае бегуна-рамы, над шкалой Гунтера (черт. 103), нанесены логарифмы чисел  $\cos^2 n = \frac{1}{m}$ , т.-е.  $\lg \cos^2 n = -\lg m$ .

Так как

$\cos^2 0^\circ = 1$	то	$\lg \cos^2 0^\circ = -\lg 1,00$
$\cos^2 10^\circ = \frac{1}{1,03}$		$\lg \cos^2 10^\circ = -\lg 1,03$
$\cos^2 20^\circ = \frac{1}{1,13}$		$\lg \cos^2 20^\circ = -\lg 1,13$
$\cos^2 30^\circ = \frac{1}{1,33}$		$\lg \cos^2 30^\circ = -\lg 1,33$
$\cos^2 40^\circ = \frac{1}{1,70}$		$\lg \cos^2 40^\circ = -\lg 1,70$

Поставив на правом конце рамы начальный штрих, совмещают его последовательно со штрихами правой шкалы Гунтера, соответствующими числами 1,03; 1,13; 1,33; 1,70, на раме влево, каждый раз против штриха 10 ставят штрихи с надписями  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ . Между  $0^\circ$  и  $10^\circ$  промежутков мал, в нем имеются только штрихи  $4^\circ$ ,  $6^\circ$  и  $8^\circ$ . В промежутке между  $10^\circ$  и  $20^\circ$  имеются штрихи через  $2^\circ$ , а в промежутке между  $20^\circ$  и  $40^\circ$ —штрихи, соответствующие градусам.

Употребление линейки состоит в том, что отыскав на главной линейке число, соответствующее прочтенному  $a$ , устанавливают под ним зубец рамы, стоящий на продолжении начального штриха рамы-бегуна, под него подводят движением кулисы штрих, соответствующий углу  $n$ , и прочтывают на линейке по раме против штриха, дающего угол  $n$ , горизонтальное положение, а по звездочке начального указателя кулисы превышение.

На чертежах 102 линейка установлена для  $a = 249,6$  и  $n = 5^\circ 20'$ , а для чертежа 103 для  $a = 249,6$  и  $n = 2^\circ 18'$ . В первом случае  $u = 23,1$ , а во втором  $u = 10,0$ .

Если бы левый указатель при передвижении кулисы вышел из-под шкалы в поле, где нет штрихов, то отсчеты делаются по средней звездочке, и отсчет уменьшают в 10 раз. Если же отсчет вместо левого указателя сделан по крайнему правому, то его уменьшают в 100 раз.

Для углов, меньших  $0^\circ 35'$ , принимают синусы пропорциональными дугам и, увеличив угол в 2, 4 раза, уменьшают прочтенное  $u$  в то же число раз, или, что еще проще,—во сколько раз увеличат угол, во столько же уменьшат  $a$  и тогда по левой звездочке на кулисе прочтывают нормальную величину превышения  $u$ .

Внизу линейки (черт. 102 и 104) нанесены штрихи для вычисления поправки от кривизны земли и рефракции  $f = 0,84 \frac{D^2}{2R} = 0,000.000.0659 D^2$  при  $R = 6370000$  метрам. Для получения поправки надо на прочтенное в метрах расстояние поставить пень бегуна рамы шкалы  $\cos^2 n$ , а затем по нижнему ребру рамы по индексу внизу линейки прочесть поправку  $f$ . Так, если  $D = 3000$  метров, то поправка будет 0,6 метр. Для 500 метров  $f = 0,2$  м. Числа правой шкалы выражают тысячи метров; меняя их, т.-е.  $D$  в 10 раз, надо иметь в виду, что поправка меняется в  $10^2 = 100$  раз. При  $D = 1000$  метр. (средний штрих 10 верхней шкалы) поправка  $f = 0,0659$  метр  $< 0,1$ . В линейке нового устройства нет рамы и шкала  $\cos^2 n$  нанесена на кулису.

**Примечание 1-е.** Начинаящим знакомиться с употреблением линейки Вильда рекомендуется поверить полученные по линейке отсчеты следующим образом: допустив, что  $u = D \operatorname{tg} n$ , можно заменить выражением  $u = D \cdot n^\circ \sin 1^\circ = D \cdot n' \cdot \sin 1'$  и зная, что  $\sin 1^\circ = \frac{1}{57}$ , а  $\sin 1' = \frac{1}{3438} = 0,0003$  находить  $u$  простым перемножением. Так, если

- 1)  $D = 87,5$ , а  $n = 1^\circ 23'$ , то  $u = 87,5 \cdot 83 \cdot 0,0003 = 2,18 =$  более точно  $2,11$ .
- 2)  $D = 375,6$  и  $n = 5^\circ 3'$ , то  $u = 375,6 \cdot 5,05 \cdot \frac{1}{57} = 33,27$ .

Результаты эти весьма близки к величинам, которые дает линейка.

Еще примеры для упражнений:

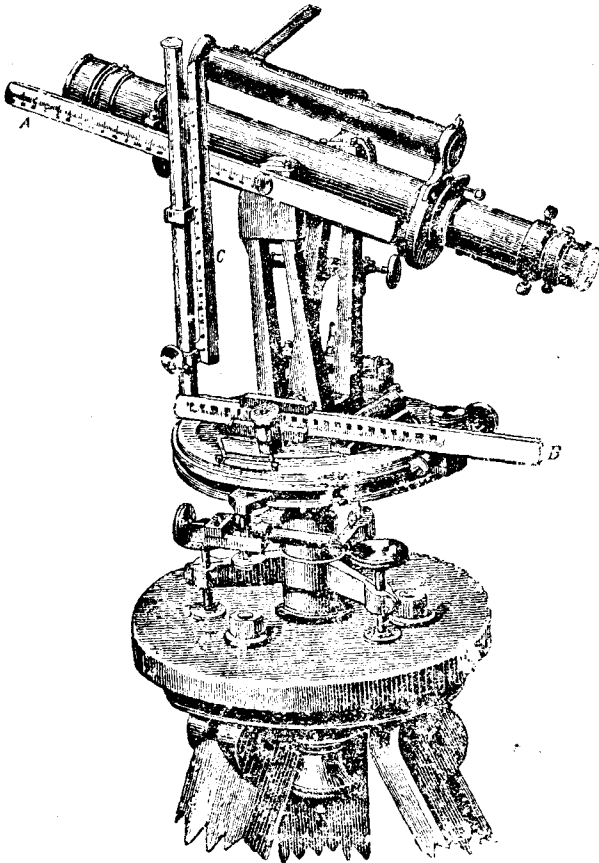
3)  $a = 56,7$  и  $n = 5^{\circ}4'$  величина  $u = 5,00$ ;

4)  $a = 127,3$  и  $n = 0^{\circ}3'$ , или умножая  $n$  на 20 и деля  $a$  на 20, находим величину  $u = 0,11$ ;

5)  $a = 223$  и  $n = 16^{\circ}14'$ ;  $u = 59,8$  и  $D = 206$ .

Примечание 2-е. Если на обратной стороне кулисы нанести  $lg \sin r$ , то линейку легко применить к вычислению приращений координат  $\Delta x = d \cdot \cos r$  и  $\Delta y = d \cdot \sin r$ , памятуя, что  $\cos r = \sin (90 - r)$ , что и сделано Муано на его линейке для 400 г $\gamma$ , приложенной к его тахеметру.

§ 60. Тахеметры-автоматы представляют собою тахеметры с дополнительными приспособлениями, дающими возможность находить превышение  $u = D \operatorname{tg} n$  и расстояния  $D = a \cos^2 n$ , не прибегая к вычислениям, а путем непосредственного отсчитывания их



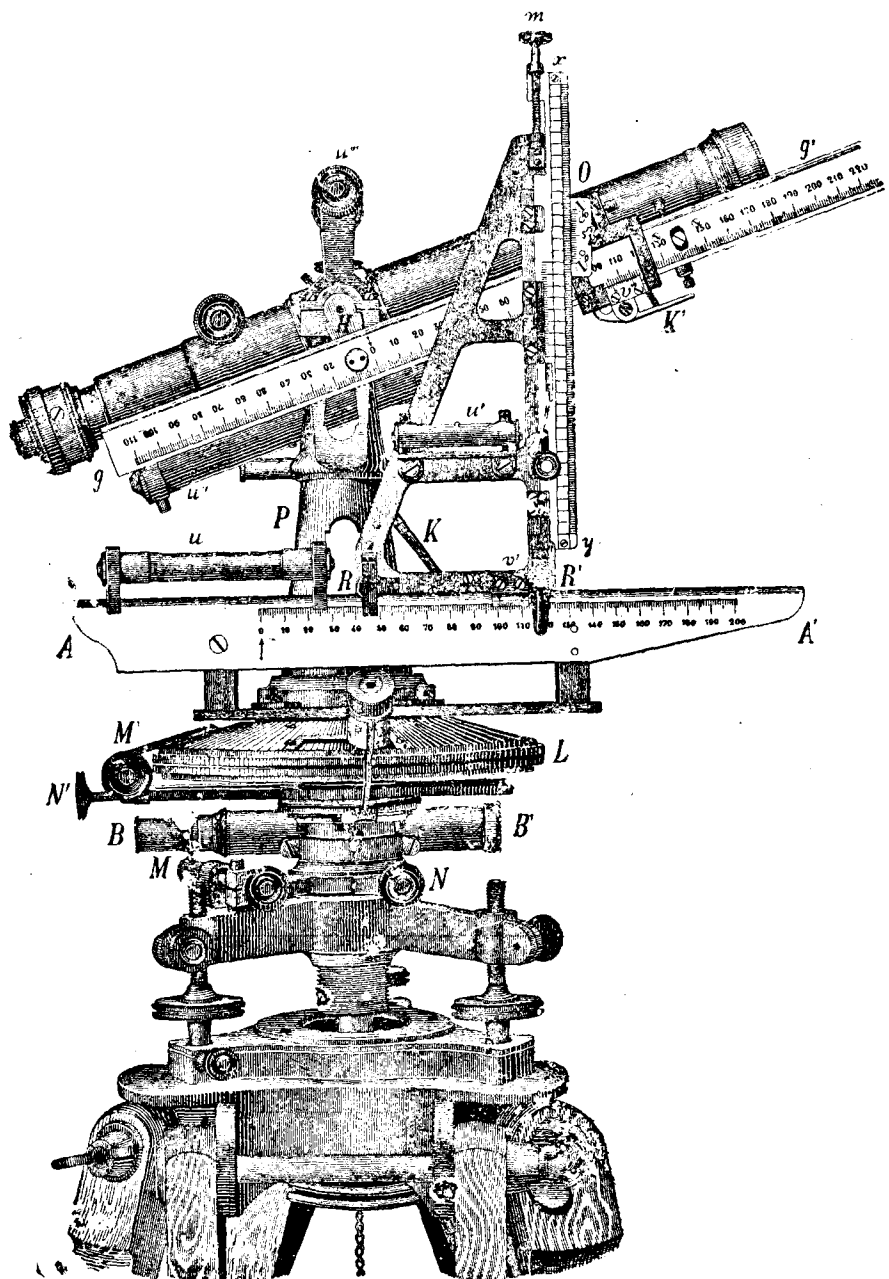
Черт. 105.

на дополнительных, специально для этого устроенных, частях инструмента. Величины  $D$  и  $u$  даются на них автоматически.

Первоначально тахеметр-автомат был предложен Крейтером и имел следующее устройство (черт. 105). На подставках повторительного теодолита с закрытым лимбом помещалась переводящаяся через зенит зрительная труба с уровнем на ней и зеркалом. Вместе с трубой, на горизонтальной оси ее вращения, вращалась так наз. „подвижная“ наклонная линейка  $A$ , параллельная визирной оси трубы, для откладывания по ней прочтенных по рейке наклонных расстояний. Рейка наклонялась в вилкообразной подставке и, с помощью диоптров при ней, наклонялась до положения, перпендикулярного к линии визирования. Для получения автоматически горизонтальных проложений расстояний служила неподвижная линейка  $B$ , помещающаяся на алидаде лимба. Вдоль линейки  $B$  двигалась в обиме вертикальная „линейка превышений“  $C$ .

Вагнер усовершенствовал тахеметр Крейтера. В нижней своей части тахеметр-автомат Вагнера (черт. 106) также представляет обыкновенный повторительный теодолит, под лимбом  $L$  которого помещается буссоль  $BB'$  в виде трубочки по системе Муано. Иногда эта буссоль заменяется ориентирбуссолью в виде прямоугольной продолговатой коробки, прикрепленной к подставке  $P$  трубы и вращающейся на вертикальной оси, при чем на одной из коротких ее стенок имеется индекс, движущийся по дуге круга, параллельной плоскости лимба; снизу коробки, в вырезе дуги, находится закрепительный винт коробки буссоли. Благодаря дуге и винту, нулевой диаметр буссоли можно установить параллельно коллимационной плоскости трубы. Лимб теодолита закрытый, конической формы. На алидаде лимба помещается на подставках  $P$  трубы, переводя-

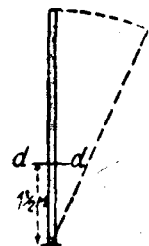
щаяся окуляром через зенит. Подставка в виде сквозной конической колонки привинчена к алидаде тремя винтами; трегер, а с ним и горизонтальная ось *H* вращения трубы, под действием этих винтов, может быть наклонена к плоскости лимба.



Черт. 106.

В трубе помещается дальномер Эртеля с подвижными нитями. Винты для установки нитей прикрыты особым кольцом, надетым на окулярное колено и имеющим два отверстия. Вращая это кольцо, можно под ним скрыть винты дальномерных нитей. После установки салазок дальномерных нитей, они закрепляются при

диафрагме четырьмя винтиками, также прикрывающимися подвижным кругом с четырьмя отверстиями; плоскость круга перпендикулярна к геометрической оси трубы. Параллельно визирной оси к трубе прикреплена „подвижная“ линейка  $gg'$  с делениями; линейка эта движется вместе с трубой около горизонтальной оси  $H$  трубы. Внизу, при подставке  $P$  трубы, на алиаде помещается вторая „неподвижная“ линейка  $AA'$ , имеющая неизменное положение при всех наклонах зрительной трубы. Верхнее ребро ее параллельно плоскости лимба. Вдоль неподвижной линейки  $AA'$ , при помощи роликов  $B$  и  $B'$ , перемещается прямоугольный проектирующий треугольник  $mRk'$ , удерживаемый на линейке  $AA'$  особым крючком  $K$  с пружиной (черт. 106). На отвесном катете треугольника прикреплена подвижная, при помощи винта  $t$ , шкала  $xy$  с делениями. Деления всех трех линеек  $xy$ ,  $gg'$  и  $AA'$  нанесены в одном и том же масштабе. На горизонтальном катете проектирующего треугольника прикреплен указатель с верньером  $v'$  для отсчитывания по линейке  $AA'$ . На вертикальном катете проектирующего треугольника слева помещен второй по счету неподвижный верньер  $Z'$ , предназначенный для отсчетов на вертикальной линейке  $xy$  с левой ее стороны. По линейке  $gg'$  движется рама  $OK'$  с двумя верньерами; из них один горизонтальный  $v$ —для отсчитывания по самой линейке  $gg'$  и другой вертикальный  $Z$ —для отсчетов справа по вертикальной шкале  $xy$ . Верньер  $Z$  вращается около оси  $O$ , находящейся в подвижной раме  $OK'$  и при всяком положении зрительной трубы, а следовательно, и линейки  $gg'$ , к нему может быть плотно придвинут катет  $xy$  проектирующего треугольника. Рама  $OK'$  держится на линейке  $gg'$  наверху при помощи паза, а внизу крючком  $K'$  с пружиной. На горизонтальную ось  $H$  трубы насаживается цилиндрический уровень  $u'''$ ; при трубе параллельно визирной оси закреплен неподвижно второй двусторонний уровень  $u''u''$ , т.е. с двумя одинаково шлифованными и одинаково разделенными сторонами (верхней и нижней) стеклянной трубки, видимой в прорезах оправы. На горизонтальную линейку  $AA'$  может накладываться вспомогательный уровень  $u$ , а на проекционном треугольнике параллельно горизонтальному катету закреплен четвертый по счету уровень  $u'$ . Сверх того, на алиаде помещен круглый уровень между подставками трубы.



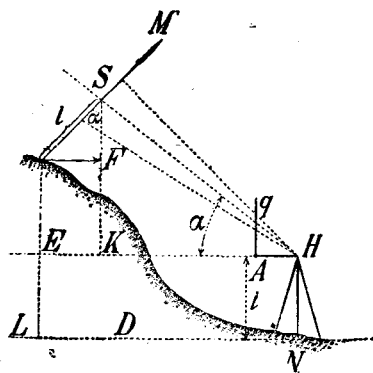
Черт. 107.

Необходимую принадлежность тахеметра служит рейка, у которой в полутора метрах от низу, перпендикулярно к длинному ее краю, привинчивается пластинка диоптр  $dd$  (черт. 107) для визирования на горизонтальную ось  $H$  вращения трубы инструмента. При употреблении рейка держится не отвесно, а наклонно, а именно, с помощью этого диоптра рейка наклоняется до положения, перпендикулярного к визирной оси зрительной трубы.

Теория тахеметра Вегнера. Допустим (черт. 108), что на наклонной местности в точке  $N$

поставлен инструмент, высота которого над землей равна  $i$ , а в точке  $M$ —дальномерная рейка  $MM'$  с делениями 1:100; рейка наклонена помощью визирования через диоптр до положения перпендикуляра к визирной оси  $HS$  трубы. Пусть далее  $qH$ —длина, соответствующая  $HS$ , уменьшенной в  $n$  раз, т.е.  $qH = \frac{SM}{n}$ ; тогда, проведя  $qA \parallel KS$ , найдем:

$$AH = \frac{HK}{n} \quad | \quad \text{и} \quad | \quad qA = \frac{SK}{n}.$$



Черт. 108.



После того, как труба наклонена и прочтено расстояние  $HS$  (черт. 108), оно откладывается в масштабе  $\frac{1}{n}$  с помощью верньера  $v'$  (черт. 106) на линейке  $gg'$ . На чертеже 110 оно изображено линией  $v'v''$ , так как ось  $O$  вместе с рамой  $OK'$  и ее верньером  $v'$  (черт. 106) пробежит ту же длину  $\frac{HS}{n}$ . Угол  $v''v'q = \alpha$ . Итак, на чертеже 110  $v'v''$  изобразит  $\frac{HS}{n}$ . Вертикальный катет  $xy$  проектирующего треугольника из положения  $Hpv$  (черт. 110) переместится в положение  $v''qh'$ . Само собою разумеется, что каждая точка верньера  $Z$  (в частности и нуль его) пробегают ту же длину по вертикали. какую пробегает ось вращения  $O$ , и мы будем иметь  $vh' = v'q + pv'$  (горизонтальный катет). Точно так же  $v''h' = v''q + pv$  (вертикальный катет) или  $v''h' = v''q + (Hv - Hp)$ .

После замены  $Hv = \frac{l}{n}$  и  $v'v'' = \frac{HS}{n}$ , найдем:

$$vh' = \frac{HS}{n} \cos \alpha + \frac{l}{n} \cdot \sin \alpha \dots \dots \dots (1)$$

$$v''h' = \frac{HS}{n} \sin \alpha + \frac{l}{n} - \frac{l}{n} \cos \alpha \dots \dots \dots (2)$$

Из равенств (D) и (h), по разделении их на  $n$ , находим:

$$\frac{D}{n} = \frac{HS}{n} \cdot \cos \alpha + \frac{l}{n} \cdot \sin \alpha = vh' \quad [\text{см формулу (1)}];$$

$$\frac{h}{n} = \frac{HS}{n} \sin \alpha + \frac{l}{n} - \frac{l}{n} \cos \alpha;$$

вычитая отсюда по частям равенство (2), найдем:

$$\frac{h}{n} - v''h' = \frac{i}{n} - \frac{l}{n}, \text{ откуда } \frac{h}{n} = v''h' + \frac{i-l}{n}, \dots \dots \dots (3)$$

т.е.  $vh'$  дает  $D$  в масштабе  $\frac{1}{n}$ , а  $v''h'$  отличается от  $h$  на величину  $(i-l)$ , взятую в том же масштабе  $\frac{1}{n}$ . Очевидно, что, если  $i=l=1,5$  м, то  $v''h'$  в масштабе  $\frac{1}{n}$  точно даст искомое превышение  $h = ML$ .

Для того, чтобы не вводить поправочного члена  $i-l$  в отсчеты  $v''h'$  по шкале  $xy$ , необходимо устанавливать инструмент в поле всегда на одной и той же высоте  $i$ , равной  $l=1,5$  м. Этого легко достигнуть, придав нити отвеса постоянную длину, соответствующую высоте  $i$  инструмента  $=1,5$  м., и устанавливая инструмент каждый раз так, чтобы шпиг отвеса касался головки вколоченного в землю кола, обозначающего проекцию центра лимба, при полном натяжении нити отвеса. При установке инструмента на произвольную высоту в отсчет по вертикальной шкале превышений необходимо вводить поправку  $=i-l$ . Чтобы на тахиметре Вагнера прочесть превышение  $h$  подошвы инструмента  $N$  над подошвою рейки  $M$ , заметим себе, что в то время, как линейка  $gg'$  стоит параллельно линейке  $AA'$ , которая приведена в горизонтальное положение (черт. 106 низ), оптическая ось  $HS$  трубы также занимает горизонтальное положение  $hh'$  и, следовательно, угол наклона  $\alpha =$  нулю, а потому превышение  $h$  равно нулю. На основании этого, верньер  $Z$  должен давать отсчет, равный нулю, по правой стороне шкалы  $xy$  при горизонтальном положении лпеек  $AA'$  и  $gg'$ . При наклоне  $\alpha$  трубы, отличным от нуля, превышение  $h$  должно само собой прочитываться по верньеру  $Z$  и соответствовать определенному по линейке  $AA'$  положению  $D$  наклонного расстояния  $HS$ . Неподвижно закрепленный слева при вертикальном катете  $mk'$  проектирующего треугольника верньер  $Z'$  служит для того, чтобы по шкале  $xy$  можно было сразу читать высоту (альтитуду) точки  $M$ . С этой целью

на линейке  $xу$  оставлена белая полоса из целлюлоида для надписи цифр. Сделав надпись на левой стороне линейки  $xу$  с таким расчетом, чтобы можно было, действуя винтом  $m$ , поставить линейку  $xу$  по верньеру  $Z'$  на отсчет, равный альтитуде точки стояния  $N^1$ ) с инструментом, получается возможность по верньеру  $Z$  сразу читать альтитуды пикетов  $M$ .

На основании вышеизложенного становится ясным, что употреблению инструмента должна предшествовать его поверка. Употребление выверенного тахиметра-автомата Вагнера крайне просто; оно состоит в том, что, придя в точку  $N$  с инструментом, его ставят над колом  $P$  в точке  $N$  так, чтобы высота инструмента  $i$  была равна  $1,5 м$  (или меряют высоту  $i$ ). После этого устанавливают вертикальную шкалу  $xу$  винтом  $m$  по верньеру  $Z'$  на отсчет, равный альтитуде станции плюс ( $i - 1,5 м$ ), приводят лимб в горизонтальное положение, совмещают нуль алидады с нулем лимба, отпускают стрелку буссоли и ориентируют лимб по магнитному (или истинному) меридиану. Выставив в точке  $M$  рейку перпендикулярно к оси  $HS$  трубы, визируют крестом нитей на диоптр рейки, где стоит нуль деления, и делают по дальномеру отсчет по рейке, предварительно закрепив нажимательные винты алидады и трубы. Получив по дальномеру наклонное расстояние  $HS$ , продвигают раму  $OK'$  по линейке  $gg'$  до тех пор, пока по верньеру  $v$  рамы  $OK'$  не получится отсчет, равный  $HS +$  постоянное  $c$  дальномера, после этого проектирующий треугольник продвигают по линейке  $AA'$  до тех пор, пока катет  $xу$  плотно приляжет к верньеру  $Z$ , тогда отсчет по верньеру  $v$  на линейке  $AA'$  даст горизонтальную проекцию наклонного расстояния от рейки до середины инструмента, а по верньеру  $Z$  прочтется альтитуда пикета  $M$ . Отсчет по горизонтальному лимбу даст азимут направления  $NM$ .

Для понижающейся местности также возможно сделать чертежи, подобные 108 и 110, и повторить предшествовавший вывод и рассуждения, при этом правила употребления инструмента остаются те же самые.

Так как точнее значение величин  $D$  и  $h$  на инструменте Вагнера автоматически получить нельзя, то приходится идти приближенным путем: сначала на автомате получают приближенные значения  $D$  и  $h$ , соответствующие формулам (1) и (2), а затем полученные результаты исправляют на величины, взятые из заранее составленной таблицы поправок.

Углы $\alpha$	Поправки гориз. прол. $\mp [l \sin \alpha \cdot \cos \alpha + l \cdot \sin \alpha (1 + \cos \alpha)]$			Поправки высот $- [(L + i) \sin^2 \alpha + l (1 - \cos \alpha)]$			Углы $\alpha$
	Отсчеты по рейке.			Отсчеты по рейке.			
	0	1 м	2 м	0	1 м	2 м	
0	$m$	$m$	$m$	$m$	$m$	$m$	0
2	0,1	0,1	0,2	0,00	0,00	0,00	2
4	0,2	0,3	0,3	0,00	0,00	0,00	4
6	0,3	0,4	0,5	0,00	0,05	0,05	6
8	0,4	0,6	0,7	0,05	0,05	0,10	8
10	0,5	0,7	0,9	0,05	0,10	0,10	10
12	0,6	0,8	1,0	0,10	0,15	0,20	12
14	0,7	1,0	1,2	0,15	0,20	0,25	14
16	0,8	1,1	1,3	0,15	0,25	0,30	16
18	0,9	1,2	1,5	0,20	0,30	0,40	18
20	1,0	1,3	1,6	0,30	0,40	0,50	20
22	1,1	1,4	1,8	0,30	0,45	0,60	22
24	1,2	1,5	1,9	0,40	0,55	0,70	24
26	1,2	1,6	2,0	0,45	0,65	0,80	26
28	1,3	1,7	2,2	0,50	0,75	0,95	28
30	1,4	1,8	2,3	0,60	0,85	1,10	30

<sup>1)</sup> Если высота инструмента не равна  $1,5 м$ , то в отсчет, равный альтитуде станции, вводится с соответствующим знаком поправка  $i - 1,5 м$ .

Таблица составлена при  $l = 1,5$  м для отсчетов по рейке  $L$ , равных 0, 1 и 2 м при изменении угла  $\alpha$  от  $2^\circ$  до  $30^\circ$  через каждые  $2^\circ$ . Угол  $\alpha$  может быть отсчитан по транспортиру, прикладываемому к линейкам автомата  $xy$  и  $gg'$  (черт. 106).

Пример: положим  $L = 0,984$  м и  $\alpha = +12^\circ$ .

Тогда  $CL - c = 98,4$  м  $- 0,6$  м  $= 97,8$  м; отложив наклонное расстояние 97,8 м на линейке  $gg'$  (черт. 106) по  $AA'$ , прочтем соответствующее горизонтальное положение  $D_1 = +97,0$ . Откладывая затем на той же линейке  $gg'$  величину  $D_1 = +97,0$ , по линейке  $AA'$  получим  $D_2 = +95,7$  м, а по  $xy$  прочтем  $h_2 = +53,90$  м. Выбрав затем из таблицы соответствующие поправки для  $L = 1$  м и  $\alpha = 12^\circ$ , получим окончательные значения:

$$D = +95,7 \text{ м} - 0,8 \text{ м} = 94,9 \text{ м}$$

$$h = +53,90 \text{ м} - 0,15 \text{ м} = 53,75 \text{ м}.$$

В заключение заметим, так как по линейке  $gg'$  можно откладывать расстояния не свыше 200 м, то при употреблении тахиметра Вагнера при расстояниях больших 200, но меньших 400 м, можно поступить следующим образом: отложим сначала на линейке  $gg'$  половину прочитанного по рейке наклонного расстояния, т.-е.  $\frac{CL}{2}$ , и прочтем соответствующее горизонтальное положение по линейке  $AA'$  (черт. 106). Пусть оно будет  $D_1$ , а чтобы получить  $D$  и  $h$ , соответствующие наклонному расстоянию, большему 200 и меньшему 400 м, предварительно получив  $D_1$  и  $h_1$ , соответствующие половине прочитанного по рейке наклонного расстояния, и установив раму  $OK'$  (черт. 106) так, чтобы верньер  $v'$  совпал с нулем делений линейки  $gg'$ , читают по линейкам  $AA'$  и  $xy$  горизонтальное продолжение  $D_2$  и высоту  $h_2$ , соответствующие наклонному расстоянию  $CL = 0$ .

Тогда искомое

$$D = 2D_1 - D_2$$

и

$$h = 2h_1 - h_2.$$

§ 61. Проверки тахиметра Вагнера должны относиться как к частям его, представляющим из себя повторительный теодолит (с ориентир-буссолью, дальномером Эртеля, уровнями на трубе и на горизонтальной ее оси вращения), так и к линейкам его  $gg$   $AA_1$  и  $xy$ , а также и к месту прикрепления осп  $O$  верньера  $Z$ . В тахиметре, как теодолите, нужно проверить следующие условия:

- 1) Верность делений лимба и верньеров алидады.
- 2) Отсутствие в алидаде эксцентрицитета, превосходящего двойную точность ( $20''$ ) верньера, т.-е.  $40''$ .
- 3) Параллельность оси круглого уровня, закрепленного на алидаде вертикальной оси вращения инструмента.
- 4) Совпадение осей вращения лимба и алидады.
- 5) Параллельность оси цилиндрического уровня, помещающегося на горизонтальной оси вращения трубы, с этой осью.
- 6) Перпендикулярность коллимационной плоскости трубы к плоскости лимба. Это условие распадается на две части: а) на параллельность горизонтальной оси вращения трубы и плоскости лимба и б) перпендикулярность оптической оси трубы к горизонтальной оси ее вращения, т.-е. отсутствие коллимационной ошибки в пределах точности отсчитывания по верньерам алидады.
- 7) Надлежащая чувствительность двустороннего уровня, закрепленного на трубе, и параллельность его оси визирной оси трубы см. проверки тахиметра Муано).
- 8) Определение постоянного с дальномером Эртеля и надлежащее положение дальномерных нитей. (Установка подвижных нитей дальномера).



9) Параллельность нулевого диаметра буссоли коллимационной плоскости трубы (поверяется двойным визированием на один и тот же удаленный предмет, — сперва через трубу, а затем через волос, натянутый через нулевой диаметр буссоли, см. § 130 части 1-й).

Установка сетки в положение, при котором дальномерные нити перпендикулярны к вертикальной оси вращения инструмента, делается так же, как в пивелире и тахиметре Муано (§ 52).

От тахиметра Вагнера, как от прибора автоматически дающего горизонтальное проложение и превышение, необходимо требовать выполнения следующих условий:

10) Деления у каждой из трех линеек и их верньеров должны быть равны между собою и, сверх того, деления на линейках и на вертикальном катете проектирующего треугольника должны быть одинаковы. Определенные пены одного деления у каждой из трех линеек делается путем сравнения промежутка в 10—20 делений на каждой линейке с делениями выверенного масштаба.

Неравенство и неодинаковость делений линеек покажет их непригодность к употреблению.

11) Подставки у дополнительного уровня  $u$  (черт. 106) и накладываемого на верхние ребра подвижной и неподвижной линеек должны быть равны.

Поставив уровень на неподвижную (при алидаде) линейку  $AA'$ , приводим подъемными винтами инструмента пузырек его на середину трубки и, заметив места ножек уровня, перекаладываем его на том же месте линейки. При уклонении середины пузырька от середины трубки делаем исправления уровня, передвигая пузырек на половину дуги отклонения исправительными винтами, находящимися снизу у одной (распиленной поперек) из ножек уровня.

12) Верхнее ребро неподвижной линейки на алидаде должно быть прямою линиею, перпендикулярною к вертикальной оси вращения инструмента; верхнее ребро подвижной (при трубе) линейки также должно быть прямою линиею, параллельною визирной оси трубы. Поверхности с делениями у обеих линеек должны быть плоскостями, притом, как и верхние ребра, параллельными коллимационной плоскости трубы.

Приведя плоскость лимба тахиметра в горизонтальное положение и установив пузырек двустороннего уровня  $u''$ , закрепленного на трубе, на середину трубки, накладывают последовательно на верхние ребра линеек выверенный дополнительный уровень  $u$ . Продвигая уровень вдоль по ребрам линеек, замечают, остается ли его пузырек все время на одном и том же месте трубки (на середине). Если при передвижении уровня окажется, что уклонение происходит то к одному, то к другому его концу, то это укажет, что ребра не представляют собою прямых линий. Устранить такой недостаток может только механик. Если же окажется, что пузырек дополнительного уровня, при передвижении по ребру линейки, уклоняется в одну и ту же сторону, то это покажет, что ребро не занимает горизонтального положения. Приведение верхнего ребра подвижной линейки  $gg'$  в надлежащее (при выполнении условия 7-го, горизонтальное) положение достигается исправительными ее винтами (на черт. 106 справа от рамы  $OK'$ , при делении 140 линейки  $gg'$ ). В нижней же линейке надлежащая установка ее ребра достигается винтами, прикрепляющими линейку к подставке, под которыми делаются продолговатые вырезы; благодаря этим вырезам, ребро линейки можно наклонить относительно плоскости лимба. Проверка сторон линеек с делениями делается визированием сперва в трубу, а затем вдоль линеек на один и тот же удаленный предмет. Визирование вдоль ребер и подразделенных сторон может убедить в их прямолинейности. При отсутствии прямолинейности исправление поручается механику. Нарушение их параллельности в коллима-

ционной плоскости трубы требует передвижения линеек по азимуту; это перемещение, если нет исправительных горизонтальных винтов при линейках, поручается также механику.

13) Вертикальный катет  $xу$  проектирующего треугольника должен быть перпендикулярен к верхнему ребру неподвижной линейки  $AA'$  при алидаде.

На верхнее ребро линейки  $AA'$  накладывают выверенный треугольник одним катетом, а к другому катету придвигают проектирующий треугольник и смотрят, совпадает ли ребро  $xу$  с вертикальным катетом наложенного вспомогательного треугольника. Оказавшееся отклонение катета  $xу$  уничтожают перемещением по высоте оси одного из роликов, расположенных при основании треугольника.

14) Ось уровня  $u'$  проектирующего треугольника должна быть параллельна верхнему ребру линейки  $AA'$  при алидаде.

Приведя с помощью дополнительного уровня  $u$  верхнее ребро линейки  $AA'$  в горизонтальное положение, устанавливают на него проектирующий треугольник и смотрят, занимает ли пузырек уровня  $u'$  середину трубки. В случае отклонения середины пузырька, она совмещается с серединой трубки исправительным винтом уровня  $u'$ .

15) Вертикальный катет проектирующего треугольника должен проходить через горизонтальную ось вращения трубы при совмещении нуля верньера  $v'$ , находящегося на горизонтальном катете треугольника с нулем делений неподвижной линейки  $AA'$ , укрепленной на алидаде.

Приведя лимб в горизонтальное положение по уровню  $u$ , устанавливают середину пузырька уровня  $u''$  при зрительной трубе на середину его трубки, совмещают нуль горизонтального верньера  $v'$  с нулем неподвижной линейки  $AA'$  (при алидаде), после чего плотно придвигают вертикальный верньер  $Z$  вместе с рамой  $OK'$  к вертикальному катету установленного проектирующего треугольника и делают отсчет по верньеру  $v''$  рамы  $OK'$  на подвижной линейке  $gg'$ . По переходе трубы через зенит, повторяют установку и отсчет по линейке  $gg'$ . Если отсчеты по линейке  $gg'$  будут равны, то условие выполнено, в противном случае, составив полусумму отсчетов, устанавливают на нее верньер подвижной линейки  $gg'$  и, подвинув к вертикальному верньеру  $Z$  рамы  $OK'$  вертикальный катет проектирующего треугольника, устанавливают нуль верньера  $v'$  (при основании треугольника) исправительными его винтами на нуль линейки  $AA'$  алидады. Перед этой проверкой необходимо убедиться простым рассматриванием, что ось вращения  $O$  верньера  $Z$  проходит через его край.

16) При прохождении вертикального катета проектирующего треугольника через горизонтальную ось вращения зрительной трубы нуль верньера  $v''$  подвижной линейки  $gg'$ , при совпадении края верньера  $Z$  с вертикальным катетом треугольника, должен совмещаться с нулем делений подвижной линейки  $gg'$ .

Совместив нуль верньера  $v'$  горизонтальной линейки  $AA'$  с нулем ее делений и приведя лимб и визирную ось трубы в горизонтальное положение, плотно придвигают раму  $OK'$  с верньером  $Z$  к вертикальному катету  $xу$  проектирующего треугольника и делают отсчет по верньеру  $v''$  линейки  $gg'$ ; если он отличается от нуля более, чем на точность верньера  $v''$ , то исправительными винтами перемещают верньер  $v''$  так, чтобы нуль его совпал с нулем делений линейки  $gg'$ .

17) В то время, когда линейка  $gg'$  находится вправо от трубы, ось вращения  $O$  подвижного верньера  $Z$  рамы  $OK'$  должна при перемещении рамы описывать прямую, параллельную оптической оси трубы, отстоящую от горизонтальной оси вращения  $H$  трубы вниз на 1,5 м, взятых в масштабе нанесения делений на счетные линейки.

Приведа обо счетные линейки, неподвижную  $AA'$  и подвижную  $gg'$ , в горизонтальное положение, продвигают треугольник по линейке  $AA'$  так, чтобы нуль нижнего верньера  $v'$  совпал с нулем делений линейки  $AA'$ . К треугольнику плотно придвигают верньер  $Z$  и на вертикальном катете проектирующего треугольника  $xu$  делают по верньеру  $Z$  отсчет  $a$ . После этого переводят трубу через зенит и повторяют установку линеек и отсчет по верньеру  $Z$ ; пусть он  $=b$ . Если разность  $(b-a)$  отсчетов в масштабе линеек равна  $3 м$ , то условие выполнено; в противном случае берут полуразность  $\frac{1}{2}(b-a)$  отсчетов, вычитают из нее  $1,5 м$  (в масштабе), и если составленная так. образ. разность  $c = \frac{1}{2}(b-a) - 1,5$  получится положительной, то у поверяемого верньера  $Z$  опускают (при втором положении трубы) ось вращения  $O$  (а следовательно, и нуль) на величину  $c$ . Если же  $c$  окажется отрицательной, то ось вращения подымается на величину  $c$ . Для установки оси верньера  $Z$  сверху рамы имеется исправительный винт.

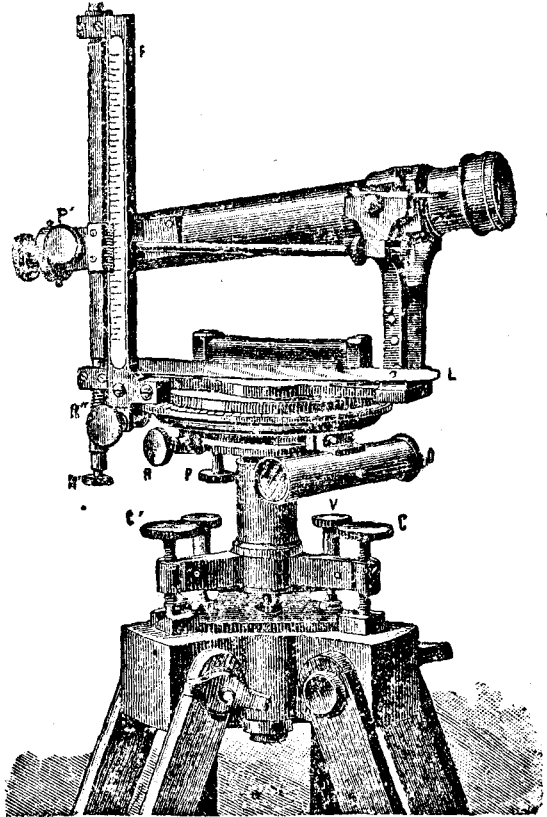
18) При горизонтальном положении неподвижной и подвижной (счетных) линеек тахиметра вертикальные верньеры  $Z$  и  $Z'$  проектирующего треугольника должны давать одно и то же показание на шкале вертикального катета проектирующего треугольника.

Приведа в горизонтальное положение обе линейки, делают отсчеты по обоим верньерам  $Z$  и  $Z'$ . Если отсчеты разнятся более, чем на точность верньера, то левый верньер  $Z'$  передвигают до полного согласия его показания с показанием подвижного верньера  $Z$ . Передвижение возможно, так как под винтами, прикрепляющими верньер  $Z'$  к треугольнику, имеются продолговатые вертикальные прорезы.

§ 62. Тахиметр-автомат французского инженера Санге (черт. 111) отличается от тахиметра Вагнера, главным образом, устройством верхней части, предназначенной для определения расстояний и превышений.

На алидадном круге укреплено неподвижно горизонтальная линейка, поддерживающая справа вилку, служащую подставкой для горизонтальной оси вращения зрительной трубы, слева — вертикальную линейку  $F$  с делениями и по середине — уровень, служащий для приведения плоскости лимба в горизонтальное положение. В трубе помещена обыкновенная сетка, состоящая из двух взаимно-перпендикулярных нитей.

Вертикальная линейка  $F$ , неподвижно укрепленная на горизонтальной линейке алидадного круга, снабжена шкалой делений и имеет на каждом из своих концов по пластинке с цилиндрическим вертикальным отверстием. В этих отверстиях скользят с легким трением цилиндрические оконечности призматиче



Черт. 111.

ского бруска (кулисы), параллельного линейке  $F$  и опирающегося на оконечности вертикального микрометрического винта  $R'$ . Клеши, к которым прикреплен верньер, охватывают кулису и могут двигаться во всю длину; они закрепляются в любой точке кулисы нажимательным винтом  $P'$ . Эти клещи с задней стороны имеют стальной нож, служащий для поддержания трубы со стороны окуляра. Труба справа и слева имеет по стальной линейке — шпонке, параллельной ее визирной оси; этими шпонками она и опирается на нож. Труба опирается на горизонтальную ось вращения, помещенную ближе к объективу, чем к окуляру; горизонтальная ось вращения находится на расстоянии нескольких сантиметров от центра тяжести трубы, а потому труба постоянно давит окулярным коленом на стальной нож.

При визировании на какую-либо определенную точку рейки ослабляют нажимательный винт  $P'$  и передвигают клещи вместе с верньером вверх и вниз по кулисе и тем изменяют наклонение трубы; после этого микрометрический винт  $R'$  дает возможность точно визировать крестом нитей на данную точку; отсчет по верньеру на шкале  $F$  будет соответствовать данному наклонению трубы.

Независимо от этого действия винтов  $P'$  и  $R'$ , наклонение трубы можно изменить еще и при помощи следующего приспособления у трубы. Гайка микрометрического винта  $R'$  рычагом соединена с концом короткого плеча горизонтального рычага  $L$ , имеющего горизонтальную ось вращения, всажennую в линейку  $F$  с задней ее стороны. Оконечность длинного плеча рычага  $L$  плотно прилегает к одному из четырех штифтов — кнопок, вделанных в вилку подставки горизонтальной оси вращения трубы и расположенных на ней по дуге круга, центр которого совпадает с осью вращения рычага  $L$ ; концы у этих штифтов спилены по наклонной плоскости. Если нажимательный винт  $P'$  закреплен, труба давит своей тяжестью на кулису, а через нее и на винт  $R'$ , его гайку и короткое плечо рычага  $L$ , вследствие чего длинное плечо постоянно плотно прилегает к одному из четырех штифтов вилкообразной подставки; если плечо  $L$  осторожно сдвинуть, например, с нижнего штифта, то оно с силою стремится кверху и прикасается ко второму снизу штифту; одновременно с этим понижается и короткое плечо рычага  $L$ , а через это понижается и окуляр трубы. Так как длинное плечо рычага  $L$  может иметь четыре различных прикосновения к вилке, по числу имеющихся налицо четырех штифтов, то и оптическая ось трубы может иметь четыре угла наклонения, соответственно четырем положениям рычага  $L$ , независимо от положения клещей на кулисе. При переходе из одного положения в другое труба вращается около горизонтальной оси. Установив длинное плечо рычага  $L$  на один из штифтов, можно, действуя винтами  $P'$  и  $R'$ , визировать трубою на любую точку рейки и делать отсчеты по горизонтальной нити.

**§ 63. Теория тахеметра Санге.** Пусть (черт. 112)  $HH_1$  — горизонтальная линия  $T$  — ось вращения трубы тахеметра,  $F$  — вертикальная его шкала,  $F_1$  — рейка, разделенная на части метра, вертикально поставленная для определения горизонтального расстояния  $D$  ( $TD$ ) от инструмента; назовем через  $o$ ,  $a$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  четыре штифта, помещенные на подставке трубы: 1) совместив рычаг  $L$  со штифтом  $o$  (нижним), ослабляем нажимательный винт  $P'$  и наклоняем трубу рукою до тех пор, пока в поле зрения покажется нуль  $O$  рейки, потом микрометрическим винтом  $R'$  точно наводим горизонтальную нить на точку  $O$  (нуль) рейки  $F_1$ <sup>1)</sup>, пусть при этом труба займет положение  $L_1T$ ; 2) передвигаем рычаг  $L$  к штифту  $a$ , окуляр трубы понизится; пусть труба займет положение  $L_2T$  и на рейке прочтем  $A$  делений; 3) переместив рычаг к штифту  $\beta$ , приведем трубу в положение  $L_3T$  и на рейке прочтем  $B$  делений; наконец, 4) при установке рычага на штифт  $\gamma$ , труба займет направление  $L_4T$  и на рейке прочтем  $C$  делений, считая от точки  $O$  (нуля).

<sup>1)</sup> Или какое-либо целое число делений.

Если бы рейка помещалась от инструмента на расстоянии одного метра, напр., в  $F_2$ , то отсчеты на рейке, соответствующие тем же четырем положениям  $o$ ,  $a$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  рычага  $L$  и трубы, были бы иные; пусть они —  $O$  (нуль)  $a$ ,  $b$ ,  $c$ .

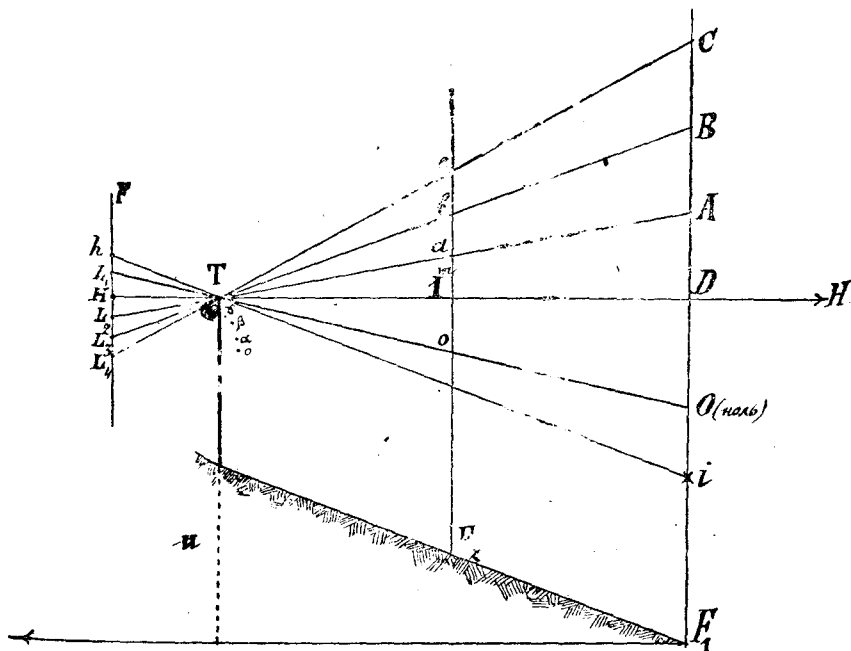
Из подобия треугольников очевидно, что

$$\frac{D}{1 \text{ м}} = \frac{A}{a} = \frac{B}{b} = \frac{C}{c} = \frac{B-A}{b-a} = \frac{C-A}{c-a} = \frac{C-B}{c-b} \dots \dots \dots (I)$$

На основании свойства равных геометрических отношений также получим:

$$\frac{D}{1 \text{ м}} = \frac{A+B}{a+b} = \frac{A+C}{a+c} = \frac{B+C}{b+c} = \frac{A+B+C}{a+b+c} \dots \dots \dots (II)$$

Отсюда для определения горизонтального положения  $D$  мы имеем целый ряд диастиметрических отношений, а именно, 6 из (I) формулы и 4 из (II);



Черт. 112.

но достаточно одного из них, чтобы знать  $D$ ; прочие могут служить для проверки; первые три отношения называются основными, а остальные производными. Итак, для определения расстояния необходимо знать один из отсчетов  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и ему соответственный  $A$ ,  $B$ ,  $C$ .

Обозначив через  $d$  расстояние  $TH$  шкалы  $F$  от оси  $T$  вращения трубы, из подобия треугольников можно написать:

$$\frac{1}{d} = \frac{a}{L_1 L_2} = \frac{b}{L_1 L_3} = \frac{c}{L_1 L_4};$$

откуда:

$$a = \frac{L_1 L_2}{d}, \quad b = \frac{L_1 L_3}{d}, \quad c = \frac{L_1 L_4}{d},$$

здесь  $L_1 L_2$ ,  $L_1 L_3$ ,  $L_1 L_4$  могут быть получены, как разности отсчетов по верньеру на шкале  $F$ ,  $L_1 L_2 = (L_2 - L_1)c$ . Здесь  $c$  — цена одного деления, а  $d$  — расстояние шкалы  $F$  от оси  $T$  вращения трубы — также может быть измерено, а потому и постоянные отношения  $a$ ,  $b$ ,  $c$  для данного инструмента будут известны.

В тахиметре Санге штифты  $o$ ,  $a$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  размещаются так, что  $a=0,010$ ;  $b=0,018$ ;  $c=0,022$ , а следовательно,  $b-a=0,018-0,010=0,008$ ;  $c-a=0,022-0,010=0,012$ ;  $c-b=0,022-0,018=0,004$ ; очевидно, что самое простое отношение есть  $a=0,01$ .

Пользуясь, им получим:

$$\frac{D}{1 \text{ м}} = \frac{A}{0,01} \text{ или } \boxed{D=100 A}.$$

Заслуживает особого внимания отношение:

$$\frac{D}{1 \text{ м}} = \frac{A+B+C}{a+b+c} = \frac{A+B+C}{0,050} = 20 (A+B+C);$$

вообще, если будем означать отсчеты  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$ , ... на рейке через  $n$ , а отношения, им соответствующие, через  $r$ , то равенство (II) можно написать в виде:  $\frac{D}{1 \text{ м}} = \frac{\sum n}{\sum r}$ . Это равенство служит основным при контроле отсчетов на рейке.

Таким образом, искомое расстояние определяется по формуле:  $D=100 A$  и контролируется вновь определением его по формуле:

$$D=20 (A+B+C)$$

или

$$A+B+C=5 A.$$

Само собою разумеется, что если бы расстояние от инструмента до рейки было очень велико, или наклон местности был слишком велик при малых расстояниях, то на рейке нельзя было бы сделать некоторых отсчетов, напр.,  $C$ ; тогда пришлось бы довольствоваться двумя отсчетами  $A$  и  $B$  и соотношениями:  $D = \frac{A}{a}$  и  $D = \frac{B-A}{b-a}$ , т.е.  $D=100 A$  и  $D = \frac{B-A}{0,008} = 125 (B-A)$ .

Определение превышений. Превышение  $u = Di$ , как легко видеть из треугольников  $TDi$  и  $THh$ , найдется, если будут известны два отсчета на шкале  $F$ : один  $H$ , соответствующий горизонтальному положению визирной оси, когда рычаг  $L$  стоит на штифте  $o$ , и другой  $h$ , когда горизонтальная нить наведена на метку  $i$  на рейке, определяющую высоту инструмента. Действительно, если допустим, что отсчет на шкале  $F$ , при горизонтальном положении трубы и при совмещении рычага  $L$  с нижним штифтом  $o$ , есть  $H$ , а отсчет на той же шкале, при наведении на метку  $i$  высоты инструмента на рейке, есть  $h$ , то из чертежа видно, что  $c(h-H):d = u:D$ , где  $u$  есть превышение точки стояния инструмента над точкой стояния рейки,  $c$  — цена одного деления шкалы  $F$ , тогда:

$$u = \frac{(h-H)c}{d} \cdot D \dots \dots \dots (III)$$

В формуле (III) дробь  $\frac{(h-H)c}{d}$  выражает уклон оптической оси трубы или линии местности, или тангенс угла наклона оптической оси трубы и  $\frac{c}{d} = k$  (постоян. велич.).

Положим в этой формуле отсчет  $H$  равным нулю (для упрощения),  $D=100$  метрам,  $d$  — расстоянию шкалы  $F$  от оси вращения трубы, тогда можно вычислить  $h$  для различных значений  $u$ , данных в долях метра; нанеся эти вычисленные значения  $h$  на шкалу  $F$ , подписывают их так, чтобы они в метрах и их долях выражали превышение  $u$  для расстояния 100 метров. Если расстояние  $D_1$  не равно 100 метрам, то отсчет  $h$ , сделанный на шкале  $F$ , придется умножить на отношение  $\frac{D_1}{100}$  для получения превышения  $u$ . Обыкновенно нуль делений находится на середине шкалы и при том так, что при совмещении нуля верньера с нулем шкалы при начальном положении рычага  $L$  (у кнопки  $o$ )

визирная ось трубы перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента (горизонтальна); деления, идущие от нуля вниз, выражают повышения, а потому сопровождаются знаком плюс, а верхние деления, отсчитываемые при понижении местности, означены знаком минус.

Из теории тахиметра вытекает его употребление для определения расстояний и превышений. Для превышений необходимо сделать два отсчета: один  $H$ , предварительно поставив рычаг  $L$  у кнопки  $o$ , а пузырек уровня параллельного визирной оси трубы — на середину трубки (или на место нуля вертикальной шкалы установить верньер), и другой  $h$ , наводя горизонтальную нить трубы на метку рейки, находящуюся от ее пятки на расстоянии  $i = \text{высоте инструмента}$ . Полученную разность  $(h - H)$  надо умножить на отношение  $(D : 100)$ , и что и даст искомое превышение  $u$ .

Ориентировка лимба по магнитному или истинному меридиану делается при посредстве буссоли — трубы, помещенной под лимбом; в ней стрелка имеет оба конца, загнутые кверху, при чем один конец виден непосредственно, а другой — через отражение в зеркальце, помещенном над шпилем стрелки; при точной ориентировке оба конца кажутся совмещенными, или продолжениями друг друга. Отсчитывание азимутов делается так же по лимбу, как и в других тахиметрах.

§ 64. Проверка тахиметра Санге состоит в исследовании следующих условий:

- 1) Перпендикулярности оси уровня, укрепленного на линейке алидадного круга, к вертикальной оси вращения инструмента.
- 2) Горизонтальности одной из нитей сетки.
- 3) Перпендикулярности коллимационной плоскости трубы к плоскости азимутального круга: [а) перпендикулярность визирной оси к горизонтальной и б) параллельность последней к плоскости лимба].
- 4) Места нуля вертикальной шкалы.
- 5) Места нуля для азимутов.
- 6) Верности делений рейки и правильности диастиметрических отношений или положения штифтов на подставке трубы.

При исследовании условия а) третьей проверки трубу приходится переключать в лагерах, перевернув верхнюю стороною вниз. Исправление делается горизонтальными винтами сетки. Условие б) той же проверки исследуется или при помощи тонкой нити с отвесом, как в пантометре, при чем для уничтожения колебаний отвеса его погружают в сосуд с водой, или посредством уровня, поставленного на цапфы горизонтальной оси трубы; исправление делается винтом, помещенным при подставке трубы, под левой цапфой, смотря со стороны окуляра.

Для проверки места нуля вертикальной шкалы измеряют превышение двух точек, находящихся друг от друга на расстоянии 150—200 метров, ставя инструмент сначала в одной точке, а рейку в другой, потом переменяют места инструмента и рейки, пользуясь уровнем параллельным визирной оси. При выполнении условия, отсчеты на вертикальной шкале  $F$  должны получиться равные с противоположными знаками и их полусумма равна нулю; если же полусумма отсчетов не нуль, то эта полусумма и будет местом нуля; поставив на нее верньер, при помощи нажимательного винта  $P'$  и микрометрического  $R$ , и закрепив винт  $P'$ , передвигают верньер исправительным при нем винтом так, чтобы совместить его нуль с нулем шкалы  $F$ .

Ту же проверку можно сделать при помощи особого, прилагаемого к инструменту, двустороннего уровня, следующим образом. Приводят инструмент в горизонтальное положение посредством его уровня при алидаде, поместив предварительно двусторонний уровень справа у трубы и вертикальный верньер на нуль шкалы  $F$ . Приводят пузырек двустороннего уровня микрометрическим винтом  $R$  на середину и делают по шкале отсчет  $\varphi_1$ . Изменяют азимут трубы на 200 град, устанавливая пузырек уровня при трубе, если нужно, снова на середину винтом  $R$  и делают на шкале отсчет  $\varphi_2$ . Полусумма  $\frac{1}{2} (\varphi_1 + \varphi_2)$  даст место нуля шкалы для одной стороны уровня. Вращают затем трубу около ее опти-

ческой оси так, чтобы переместить уровень на левую сторону, т.-е. переключают трубу и лагерах, затем повторяют вышеуказанный прием, делая отсчет  $\varphi_3$  при первом азимуте и  $\varphi_4$  — при втором.

Среднее арифметическое из алгебраической суммы  $\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4$  дает отсчет на шкале, соответствующий горизонтальному личу зрения. Установка верньера делается также, как указано выше. Здесь само собой предполагается, что касательные к обеим сторонам оборотного уровня параллельны визирной оси трубы (см. также тахемер Муано).

Исследование условия 6-го делается подобно тому, как поверка дальномерных нитей в дальномерных трубах. Помещают центр тахеметра и рейку на концах точно измеренного на ровной и возможно горизонтальной местности базиса в 100,10 метра. (Здесь 0,10 метра есть расстояние от горизонтальной оси вращения трубы до центра инструмента, которое должно быть придаваемо к вычисленному по отсчету на рейке, при известном отношении, расстоянию от рейки до горизонтальной оси вращения трубы). Тогда расстояние от оси вращения трубы до рейки равно 100 метрам. Обыкновенно рейка разделена на сантиметры. При верности отношений  $a = 0,010$ ,  $b = 0,018$  и  $c = 0,022$  на рейке должно получить при соответственных положениях рычага отсчеты:  $A = 100 \text{ м } 0,010 = 1 \text{ м} = 100$  сантиметрам,  $B = 100 \text{ м } 0,018 = 180$  сантиметрам,  $C = 100 \text{ м } 0,022 = 220$  сантиметрам. Если ни один из этих отсчетов не уклоняется от теоретического значения больше чем на  $\pm 0,05$  метра, шкалу расстояний можно считать верною.

Если уклонения более значительны, притом все имеют один и тот же знак и пропорциональны соответственным отношениям  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , ошибки надо приписать неточности измерения базиса или неверности делений рейки, и если относительные уклонения не превышают  $\frac{1}{1000}$ , ими пренебрегают, так как такие уклонения возможны даже при точных измерениях расстояний стальной лентой.

Если уклонения непропорциональны отношениям или не имеют общего знака, то надо убедиться в правильности делений рейки, для чего делают новые ряды отсчетов, изменяя каждый раз начальную точку визирования (перемещая рейку вертикально)<sup>1)</sup>.

Если деления рейки окажутся верными, о чем заключают по постоянству разностей отсчетов, то изменяют амплитуды размахов рычага между штифтами, для чего подпиливают (плоским четырехгранным подпилком) соответствующие штифты; при этом необходимо возможно чаще проверять результаты спиливания, повторяя начальную установку рычага и отсчеты на рейке.

Пример:

Отношения . . . . .	1,010;	0,018;	0,022;
Отсчеты на рейке . . . . .	100,10;	180,20;	220,15;
Теоретические . . . . .	100,00;	180,00;	220,00;
Уклонения . . . . .	+0,10;	+0,20;	+0,15.

Так как отношение 0,018 дает самый значительный избыток, то ставят рычаг на соответствующий штифт  $\beta$ ; визируют горизонтальною нитью на деление 180,00 рейки; тогда прочие отсчеты при установках рычага  $L$  на штифты  $\alpha$  и  $\gamma$  получатся уменьшенными на 0,20, т.-е. на столько же, на сколько уменьшился отсчет ( $b$ ), поэтому вместо 0,00, при установке рычага на штифт  $O$  (нуль), прочтем—0,20; вместо 100,10 . . . 99,90 (рычаг на штифте  $\alpha$ ); вместо 220,15 . . . . . 219,95 (рычаг в  $\gamma$ ). Подпиливают кнопки  $\alpha$ ,  $\gamma$  так, чтобы при установке на них рычага получились отсчеты 0,00; 100,00; 220,00, если в начале рычаг установлен на кнопке  $\beta$  и труба на отсчет 180 (виштыми  $P'$  и  $R'$ ).

Условия (1), (2) и (5) могут быть поверяемы известными уже способами.

<sup>1)</sup> Верность делений рейки можно точнее исследовать сравнением с верным масштабом.



§ 65. Некоторые практические замечания относительно употребления тахеметра Санге. I. Для проверки отсчетов азимутов на лимбе Санге предложил, так называемые, дополнительные верньеры, основное свойство которых состоит в том, что сумма отсчетов числа минут по этим двум верньерам, сделанных при одном и том же положении алидады, равна числу минут, т.е. сотых града, которые надо придать к непосредственно сделанному отсчету на лимбе (по индексу нормального верньера). Эти верньеры расположены рядом, а их нули отделены друг от друга дугою в 15 град; целые части обоих отсчетов на лимбе должны поэтому всегда различаться на 15 град. Очевидно, что нормальный 1-й верньер можно устроить так, что число град, прочтенных по нему, и число град, прочтенных по одному из дополнительных верньеров, будут различаться на 200 гр. (или 180°).

Пусть нормальный верньер имеет точность  $t_1$ , напр.,  $t_1 = 0,02$  гр., и лимб подразделен на градусы, тогда:

$$0,02 \text{ гр.} = t_1 = \frac{1 \text{ гр.}}{n + 1}, \text{ т.е. } n + 1 = 50,$$

а дополнительные верньеры оба одинаковой точности  $t_2 = t_3 = 0,05$  гр. устроены так, что сумма отсчетов числа минут по ним равна отсчету числа минут по нормальному верньеру, а разность отсчетов числа минут по дополнительным верньерам дает 0,1 числа минут с главного (нормального) верньера. Пусть далее на основном (нормальном) верньере сливается  $n_1''$  штрих с каким-либо штрихом лимба, тогда отсчет по нормальному верньеру будет  $= n_1 t_1$ , а на дополнительных пусть  $n_2''$  и  $n_3''$  штрихи сливаются, т.е. отсчеты по ним соответственно равны  $n_2 t_2$  и  $n_3 t_3$ .

По условию:

$$n_1 t_1 = t_2 (n_2 + n_3) \dots \dots \dots (1)$$

и  $0,1 n_1 t_1 = t_2 (n_3 - n_2) \dots \dots \dots (2)$

Складывая, а затем вычитая эти равенства, найдем:

$$1,1 n_1 t_1 = 2 n_3 t_2 \dots \dots \dots (3)$$

$$0,9 n_1 t_1 = 2 n_2 t_2 \dots \dots \dots (4)$$

Делением последних двух равенств (3) и (4) почленно получим:

$$11 : 9 = n_3 : n_2 \dots \dots \dots (5)$$

Сопоставляя это отношение с равенством (1) и заменяя в нем  $n_1$  через 50, т.е. полагая, что последний штрих основного верньера сливается с соответствующим ему штрихом лимба, получим, после замены  $t_1 = 0,02$  и  $t_2 = 0,05$ :

$$100 = 5 (n_2 + n_3) \text{ или } n_2 + n_3 = 20 \dots \dots \dots (6)$$

Таким образом, видим из (5), что для любых значений  $n_2$  и  $n_3$  отношение их  $n_2 : n_3 = 9 : 11$ , а когда  $n_1 = 50$ , то по (6) соответственно  $n_2 + n_3 = 20$ , а это возможно, когда  $n_2 = 9$ , а  $n_3 = 11$ ; следовательно, в первом дополнительном верньере должно быть 9, а во втором 11 частей, т.е. для построения первого взята дуга в 8 гр. и разделена на 9 частей, а во втором взята дуга в 10 гр. и разделена на 11 частей.

Но к тому же заключению можно прийти и несколько иным путем.

Если означим через  $x$  ту часть, которую надо прибавить к целому числу градусов, указываемому индексом 1-го верньера, чтобы получить полный отсчет по этому обыкновенному (нормальному) верньеру, то первый из дополнительных верньеров Санге устроен так, что дает отсчет  $x_1 = 0,45 x$ , а второй  $x_2 = 0,55 x$ , так что всегда  $x_1 + x_2 = x$ , и  $x_2 - x_1 = 0,1 x \dots (a)$ , сверх того  $x_2 > x_1$ .

Предположим, что лимб разделен на градусы, и рассмотрим, как должны быть устроены два дополнительных верньера, которые давали бы части в 0,05 гр.

непосредственным отсчитыванием. Мы знаем, что всякий отсчет  $x_1$ , сделанный по дополнительному верньеру, связан с действительным отсчетом  $x$ , который получился бы по нормальному верньеру, соотношением  $x_1 = 0,45 x$ , откуда  $x = \frac{x_1}{0,45}$ . Так как подпись каждого штриха 1-го дополнительного верньера означает номинально 0,05 гр., то, в частности, когда  $x_1 = 0,05$  гр., т.-е. когда совпадает 1-й штрих дополнительного верньера, она представляет, согласно равенства  $x = \frac{x_1}{0,45}$ , часть, равную  $\frac{0,05 \text{ гр.}}{0,45} = \frac{1}{9}$  града. Следовательно, такой верньер получим, разделив на девять равных частей дугу, оавную восьми делениям лимба.

Но если бы каждому делению верньера приписать его действительное значение  $\frac{1}{9}$  града, отсчет по верньеру дал бы возможность узнать весь прибавок  $x$ ; но так как, по предложению, отсчет по верньеру должен представлять только 0,45 прибавка  $x$ , то подписывают каждое из делений первого верньера, представляющее  $\frac{1 \text{ гр.}}{9} \times 0,45 = 0,05$  гр. цифрами от 0 до 45 сотых града. Для второго верньера будем иметь:  $x_2 = 0,55 x$ ; откуда:  $x = \frac{x_2}{0,55} = \frac{0,05 \text{ гр.}}{0,55} = \frac{1}{11}$  града.

Его назначают, разделяя на 11 равных частей дугу, содержащую десять делений лимба, и подписывают цифрами от 0 до 55 одиннадцать полученных делений, приписывая каждому из них номинальное значение в 0,05 града.

Если, подставляя отсчеты в равенства (а), убеждаются, что для угла (азимута) не удовлетворяется второе соотношение, то это указывает на ошибку, сделанную в отсчетах.

Действительно, допустим, что ошибка  $\pm \varepsilon$  сделана в первом отсчете  $x_1$ , следовательно, отсчитано  $x_1 \pm \varepsilon$ . Будем иметь:

1)  $\Sigma x = (x_1 \pm \varepsilon) + x_2 = (x_1 + x_2) \pm \varepsilon_1 = x \pm \varepsilon$ , если означим через  $x_1$  и  $x_2$  верные отсчеты.

2) Разность двух отсчетов:  $\Delta x = x_2 - (x_1 \pm \varepsilon) = (x_2 - x_1) \mp \varepsilon = 0,1 x \mp \varepsilon$ .

3) Из равенств (1) следует, что при верных отсчетах разность  $\frac{\Sigma x}{10} - \Delta x$  должна быть всегда = 0. А потому, заменив  $\frac{\Sigma x}{10}$  и  $\Delta x$  их величинами из равенств (1) и (2), получим, в случае существования ошибки  $\pm \varepsilon$ , что

$$\frac{\Sigma x}{10} \approx \Delta x \frac{x \pm \varepsilon}{10} - (0,1 x \pm \varepsilon) = \pm 0,1 \varepsilon \pm \varepsilon = \pm 1,1 \varepsilon.$$

Если же через  $\pm \varepsilon$  означим ошибку, сделанную в отсчете по второму верньеру, найдем, что  $\frac{\Sigma x}{10} - \Delta x = \mp 0,9 \varepsilon$ .

В таком случае, когда оба отсчета одинаково ошибочны, невозможно обнаружить существование ошибки.

Пример 1-й. Пусть сделаны отсчеты 254,42 и 269,51. Разность их целых частей = 269 - 254 = 15 гр.;  $x_1 = 0,42$ ;  $x_2 = 0,51$ ;  $\frac{x_1 + x_2}{10} = 0,093$ ;  $x_2 - x_1 = +0,09$ ;  $x_2 > x_1$ , и равенства (а) выполняются до 0,003 града.

Пример 2-й. Пусть по основному верньеру сделан отсчет  $x = 0,72$  гр., тогда при точности  $t_1 = 0,05$  гр., естественно ждать, что  $n_2 + n_3 = 14$  или 15, ибо 0,72 гр. = 0,05 ( $n_2 + n_3$ ) или  $n_2 + n_3 = 0,72 : 0,05 = 14$  (или 15), т.-е. или  $n_2 = n_3 = 7$ , или  $n_2 = 7$ , а  $n_3 = 8$ . Если  $n_2 = 7$  и  $n_3 = 8$ , то  $(n_3 - n_2) t_2 = 0,05$  гр., и  $0,1 \times 0,72 = 0,072$  близко подходит к 0,05 гр. Если же  $n_2 = n_3 = 7$ , то  $(n_3 - n_1) t_1 = 0$  и не согласуется с условием  $0,1 n_1 t_1 = t_2 (n_3 - n_2)$ . Таким образом, выгоднее взять  $x_1 = 0,35$  гр., а  $x_3 = 0,40$  гр., чем  $x_1 = x_3 = 0,35$  гр.

II. Тахиметром Санге можно производить геометрическое нивелирование при помощи горизонтального луча зрения; для этого ставят нуль верньера кулпсы на нуль вертикальной шкалы  $F$ , направляют крест нитей трубы на рейку, приводят пузырек уровня на алидаде уравнительными винтами строго на середину трубки и делают на рейку сначала взгляд назад, а затем — вперед; при этом инструмент предполагается помещенным на середине между нивелируемыми точками. Средняя ошибка во взглядах не превышает  $0,0001 D$  (где  $D$ —расстояние).

III. Для прецизионного нивелирования прикрепляют к трубе двусторонний уровень и, приведя уровень в горизонтальное положение при посредстве уровня на алидаде, поступают следующим образом:

- 1) делают первый взгляд назад, а затем первый взгляд вперед;
- 2) переложив трубу нижней стороною вверх, делают вторые взгляды назад; перед каждым отсчетом на рейке ставят пузырек двустороннего уровня строго на середину трубки посредством микрометричного винта  $K'$  кулпсы.

Для производства нивелирования, кроме изложенных выше поверок, необходимо требовать центрирования нитей (совпадения оптической оси трубы с геометрической).

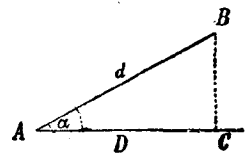
IV. Тахиметр Санге дает возможность определить направление истинного меридиана по способу соответственных высот; для этого наблюдают солнце при четырех высотах до прохождения его через меридиан, соответственно четырем положениям рычага  $L$ , а также и после его прохождения через меридиан.

V. Средняя относительная ошибка в определении расстояний тахиметром Санге не превышает  $0,002$ .

## ГЛАВА IV.

§ 66. Задачи, решаемые по плану с горизонталями. По плану с горизонталями можно решать целый ряд задач; мы остановим наше внимание лишь на некоторых из них, имеющих значение преимущественно на практике.

Задача 1-я. Определить угол наклона линии местности, заданной по плану двумя точками. При решении этой задачи необходимо обратить внимание, какие именно горизонтали пересекает заданная линия: так, если все горизонтали равно удалены друг от друга, т.е. каждые две соседние горизонтали отсекают от прямой одинаковые промежутки, то заданная по плану прямая имеет один и тот же угол наклона на всем своем протяжении; если же промежутки между горизонталями не равны, то заданная прямая может быть разбита на несколько отрезков, из которых каждый имеет свой угол наклона. Вследствие этого можно сказать, что задача о нахождении угла наклона данной линии на плане сводится к рассмотрению решения того случая, когда обе заданные точки лежат на двух соседних между собою горизонталях. Прежде всего определим по масштабу плана длину  $D$  заданной по плану прямой  $AC$  (черт. 113), т.е. заложение наклонной прямой  $AB$ . Отвесное расстояние  $h = BC$  между горизонтальными сечениями (или, иначе, между горизонталями) должно быть или дано, или определено из надписей горизонталей по плану. Из чертежа видно, что при  $BC = h$



Черт. 113.

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{D}{h} = \frac{AC}{BC}.$$

Чтобы определить по этому котангенсу соответствующий ему угол, не прибегая к логарифмическим таблицам, употребляют масштаб заложений

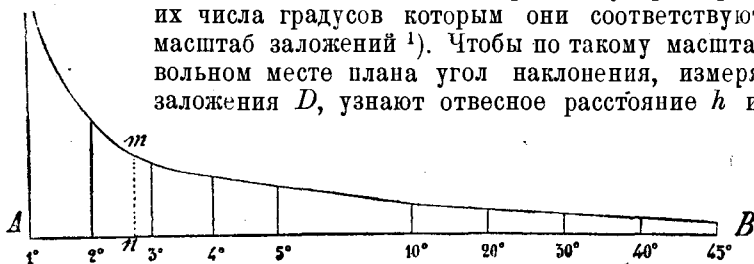
(или, иначе, шкалу заложений), — который обыкновенно строится на плане, например, по таблице заложений, соответственно избранному  $h$ . Если в формуле  $\text{ctg } \alpha = \frac{D}{h}$  сделаем  $h = 1$ , а  $\alpha$  равным последовательно:

$1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ$  и  $45^\circ$ , то вычисление дает следующую таблицу заложений  $D$ :

Таблица заложений при $h = 1$ м.													
Углы накл.	$1^\circ$	$2^\circ$	$3^\circ$	$4^\circ$	$5^\circ$	$10^\circ$	$15^\circ$	$20^\circ$	$25^\circ$	$30^\circ$	$35^\circ$	$40^\circ$	$45^\circ$
Заложение $D$ в метрах.	57,3	28,7	19,1	14,3	11,5	5,7	3,8	2,8	2,2	1,8	1,5	1,2	1,0

Такая таблица может быть вычислена для различных значений  $h$ ; из нее может быть получено как заложение  $D$  по данному углу  $\alpha$ , так и наоборот: по данному заложению  $D$  легко отыщется искомым угол наклона  $\alpha$ .

Масштаб заложений или, иначе, масштаб крутостей строится так: на прямой  $AB$  (черт. 114) откладываются произвольные, но равные между собою по длине, промежутки, и из точек отложения восставляют перпендикуляры, на них в масштабе плана наносят вычисленные заложения  $D$ .



Черт. 114.

Наконец, соединив концы перпендикуляров кривою и подписав у подошв их числа градусов которым они соответствуют, получим требуемый масштаб заложений<sup>1)</sup>. Чтобы по такому масштабу определить в произвольном месте плана угол наклоения, измеряют циркулем по плану заложения  $D$ , узнают отвесное расстояние  $h$  и делят  $D$  на  $h$ ; напр.:

при  $h = 1$  заложение  $D = 16,7$  м; тогда, взяв по масштабу плана  $16,7$  м, определяют то место масштаба заложений, которое равно этому раствору циркуля;

пусть оно будет  $mn$ . Так как  $mn$  отстоит от заложения в  $2^\circ$  примерно на  $\frac{3}{4}$  всего расстояния между заложениями для  $2^\circ$  и  $3^\circ$ , то искомым угол наклоения покатости есть  $2\frac{3}{4}^\circ$ . Если  $D$  соответствует не двум соседним горизонталям, то, разумеется, его необходимо делить не на  $h$ , а на  $nh$ , где  $n$  число промежутков между равноотстоящими горизонталями, пришедшихся по длине  $D$ .

Так как масштаб крутостей изменяется с изменением  $h$  и с изменением масштаба плана, то для определения угла наклоения по плану с горизонталями необходимо, чтобы на каждом таком плане был начертан и масштаб крутостей.

Если по плану требуется определить высоту точки, лежащей между двумя горизонталями, то надо измерить по масштабу плана заложение  $D$  между данными горизонталями, затем расстояние  $d_1$  и  $d_2$  заданной точки до обоих гори-

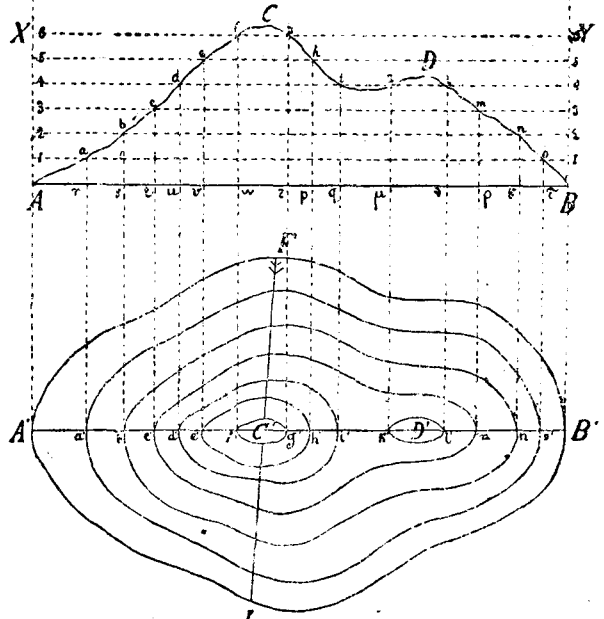
<sup>1)</sup> Заложения можно было бы для углов, не превышающих  $15^\circ$ , нанести просто вдоль прямой  $AB$ , но для большей наглядности их откладывают на перпендикулярах. Если точность масштаба не велика, то концы этих перпендикуляров можно соединить вместо кривой прямой, но то и другое будет равносильно допущению пропорциональности изменения  $\text{ctg}$  изменению угла, и тогда промежутки на прямой  $AB$  можно брать произвольными и не равными между собою.

горизонталей и, зная отвесное расстояние  $h$  между горизонтальными сечениями, искать превышение  $x$  данной точки над нижней горизонталью  $x : h = d : D$ , т.е.

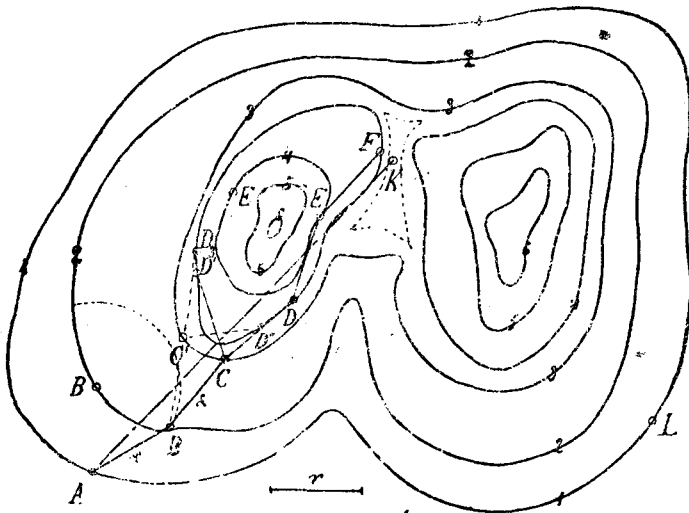
$$x = \frac{h}{D} d.$$

Задача 2-я. По плану с горизонталями требуется вычертить профиль местности, т.е. ее разрез вертикальной плоскостью по направлению линии  $A'B'$  (черт. 115).

Цифрами 1, 2, 3....6 на чертеже обозначены номера горизонталей, образовавшихся от сечения местности горизонтальными плоскостями, счет которых начинается от нижней точки  $A'$  или  $B'$ . Пусть эти секущие плоскости отстоят друг от друга на отвесном расстоянии  $h$ , которое для решения задачи должно быть дано. Проведем на бумаге прямую  $AB$  (черт. 115, верх), на которой отложим последовательно длины  $Ar = A'a'$ ,  $As = A'b'$ ,  $At = A'c'$ ....  $AB = A'B'$ , в каком-либо масштабе, например, масштабе плана; далее из точек отложения  $r, s, t, u, v, w, \dots \mu, \nu, \rho, \sigma, \tau$  восстановим перпендикуляры и нанесем на перпендикуляре  $ra$  высоту  $h$ , на перпендикуляре  $sb$  высоту  $2h$ , на  $tc$  —  $3h$ , на  $ud$  —  $4h$ , на перпендикулярах  $wf$  и  $zg$  — по  $6h$  (ибо точки  $f$  и  $g_1$  лежат на одной горизонтали), и так поступаем далее, откладывая все высоты на перпендикулярах, напр., в масштабе в 10 раз крупнее масштаба плана. Очевидно, что точки  $A, a, b, c, d, \dots C, g, \dots k, D, l, m, \dots B$  изображают точки местности, а потому, соединив их прямыми, получим профиль местности по линии  $A'B'$ . Подобным же образом можно построить профиль по прямой  $IF$  или ломаной  $A'C'F$  или  $IC'B'$ .



Черт. 115.

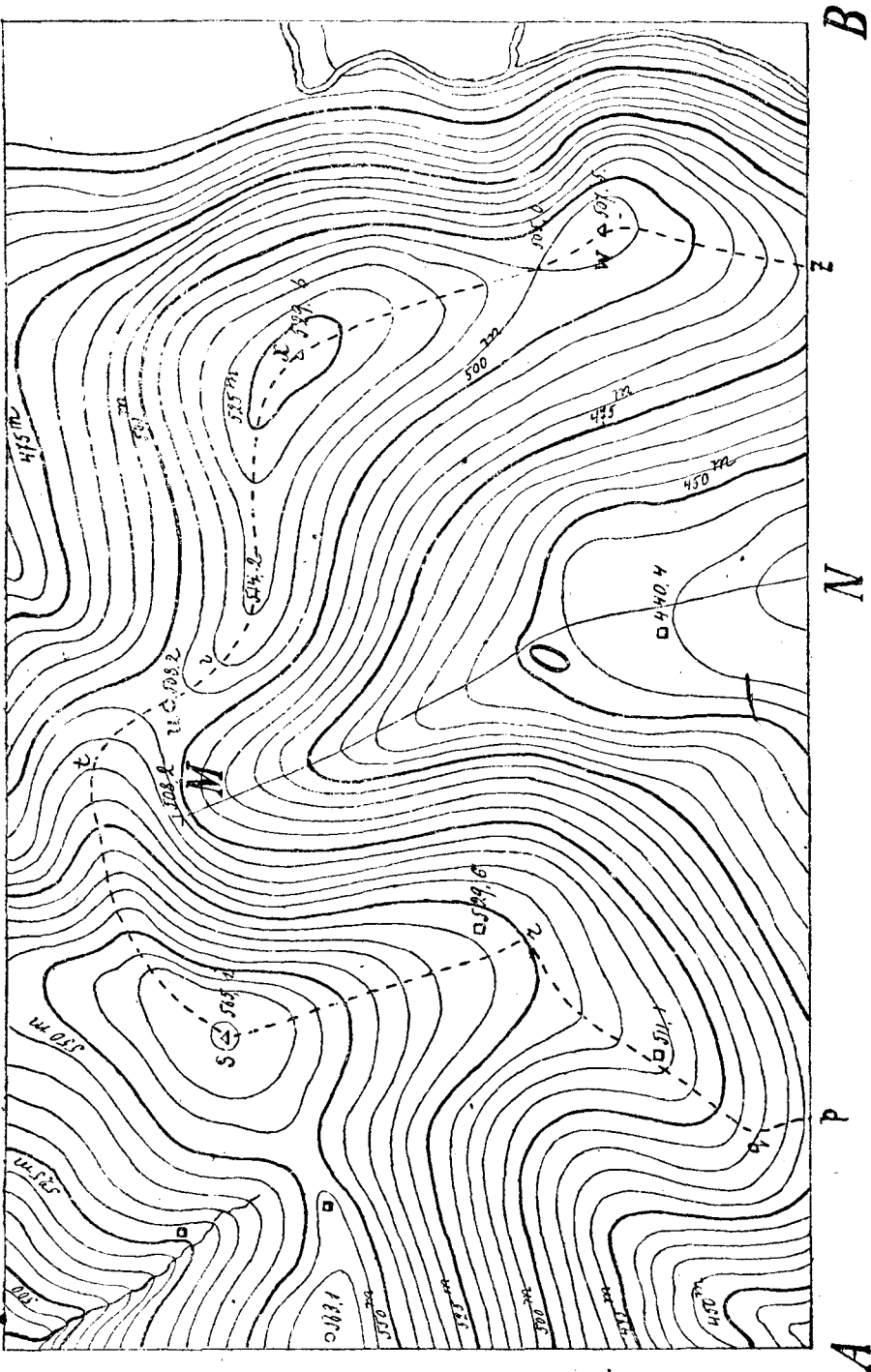


Черт. 116.

спроектировать кратчайшую линию данного уклона между двумя данными пунктами, т.е. провести ее так, чтобы ее уклон везде равнялся заданной величине, например, 0,008 и нигде не пришлось бы делать при этом

Задача 3-я. По плану с горизонталями требуется

выемок и насыпей. Пусть черт. 116 представляет часть плана с двумя данными точками *A* и *K*, которые нужно соединить линией данного уклона. По масштабу



плана берем циркулем заложение  $D$  для угла  $\alpha$ , для которого  $\text{tg} = 0,008$ , т.е.  $D = k : 0,008 = 125 k$  и, поставив одну его ножку в точку *A*, описываем

другую ножкою дугу, пересекающую следующую, вторую горизонталь в двух точках  $B'$  и  $B$ . Направление по линии  $ArB$  выгоднее, чем по  $AB'$ , ибо  $AB$  ближе подходит к прямой линии  $AK$ , соединяющей  $A$  с  $K$ . Далее из точки  $B$  засекают третью горизонталь тем же радиусом  $r$ , равным заложению  $D$ , в  $C'$  и  $C$ ; выбрав точку  $C$ , лежащую несколько ближе к  $K$ , получают дальнейшее направление линии заданного уклона. Подобным же образом из точек  $C$  (или  $C'$ ) можно засесть четвертую горизонталь в точках  $D$  и  $D'$  (или  $D''$  и  $D_3$ ) и за окончательное направление взять  $CD$ . Наконец, последнее колено заданной линии будет  $EF$ .

Очевидно, что решение задачи не всегда возможно; так, если бы за первое колено требуемой линии приняли не  $AB=r$ , а  $AB'$ , то из  $B'$  (на чертеже точка  $B'$  лежит левее точки  $B$ ) нельзя было бы засесть третью горизонталь радиусом  $r=D$ , ибо  $r$ , равное  $D$ , меньше кратчайшего расстояния по плану между двумя соседними горизонталями (считаемого по нормали к ним в точке  $B_1$ ). Задача также была бы невозможна, если бы  $r$  оказался более наибольшего отрезка между горизонталями. Если бы заданная линия была осью дороги, то, разумеется, дорогу желательнее иметь всегда с меньшим числом поворотов и с возможно меньшим уклоном, не превышающим предельного (не упуская, однако, из вида, что линия должна быть кратчайшей), а потому 1-й случай является более благоприятным, чем второй, ибо тогда неизбежны выемки. При проектировании дороги отрезки между горизонталями не должны быть менее вычисленного заложения  $D$ .

Надо указать, между прочим, и на то, что при проложении дороги на местности нужно в некоторых местах ее сделать достаточно длинные горизонтальные площадки, служащие для отдыха. Предварительно эти площадки назначаются на плане.

Задача 4-я. По данному плану с горизонталями (черт. 117) определить площадь бассейна водотека (талвега)  $MON$  для точки  $N$  пересечения его линией  $ANB$  данного направления.

Бассейном реки, ручья или оврага для данной их точки или, иначе, водосборную площадь принято называть ту площадь, с которой вода, образуемая от атмосферных осадков (дождя, снега, таяния льда) или вообще верхняя вода, согласно условиям рельефа (по расположению скатов) должна вся скатиться в избранную речку, балку или овраг (водотек), притом выше (по течению) данного места  $N$  их пересечения указанной линией  $ANB$  и затем пройти через это место пересечения.

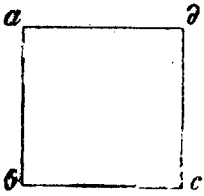
При определении площади бассейна долины  $MON$  мы прежде всего обращаем наше внимание на повышенные точки, окружающие заданный тальвег, а именно: вершины  $s$  (565,1),  $x$  (529,6) и  $w$  (507,5) и седловины  $u$  (503,5) и 505,0 (между  $x$  и  $w$ ). От этих повышенных точек по направлению к оси  $MON$  образуются скаты, являющиеся щеками интересующей нас долины. Границей щек, несущих воду в долину, служит водораздельная линия или хребтовая линия. Избрав вершину  $s$  за исходную точку границы бассейна, мы проводим хребтовые линии  $sr$ ,  $rq$ ,  $qp$  с западной части и  $st$  и  $tu$  — с севера. От седловины  $u$  поднимаемся до вершины  $x$  — на юго-восток и с нее спускаемся к седловине 505,0 на юго-восток. Отсюда поднимаемся к вершине  $w$  (507,5) и к югу от нее спускаемся по хребту  $wz$  до линии  $AB$ . Площадь  $pqrstuvwzNp$  можно принять за искомую водосборную площадь.

Правильность назначения бассейнов по карте зависит главным образом от умения быстро читать неровности местности по горизонталям.

## Г Л А В А V.

### Мензульная съемка.

§ 67. Предварительные понятия. В предшествующих главах мы рассмотрели горизонтальную и вертикальную съемку, как метод, в основу которого положено соби́рание цифровых данных для линейных и градусных величин, а именно: длин линий, углов наклонов, углов поворотов, азимутов, а также и для отметок точек земной поверхности. Как неизбежное следствие такого приема, являлась необходимость в обработке собранного материала, и только после ряда вычислений являлась возможность построения изображения снятой местности в виде плана или профиля. Преимуществом такого способа съемки являлась возможность построения изображения в любом масштабе и в возможности восстановления границ ранее существовавшего (во время съемки) контура. Но рядом с этим способом существует и другой прием съемки—графический, устраняющий исключительное соби́рание цифровых данных и дающий возможность по отношению к горизонтальной съемке избежать домашних работ в виде вычислений и накладки плана. Главная особенность такой съемки состоит в том, что горизонтальные проекции углов и линий, связанных этими углами, получаются графически путем вычерчивания и вырисовки контуров по правилам построения на бумаге фигур, подобных данным, однако, без употребления транспорта при нанесении углов на бумагу, т.-е. план снимаемой местности вычерчивается в поле, попутно во время самой съемки, и является непосредственным следствием полевых действий. Очевидно, что этот способ съемки обладает наглядностью и требует от съемщика аккуратности и верности глаза при вырисовке изгибов контуров. Он позволяет почти тотчас же заметить сделанные промахи, так как местность постоянно перед глазами. В нем отсутствует требование от съемщика навыка в вычислениях, равно как и наличности знаний у съемщика приемов, выработанных теорией и практикою в составлении плана и профиля по цифровым данным; все это делает второй прием съемки, по видимому, более простым и легким. Существенным недостатком второго способа является то обстоятельство, что подлинный план можно составить только один раз в том масштабе, который заранее выбран. Такая съемка называется, как уже сказано, графическою или мензульною.



Черт. 118.

Последнее название происходит от инструмента, на котором чертится план в поле; он имеет вид стола и называется мензулою<sup>1)</sup>. Необходимую составную часть мензулы является хорошо выструганная гладкая планшетная доска. Мензульной или планшетной доске придают вид квадрата (черт. 118) и на ней укрепляют лист чистой планной бумаги. Нередко и план, полученный мензульной съемкой, называют планшетом. Чтобы на мензульной доске получить в поле фигуру, подобную горизонтальной проекции данной фигуры на местности, необходимо:

- 1) приводить планшет в горизонтальное положение,
- 2) устанавливать данную точку на планшете над соответствующей ей точкой местности и обратно,
- 3) рассматривать прямую линию на плане как след пересечения планшета вертикальной плоскостью, проходящею через линию местности,
- 4) иметь при мензуле прибор, позволяющий осуществлять вертикальную плоскость, и уметь совмещать эту плоскость с линиею местности,

<sup>1)</sup> Название взято с латинского языка: *mensa* — стол, *mensula* — столик.

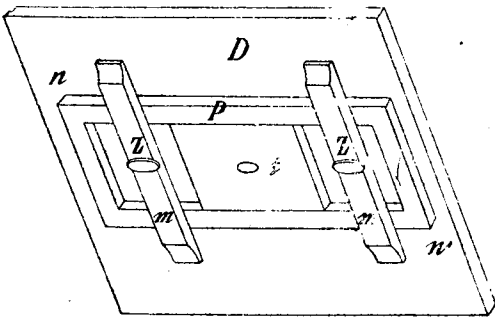


5) уметь отмечать линию пересечения планшета с вертикальной плоскостью

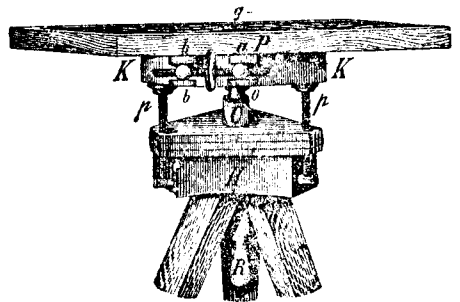
и 6) уметь линию на планшете ставить в одну отвесную плоскость с линией местности.

Совокупность последовательного выполнения этих условий приведет нас к умению поставить мензультную доску в любом пункте данного контура так, как будто планшет в эту новую данную на местности точку из начальной точки контура был передвинут в горизонтальной плоскости параллельно самому себе. Прием установки планшета в такое положение, при котором линии плана становятся в соответственно параллельное положение линиям местности, называется ориентированием планшета. На умении ориентировать планшет и основана графическая съемка.

§ 68. Устройство мензулы. Всякая мензула состоит из планшетной доски, подставки и штатива. По виду подставок мензулы сильно различаются друг-от-друга и часто по этим последним носят свое название. Подставка связывает доску со штативом и предназначается как для более быстрого и точного приведения мензулы в горизонтальное положение, так и для центрирования, т. е. для установки доски над данной точкою местности. Существует, например, подставка в виде втулки с кругом; втулка надевается на шип (цапфу) штатива, а круг винтами снизу привертывается к мензультной доске,—это так называемая „малая блок-мензула“. Приведение ее доски в горизонтальное положение делается перестановкою ножек штатива. Иногда штатив мензулы с круглою головкою связывают с планшетною доскою более массивною подставкою, оканчивающеюся наверху шипом—цапфою, и тогда мензула называется „большая блок-мензула“. Распространенная в СССР мензула—мюнхенская, системы Рейсига, усовершенствованная нашим Военно-Топографическим Управлением. Верхняя доска (или планшет) у мюнхенской мензулы склеена из сухого липового дерева со всеми столярными предосторожностями так, чтобы она от сырости не коробилась. Верхняя поверхность доски представляет плоскость. С обратной стороны в доску *D* врезаны металлические гнезда для винтов *z* двух планок *m* (черт. 119), которыми планшет соединяется с рамою *ппн'* подставки.



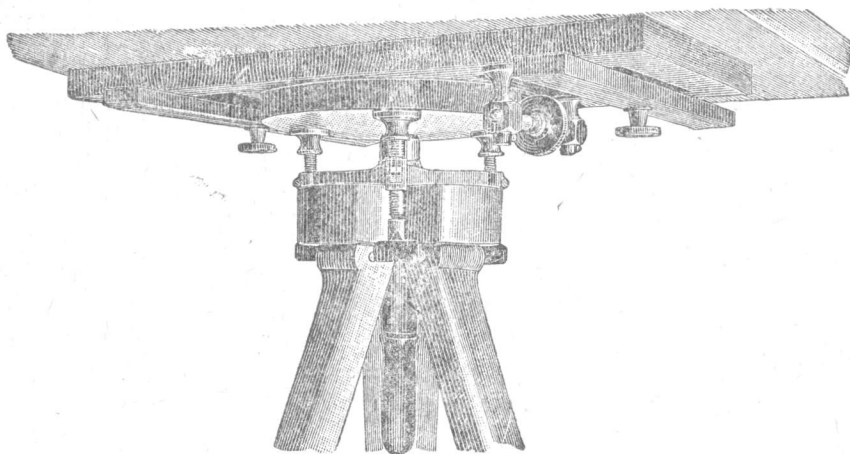
Черт. 119.



Черт. 120.

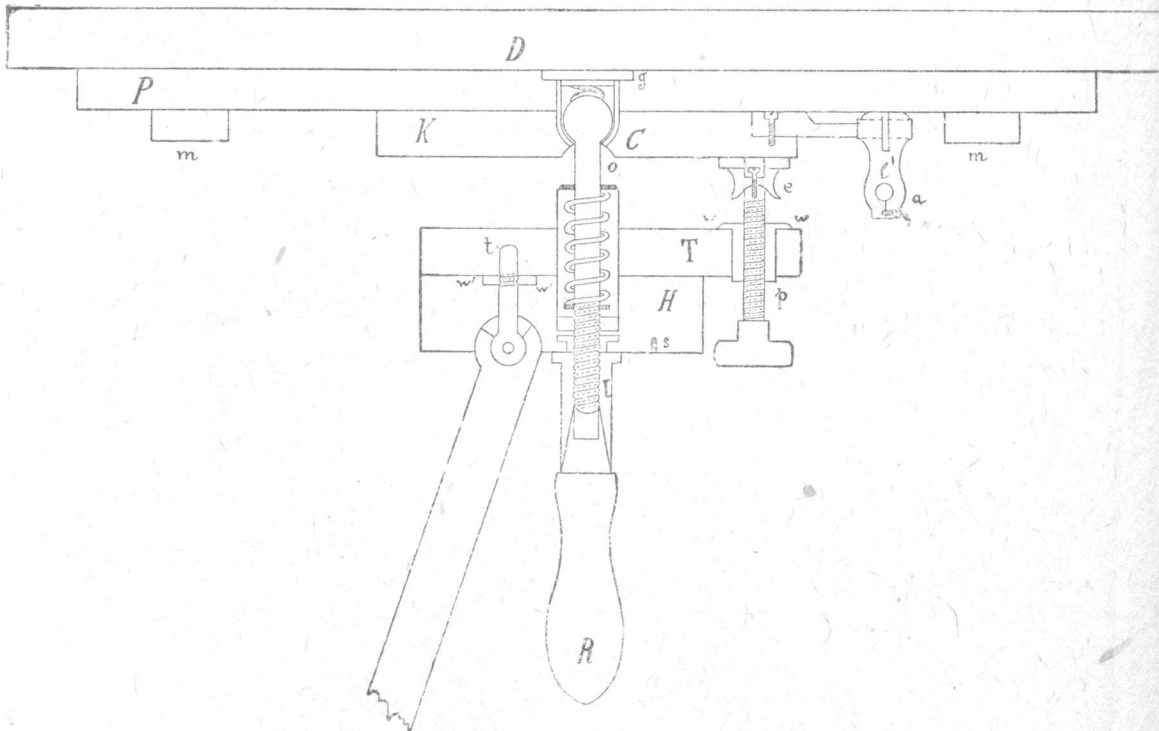
Мензула Военно-Топографического Управления изображена в перспективе на чертежах 120 и 121, а в разрезе—на чертеже 122. Подставка ее накладывается на голову *H* мюнхенского штатива и удерживается на ней от вращательного движения тремя шипами. Сама подставка состоит из трех досок: 1) из доски *T*, имеющей вид равностороннего треугольника с округленными углами; через середину ее проходит маталлический цилиндр *C*, а по краям три подъемных винта *μ*, 2) из накладывающейся на подъемные винты круглой доски *K* и 3) из прямоугольной доски *P*, накладывающейся на доску *K*. Винты *p* имеют гнезда *w* в доске *T* и оканчиваются наверху шлячками *e*. На чертеже 121 доска *T* заменена тремя металлическими рукавами. Доска *K*, а вместе с ней и *P* вра-

щаются, скользя на верхних концах подъемных винтов  $p$  около вертикальной оси  $o$ ; доски соединены между собою цилиндром с гайкой  $g$  (черт. 122), притом так,



Черт. 121.

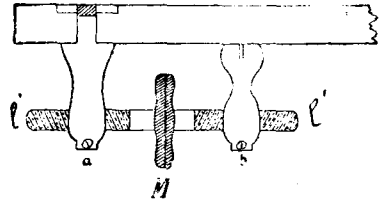
что доска  $P$  может еще сверх того самостоятельно поворачиваться на доске  $K$ . К доске  $P$  прикреплены клещи  $a$ , а к кругу  $K$ —клещи  $b$  (черт. 120 и 123).



Черт. 122.

Проходящим через эти клещи микрометрическим винтом с двойной нарезкой  $l$  и  $k$  и грифом—пятачком  $M$  (черт. 120, 121 и 122), собственно и можно сооб-

щать медленное вращение доске  $P$  на доске  $K$ . Через середины досок  $P$ ,  $K$  и цилиндр  $C$  проходит становой винт, служащий вертикальною осью вращения  $O$ ; он представляет стержень, оканчивающийся наверху шариком (яблоком), а внизу винтовой нарезкой, на которую навинчивается гайка  $l$  с рукояткою  $R$  (черт. 122). Становой винт служит для притягивания на-крепко досок  $P$  и  $K$  к верхней части  $e$  подъемных винтов  $p$ , т. е. для прекращения грубого вращения досок  $P$  и  $K$  около вертикальной оси. Шляпки  $e$  устроены так, что могут наклоняться на концах подъемных винтов, а через это доска  $K$  при всяком положении подъемных винтов может плотно к ним прилегать. Яблоко имеет продольный прорез, в который приходится горизонтальный шип верхнего цилиндра  $C$ . В цилиндре помещается вокруг станowego винта спиральная пружина, сжимающаяся под действием подъемных винтов. Между гайкой  $g$  и яблоком станowego винта также имеется небольшая спиральная пружина. На чертеже 123 отдельно показано устройство микрометричного винта  $M$ . Прямоугольная продолговатая доска  $P$  (черт. 122) иногда состоит из рамы  $nn'$ , в середине которой закрепляется доска  $t$  (черт. 119). Этой-то частью рама  $P$  собственно и кладется на круг  $K$ . На доску  $P$  накладывается планшет  $D$  и закрепляется при ней посредством деревянных планок  $m$  проходящими через них винтами  $z$  <sup>1)</sup>.

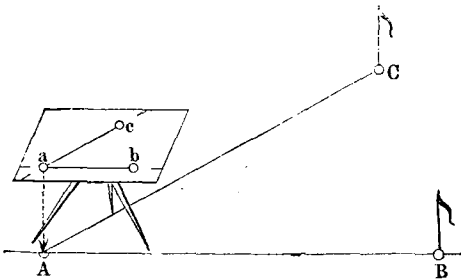


Черт. 123.

Вместо деревянной подставки, состоящей из двух досок  $T$  и  $K$  (черт. 122), за последнее время стала встречаться металлическая подставка; в общем она напоминает треножник теодолита на 3 подъемных винтах, привинчиваемый к голове легкого французского штатива станowym винтом с свободной спиральной пружиной, подтягиваемой к голове штатива наверхивающейся на становой винт гайкою, служащей точкой опоры для спирали.

На вертикальной оси треножника помещается медный круг, к которому привертывается тремя винтами мензурный планшет. Верхний круг подставки (а вместе с тем и мензурная доска) имеет нажимательный винт и микрометричный винт с цилиндрической пружиной (контр-спиралью); механик Герлях заменяет этот микрометричный винт микрометричным винтом с двойной нарезкой и грифом по средине (черт. 123), так как контр-спираль, при значительной тяжести доски, легко сжимается и дает нежелательные отклонения ориентированному и установленному планшету. Благодаря солидности подставки и присутствия нажимательного винта, мензула получает большую устойчивость и не требует при употреблении постоянного то опускания, то закрепления станowego винта.

§ 69. Построение на мензуре горизонтального проложения угла и необходимые принадлежности мензулы. Если представим себе, что мензурная доска приведена в горизонтальное положение и находится над вершиною угла  $CAB$  (черт. 124)



Черт. 124.

какой-либо точки местности так, что вершина этого угла и точка, намеченная на мензурной доске, оклеенной плановой бумагою, находятся на одной вертикальной линии, а также вообразим себе отвесные плоскости через обе стороны угла на местности, то эти вертикальные плоскости оставят на мензуре следы в виде прямых  $sa$  и  $ba$ , пересекающихся в намеченной на мензуре точке  $a$ . Оче-

<sup>1)</sup> Если доска  $P$  сплошная, то каждая скоба  $m$  имеет по два винта  $z$ .

видно, эти пересекающиеся линии дадут на мензуре (если линии проведем, напр., карандашом) графически горизонтальное проложение  $cab$  угла местности  $CAB$ .

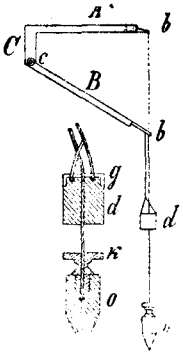
Отсюда следует, что одна мензула не может служить для съемки, а при ней должны находиться еще и следующие принадлежности:

1) уровень, устанавливаемый на доску,

2) прибор для установки точки местности и ее изображения на мензуре на одну отвесную линию, или, иначе—вилка с отвесом (черт. 125),

3) прибор, позволяющий проводить отвесные плоскости через стороны угла местности, проходящие через точку, наменную на мензуре, т.-е. дающий возможность визировать вдоль сторон угла и чертить следы отвесных плоскостей визирования, — это алидада (с диоптрами), черт. 126, или кипрегель (со зрительной трубой), черт. 127,

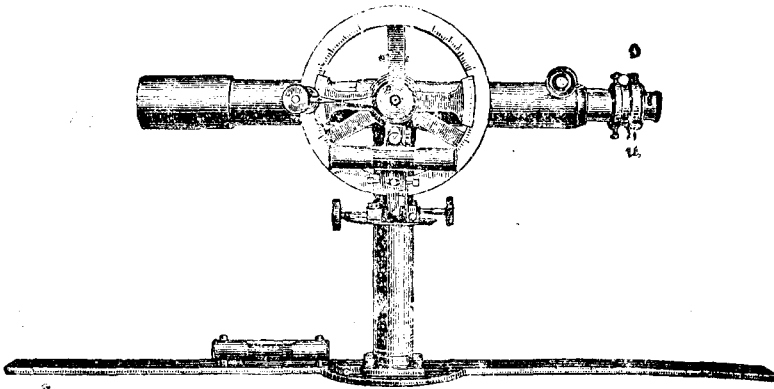
4) прибор, с помощью которого ребро планшета  $ab$  можно было бы ставить по одному и тому же направлению относительно стран света в любой точке местности. Таким прибором является буссоль. (См. черт. 138 и 137).



Черт. 125.



Черт. 126.



Черт. 127.

**§ 70. Проверка мензулы.** От мензулы требуется выполнение следующих условий:

1) Мензула должна быть устойчива, т.-е. после закрепления станového винта раз установленный планшет не должен изменять своего положения при легком прикосновении к нему рук съемщика, или от передвижения по нему принадлежностей мензулы. Это условие проверяется так: убедившись простым осмотром, что винты  $w'$  (черт. 120) у головы  $H$  мюнхенского штатива, винтики  $b$  (черт. 120) у клещей микрометричного винта хорошо закреплены, приводят планшетную доску в горизонтальное положение подъемными винтами с помощью уровня, кладут на нее визирный снаряд, напр., алидаду, и, закрепив становой винт, визируют через диоптры на какую-нибудь точку местности, проводя на планшете карандашом черту вдоль ребра линейки этого снаряда; потом легким нажимом пальца сбоку на угол доски, выводят ее немного из первоначального положения. Отстранив палец от доски и убедившись предварительно в том, что ребро линейки визирного снаряда осталось у прочерченной на планшете линии, смотрят, не сдвинулся ли волосок визирного снаряда с той точки местности, на которую было сделано визирование. Если нет, то условие соблю-

дено. Если условие проверено дважды — прикладыванием пальца с обеих сторон угла доски, то говорят, что мензула только пружинит, т.-е. мензула достаточно устойчива; в противном случае надо обнаружить то место подставки или штатива, которое порождает шатание, и, в случае надобности, произвести исправление.

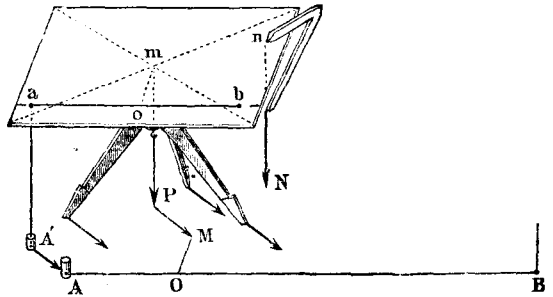
2) Верхняя поверхность планшета должна быть плоскостью. Это условие поверяется так: прикладывают к поверхности доски по различным направлениям ребро выверенной линейки; если оно каждый раз плотно, без просветов, прилегает к доске, то условие выполнено. Исправление поручается опытному столяру или механику.

3) Верхняя плоскость планшета должна быть перпендикулярна к вертикальной его оси вращения. Доску приводят при помощи выверенного уровня в горизонтальное положение, затем постепенно вращают планшет около его вертикальной оси и наблюдают, не сходит ли пузырек уровня с места. Если нет, то условие выполнено; в противном случае исправление поручается механику.

§ 71. Описание принадлежностей мензулы и их поверки. I. Уровень служит, как известно, для приведения плоскости инструмента, в настоящем случае плоскости планшета, в горизонтальное положение. При мензуле употребляется или круглый уровень, или один цилиндрический, или два цилиндрических, сложенных под прямым углом. Иногда уровень не составляет отдельной принадлежности мензулы, а прикрепляется к линейке алидады или кипрегеля (черт. 127).

II. Вилка состоит из трех планок *A*, *B* и *C* (черт. 125). Планки *A* и *C* составляют одно склеенное целое, планка *B* вращается на шарнире *c*, она длиннее планки *A*. Нить с отвесом *o* закрепляется у нижней планки *B*; ее продолжение *bb* проходит через острие *b* верхней планки *A* тогда, когда *B* отогнута и планка *A* горизонтальна. Двойной отвес (с противовесом *d*) гарантирует более быструю установку нити в отвесное положение при любой высоте мензулы.

Вилка служит для центрирования мензулы. Для этого предварительно центрируют мензулу и приводят ее в горизонтальное положение на глаз; после чего вилку кладут на горизонтальную доску мензулы (на планшет) (черт. 128), прилаживая ее с той стороны планшета, с которой вилка ляжет большей частью планки *A* на планшет; ослабив затем винты *z* (черт. 119) у планок *m* планшета и удерживая острие вилки у точки *n* (черт. 128) на планшете, двигают планшет по под-



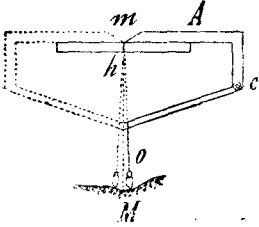
Черт. 128.

ставке *P* (черт. 122) мензулы до тех пор, пока конец отвеса вилки установится над точкою *N* местности. Проектирование точки местности *A* (черт. 124) на мензулу делается так: установив мензулу горизонтально над точкою *A* местности, кладут вилку на мензулу и двигают вилку по доске до тех пор, пока конец отвеса *o* совпадет с точкою *A* местности; острие *b* дает проекцию *a* точки *A* (черт. 124).

От вилки нужно требовать, чтобы при горизонтальном положении верхней планки *A* ее острие *b* и конец отвеса *O* лежали на одной отвесной линии. Для проверки условия кладут вилку на мензулу два раза (черт. 129) с двух различных сторон и проектируют точку *m* два раза на землю. Если проекции не совпадут в одну точку, то вилка неверна. Второе положение вилки сделано пунктиром на чертеже 129. При достаточно длинном брусѣ *B* у неверной вилки меняют место закрепления отвеса. Если брус *A*

будет длиннее требуемой величины, то перемещают медную пластинку с острием  $b$  по нижней плоскости планки  $A$ .

Вилку употребляют, если мензурная съемка (черчение плана в поле) ведется в крупном масштабе, тогда площадь круга некоторого радиуса  $r$ , взятая на земной поверхности, перестает на планшете изображаться в виде точки. И так как за точку при графической



Черт. 129.

съемке на плане можно принять длину в  $\frac{1}{100}$  сантиметра, то понятно, что число метров в радиусе  $r$  круга, исчезающего на мензуре (назовем его кругом исчезновения), будет зависеть от масштаба съемки. Если масштаб съемки, напр.,  $\frac{1}{1000}$ , т.-е. в 1 сантиметр 100 метров, то  $\frac{1}{100}$  сантиметра на планшете будет соответствовать 1,0 метра на местности, а для масштаба  $\frac{1}{1000}$  — 0,1 метра.

В первом случае линии местности, меньшие 1 метра, а во втором — меньшие 0,1 м на планшете не вырисуются. Обратное, каждая точка на планшете в первом случае будет соответствовать на земле кругу исчезновения, радиуса в 0,5 м (с диаметром в 1,0 м), а потому уклонение в центрировке на 0,5 метра не будет сказываться на планшете. Во втором же случае уклонения точек планшета от соответствующих им точек местности, достигающие полудиаметра круга исчезновения, т.-е. 0,05 метра, уже будут оказывать влияние на положение — снимаемых точек на мензурный лист, а потому при масштабах в 1 сантиметре 10, 5, 2, 1 метра вилка должна употребляться; при масштабах 50, 100 метров в сантиметре и больше вилка уже не употребляется.

III. Алидада или линейка со скошенными ребрами, длиною почти равная стороне планшета, с находящимися на концах ее диоптрами (черт. 130) служит, для визирования на точки местности и проведения на планшете линий визирования. Медная линейка при продолжительном употреблении алидады марает бумагу, наклеенную на планшете, а потому во избежание этого, нижняя ее поверхность подклеивается бумагой. В каждом из диоптров сделан как узкий, так и широкий прорез, вследствие чего каждый из них может быть употребляем и за глазной и за предметный.



Черт 130.

Для получения на планшете посредством алидады направления линии визирования на предмет местности, нужно, после центрировки мензулы и приведения доски ее в горизонтальное положение, приложить скошенное ребро линейки алидады к данной на планшете точке, визировать через диоптры на соответственную точку местности, для чего передвигать алидаду по мензуре, следя свободным глазом за тем, чтобы скошенный край оставался около данной точки, а волосок предметного диоптра покрывал бы точку местности и прочертить карандашом линию по скошенному ребру линейки.

Алидада должна удовлетворять следующим условиям:

1) Нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью, а скошенные ребра ее — прямыми линиями. Эти условия поверяются так же, как и в простой чертежной линейке.

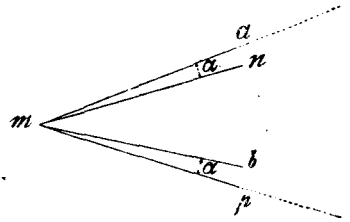
2) Если на линейке алидады прикреплен цилиндрический уровень, то требуется, чтобы ось уровня была параллельна нижней плоскости линейки.

3) Коллимационные плоскости диоптров должны быть перпендикулярны к нижней плоскости линейки. Проверка этого условия делается так же, как и в буссоли с диоптрами, т.-е. с помощью нити с отвесом, для чего планшет приводится в горизонтальное положение.

Обыкновенно проверяют и другую коллимационную плоскость.

4) Коллимационная плоскость должна или совпадать с одним из скошенных ребер линейки, или быть ему параллельна. Втыкают в доску на взаимном расстоянии, несколько меньшем длины линейки алидады, две тонкие иглы. Это делается с помощью чертежного прямоугольного треугольника, при чем один катет его прикладывается к планшету, а иголки втыкаются по направлению другого катета. К воткнутому таким образом иголкам прикладывают ребро алидады, поворачивая осторожно доску, направляют движением доски одну из коллимационных плоскостей алидады на точку отдаленного предмета и смотрят, покрывают ли обе иглы ту же точку предмета? Если да, то условие выполнено. Строго говоря, это покрытие будет выполнено только тогда, когда коллимационная плоскость проходит через ребро линейки (как у алидады, черт. 126), и не параллельна ему; но в виду ничтожности расстояния коллимационной плоскости от ребра линейки сравнительно с расстоянием от мензулы до предмета, волосок диоптра будет покрывать ту же точку даже и тогда, когда коллимационная плоскость только параллельна ребру, а не совпадает с ним. Точно так же поверяется и другая коллимационная плоскость.

Это условие можно поверять, как сейчас увидим, не особенно строго, потому, что оно совсем не имеет влияния на точность построения угла на мензуле, а имеет значение только при употреблении на ней буссоли. В виду же того, что точность отсчетов по буссоли есть  $\frac{1}{4}$  градуса, достаточно, если настоящее условие будет выполнено с точностью до  $\frac{1}{8}$ . Убедимся теперь пока в том, что несоблюдение настоящего условия не влияет на точность построения на мензуле угла. Действительно, пусть при точке  $m$  (черт. 131) на планшете должен быть угол  $amb$ , заключающийся между истинными направлениями на точки  $A$  и  $B$  местности. Допустим, что плоскость визирования составляет со скошенным ребром линейки некоторый угол  $\alpha = amn$ , тогда, вместо линии  $ma$  мы будем иметь линию  $mn$ ; точно так же вместо линии  $mb$  — линию  $mp$ . Из чертежа ясно видно, что при употреблении во время визирования на точку  $B$  местности того же ребра линейки и той же коллимационной плоскости, что и при визировании на точку  $A$ , линия  $mp$  составит с  $mb$  угол  $bmp$ , равный  $\alpha$ . Следовательно, начерченный на планшете угол  $nmp$  равен действительному углу  $amb$ .



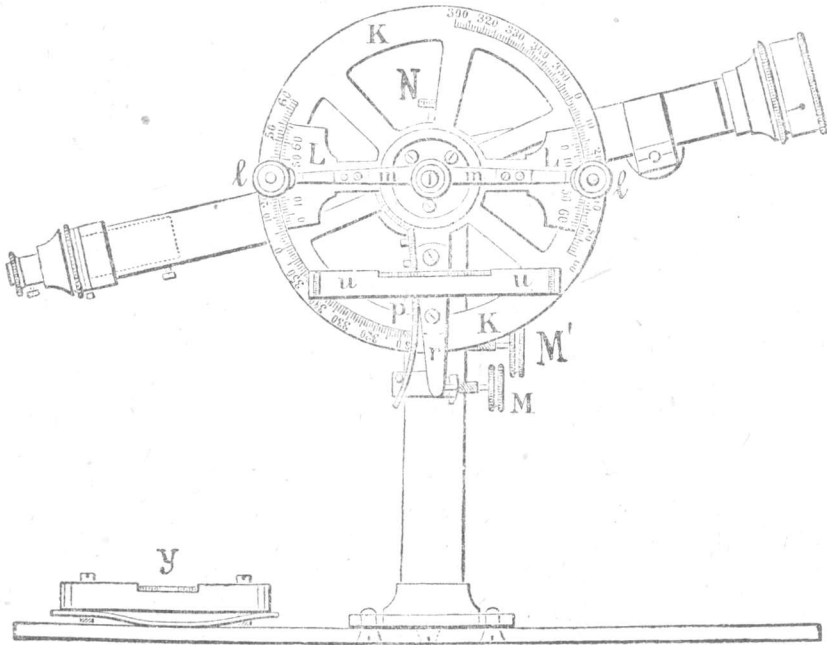
Черт. 131.

Итак, несоблюдение настоящего условия не имеет значения для величины углов при прочерчивании по планшету линий по одному и тому же ребру линейки алидады: поэтому во все время продолжения съемки нужно употреблять одну и ту же коллимационную плоскость и одно и то же ребро.

IV. Кипрегель Главного Штаба <sup>1)</sup> (черт. 127 и 132). На медной линейке прикреплен колонна с горизонтальным на ее верху цилиндром — гнездом оси вращения трубы. К горизонтальной оси вращения его трубы (переводящейся через зенит) прикреплен полный вертикальный круг  $K$  вращающийся вместе с трубой. Грубое движение трубы и круга прекращается нажимательным винтом  $N$ , а медленное движение сообщается микрометренным винтом  $M$ . На выступающий конец горизонтальной оси надета алидада  $LL$  вертикального круга с двумя верньерами на концах, при чем отсчетами по двум верньерам уничтожается, как известно, влияние эксцентриситета алидады. Кольцо, которым алидада надета на горизонтальную ось, имеет внизу рычаг  $r$  с плоскою пружиною  $p$ , нижние концы которых помещаются между двумя выступами по середине колонны. Через один из этих выступов проходит винт  $M$ , а в другой выступ упирается пружина  $p$ . Действием этого винта можно поворачивать в ту

<sup>1)</sup> Или иначе кипрегель-высотомер.

или другую сторону алидады, а с нею вместе и прикрепленный к ее рычагу уровень *и*, чем и приводит пузырек этого последнего на середину. Круг разделен, начиная от двух диаметрально противоположных точек, подписанных нулями, на градусы, подпись делений идет слева направо и притом не по всему протяжению окружности, а только по дуге в  $60^\circ$  в обе стороны от нулей, так же, как в тахиметре Герляха, т. е. от  $0^\circ$  до  $60^\circ$  и от  $300^\circ$  до  $360^\circ$ . Верньеры на концах алидады назначены так, чтобы при параллельности оптической оси трубы с осью уровня алидады, нули верньеров совмещались с нулями вертикального круга. Когда круг для наблюдателя, стоящего при окуляре, находится вправо от трубы, то такое положение его называется кругом вправо и для краткости обозначается через *К. П.*; в этом случае отсчеты по верньерам будут



Черт. 132.

для углов повышения заключаться между  $0^\circ$  и  $60^\circ$ , а для углов понижения — между  $300^\circ$  и  $360^\circ$ . Если же круг помещается влево от трубы, что называется кругом лево и обозначается через *К. Л.*, то для углов повышения отсчеты будут заключаться между  $300^\circ$  и  $360^\circ$ , а для углов понижения — между  $0^\circ$  и  $60^\circ$ . В центре круга, на той же горизонтальной оси трубы, вращается рычажок *т* на концах которого помещены лупы *и* для отсчитывания по верньерам. В окулярном колене зрительной трубы помещается обыкновенный дальномер Эртеля; на черт. 127 винты дальномерной сетки обозначены через *о* и *и*. При дальномере кипрегеля должна быть рейка. Наконец, надо еще прибавить, что на линейке кипрегеля прикрепляется иногда другой, менее чувствительный уровень *У*, служащий для приведения планшета в горизонтальное положение. На той же линейке гравировается масштаб. Устройство кипрегеля можно также усмотреть из чертежа 133, представляющего поперечный разрез горизонтальной оси вращения трубы; из него видно, что вертикальный круг *С*, имея выступ *Е*, закреплен наглухо на горизонтальной оси *Оо*, стальным стержнем *Т*, проходящим насквозь через ось и выступ круга. Алидада *LL* с верньерами надвинута на выступ *Е* круга *С*; сверху она придерживается кольцом *В* с лупами *и* и гайкой *Д* на конце горизонтальной оси, а снизу — упором рычага *г* и пружины *р* в выступы



колонны. Благодаря тому, что круг скреплен стержнем  $T$  с осью  $Oo$  он вращается вместе с трубой, алидада же остается неподвижною во время вращения круга. При переводе трубы через зенит каждая точка круга описывает  $180^\circ$ , а потому если до перевода через зенит угол наклона заключается между  $0^\circ$  и  $60^\circ$ , то, после перевода трубы через зенит, он будет приходиться на части круга, подписанной от  $300^\circ$  до  $360^\circ$ , ибо кипрегель придется повернуть на  $180^\circ$  около вертикальной оси, т.е. переложить своими концами на доску, для возможности вторичного визирования на тот же самый предмет. Уровень  $У$  на линейке кипрегеля служит для приведения планшета в горизонтальное положение, а уровень  $и$  при алидаде вертикального круга — для определения углов наклона (повышения или понижения), а именно, для установки линий нулей верньеров всегда в одно и то же определенное положение, соответствующее горизонтальной линии, от которой считаются все углы наклона. Два уровня нужны для того, чтобы оба действия, — приведение доски в горизонтальное положение и определение углов наклона, — производились бы независимо друг от друга, что выгодно и удобно при съемке.

В кипрегеле Главного Штаба поверяются следующие условия:

1) Нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью, а скошенное ребро ее — прямою линиею.

Проверка делается так же, как и в обыкновенной линейке.

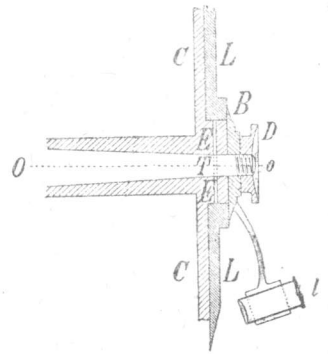
2) Ось уровня  $У$ , прикрепленного к линейке кипрегеля, должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

3) Коллимационная плоскость трубы должна быть: а) перпендикулярна к нижней плоскости линейки и б) параллельна скошенному ребру ее.

4) Визирная ось трубы должна быть параллельна оси уровня ( $и$ ) алидады при совмещении нулей верньеров алидады с нулями вертикального круга.

Проверка уровня, прикрепленного к линейке, делается так: ставят уровень на планшетную доску таким образом, чтобы его ось была параллельна прямой, проходящей через два каких-либо подъемных винта. Действуя этими двумя подъемными винтами, ставят пузырек уровня на середину трубки, проводят на планшете карандашом по скошенному ребру линейки кипрегеля прямую и перекалывают около нее кипрегель противоположными концами, т.е. вращают его около вертикальной оси на  $180^\circ$ . Если после перекалывания пузырек отклонится от середины трубки, то передвигают его на половину дуги отклонения исправительными винтами уровня. После установки пузырька вновь приводят его подъемными винтами на середину трубки, и снова перекалывают кипрегель около прочерченной линии на планшете. В случае отклонения пузырька, повторяют вышеописанные действия до тех пор, пока пузырек уровня будет так же занимать середину трубки после перекалывания кипрегеля около начерченной на планшете линии, как и до его перекалывания. Действия эти приходится повторять потому, что середина дуги отклонения и середина пузырька оцениваются на глаз.

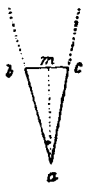
Условие перпендикулярности коллимационной плоскости зрительной трубы к нижней поверхности линейки распадается на две части: на определение коллимационной ошибки трубы кипрегеля, т.е. на обнаружение неперпендикулярности визирной оси к горизонтальной оси вращения зрительной трубы и на проверку параллельности горизонтальной оси вращения к ниж-



Черт. 133.

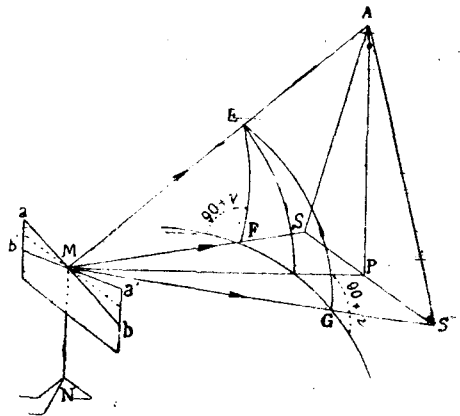
ней плоскости линейки. Чтобы обнаружить, соблюдено ли условие перпендикулярности осей визирной и горизонтальной вращения, ставят кипрегель на планшетную доску и приводят его с помощью только что выверенного уровня на линейке в горизонтальное положение; для чего ставят ось уровня в направлении сперва двух подъемных винтов, действуя которыми устанавливают середину пузырька на середину трубки, а затем по направлению одного третьего подъемного винта и, действуя одним им, приводят пузырек уровня вновь на середину трубки. Если доска точно приведена в горизонтальное положение, то при передвижении кипрегеля в любом направлении по планшету пузырек уровня будет все время оставаться на середине трубки. В противном случае действие приведения доски в горизонтальное положение следует повторить. Само собою разумеется, что только с хорошо выверенным уровнем  $У$  (черт. 132) можно точно привести доску в горизонтальное положение.

После того, как планшет приведен в горизонтальное положение, назначают на планшете какую-либо точку  $a$  (черт. 134) и, приложив к ней скошенное ребро линейки, визируют пересечением нитей на какую-либо хорошо (резко) видимую в трубу точку местного отдаленного предмета (в поле лучше всего на яблоко под крестом колокольни); по скошенному краю линейки прочерчивают линию  $ab$  на планшете, переводят трубу кипрегеля через зенит, переставляют линейку кипрегеля противоположными концами на планшете (примерно вращают около вертикальной оси колонны  $K$  на  $180^\circ$ ) и, удерживая ребро линейки у той же точки  $a$  планшета, вновь визируют пересечением нитей трубы на ту же точку местности, вращая ребро линейки около точки  $a$ ; по скошенному краю проводят линию  $ac$  на планшете; угол  $abc$ <sup>1)</sup> делят пополам и прикладывают ребро линейки к линии  $am$ ; после чего горизонтальными винтами сетки



Черт. 134.

передвигают ее настолько, чтобы пересечение нитей покрывало избранную для визирования точку. Если угол  $bac$  будет очень мал, то проще переложить около линии  $ab$  кипрегель, перевести трубу через зенит и заметить на местном предмете подле первой точки визирования вторую и (на-глаз) расстояние между ними разделить пополам; после этого пересечение нитей передвинуть боковыми винтами сетки на середину между 1-ю и 2-ю точками визирования. Установку сетки повторяют два раза одну и ту же точку местности, в то время, как ребро кипрегеля будет совпадать с одною и тою же линиею на планшете до перевода трубы через зенит и после перевода. Другое условие — параллельность горизонтальной оси трубы с нижнею плоскостью линейки, при несоблюдении которого линия визирования описывает плоскость, наклонную к нижней поверхности линейки, повернется так: убедившись в строго горизонтальном положении доски, пересечение нитей трубы направляют на высокую точку  $A$  (черт. 135) близкого предмета (на край постройки), потом понижают объектив трубы, не сдвигая линейки кипрегеля, и внизу того же предмета на уровне горизонтальной оси трубы замечают точку  $S$ , приходящуюся на пересечении нитей. Затем переставляют кипрегель на доске на  $180^\circ$ , переводят трубу

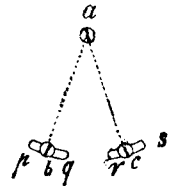


Черт. 135.

<sup>1)</sup> Который выражает двойное влияние коллимационной ошибки на данное направление.

через зенит; вновь направляют пересечение нитей на ту же высокую точку  $A$  и, понижая трубу, замечают точку  $S'$  симметричную с  $S$ . Линию  $SS'$  делят пополам; затем, найдя внизу при колонне  $K$  исправительный вертикальный винт (если он есть), изменяют наклон горизонтальной оси настолько, чтобы крест нитей трубы, наведенный на точку  $A$ , при опускании трубы покрывал среднюю между  $S$  и  $S'$  точку  $P$ . При отсутствии винта при колонне, кипрегель исправляется механиком.

Параллельность коллимационной плоскости скошенному ребру проверяется так: в планшете перпендикулярно (помощью чертежного треугольника) в верхней плоскости мензульной доски вколачивают две тонких иглы и выбирают какой-нибудь предмет местности возможно далекий. К иглам вплотную придвигают скошенное ребро линейки кипрегеля, наводят движением доски крест нитей на точку удаленного предмета местности и смотрят через иглы,—приходится ли они на ту же точку. Если условие не соблюдено и обе плоскости не сходятся в точке удаленного (на горизонте) предмета, то колонну, а вместе с нею и коллимационную плоскость трубы, поворачивают около вертикальной оси до тех пор, пока крест нитей покрывает ту же точку, что и иглы. Для поворачивания колонны внизу сделано три винта, из которых один  $a$  (черт. 136) неподвижен, а около двух других  $b$  и  $c$  в основании колонны сделаны дугообразные вырезы  $pq$  и  $rs$  по окружности радиуса  $ab = ac$ . Если вырезов нет, кипрегель отсылается для исправления механику, или же условливаются всегда проводить направления и ориентировать мензулу при одном и том же положении коллимационной плоскости или, все равно, вертикального круга, напр., при  $K. П.$ , так как тогда на мензуре величина горизонтального угла  $abc$  не изменится, а лишь каждая из сторон его повернется и отодвинется в одну и ту же сторону на одну и ту же величину (черт. 131). Несоблюдение 4-го условия в кипрегеле Гл. Шт.



Черт. 136.

может происходить: 1) от движения круга высот  $C$  независимо от движения трубы и 2) от шатания уровня  $u$  на алидаде, а следовательно, и от перемещения его оси относительно линии нулей верньеров. Ту точку вертикального круга, с которою надо совмещать нуль верньера для того, чтобы оптическая ось была параллельна оси уровня на алидаде, принято называть местом нуля вертикального круга и соответствующий ей отсчет на вертикальном круге обозначать  $M. O.$

Определение места нуля вертикального круга в кипрегеле Главного Штаба и измерение угла наклона  $a$  делается по формулам:

$$M. O. = \frac{K. П. + K. Л.}{2},$$

т.-е. место нуля равно полусумме отсчетов при круге право и круге лево, при чем к отсчету меньшему  $60^\circ$  придается  $360^\circ$  и перед отсчетами по вертикальному кругу пузырек уровня на алидаде ставится винтом  $M$  (черт. 132) на середину трубки:

$$a = \frac{K. Л. - K. П.}{2},$$

т.-е. угол наклона равен кругу право минус круг лево, деленное пополам, при чем к отсчету меньшему  $60^\circ$  придается  $360^\circ$

или

$$a = M. O. - K. Л.,$$

т.-е. угол наклона равен также месту нуля минус круг лево,

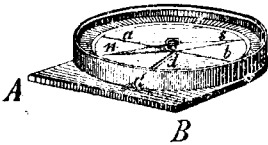
или

$$a = K. П. - M. O.,$$

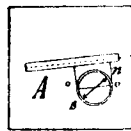
т.-е. угол наклона определяется, как разность между кругом право и местом нуля.

Место нуля следует определять по нескольким предметам, т.-е. при различных наклонах оптической оси к горизонту; если оно не изменится в пределах точности верньера, то круг и уровень неподвижны. Чтобы не вводить в отсчеты по кругу поправки за место нуля<sup>1)</sup>, поступают так: найдя по отсчетам *К. П.* и *К. Л.* истинное значение угла наклона  $\alpha$ , устанавливают на него при *К. П.* (или на  $360^\circ - \alpha$  при *К. Л.*) микрометрическим винтом *М* алидады нули верньеров, удерживая при этом крест нитей трубы на той точке высокого предмета, для которой  $\alpha$  высчитан. После этого пузырек уровня алидады устанавливают снова на середину трубки, действуя исправительными винтами у рычага (кипрегели работы Герляха), находящимися ниже уровня. В кипрегеле, представленном на чертеже 132-м, установка уровня делается так: 1) ослабляют на рычаге  $r$  винт ( $p$ ), находящийся ниже уровня и открывают имеющийся под шляпкою дугообразный прорез в рычаге, 2) вращают от руки уровень около винта, находящегося над ним до тех пор, пока его пузырек станет на середину трубки и, затем, 3) закрепляют винт ( $p$ ).

Буссоль. Она состоит из круглой коробки (черт. 137), диаметром около 12 сантиметров, внутри которой имеется высеребряное кольцо с градусным делением; на концах одного из диаметров  $ab$  кольца подписаны или нули, или нуль и  $180^\circ$ . В первом случае градусная подпись идет в обе стороны от нулей до  $90^\circ$ , а во втором—справа налево (против хода часовой стрелки) от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , иначе, в первом случае имеем румбическое кольцо, а во втором—азимутальное. В центре кольца на дне коробки утверждается острый шпиль, на который вешается магнитная стрелка  $ns$ . Коробка закрывается крышкой со стеклом, к которому может быть прижата магнитная стрелка своею шляпкою во время перенесения буссоли с места на место. Это прижатие делается так: один конец рычага  $dd$  надет на шпиль под стрелкою, а другой, несколько согнутый конец проходит чрез боковое треугольное отверстие кольца и выступает снизу крышки наружу; это



Черт. 137.



Черт. 138.

отверстие сбоку крышки таково, что если повернуть ее около центра кольца, то крышка придавит согнутый конец рычага, вследствие чего конец его, обхватывающий шпиль, поднимется и прижмет шляпку стрелки к стеклу. Дно коробки продолжено в одну сторону и ограничивается прямым краем  $AB$ , который должен быть параллелен нулевому диаметру  $ab$  кольца.

Мензульная буссоль служит: а) для определения румба или азимута линии на местности, б) для назначения на местности линии под данным румбом или азимутом и с) для приведения линии, начерченной на планшете, в отвесную плоскость с магнитным меридианом, т.-е. для ориентирования планшета.

Для определения румба или азимута линии  $AB$  (черт. 138) местности ставят мензулу над одной из конечных стоек линии, напр.  $A$ , центрируют ее, приводят доску в горизонтальное положение и визируют по данной линии; затем, приложив осторожно к ребру линейки визирного снаряда (алидады или кипрегеля) буссоль, делают отсчет по северному концу стрелки на кольце буссоли; отсчет выразит искомый румб или азимут. После приложения буссоли необходимо убедиться в том, что линейка не сдвинулась с места, для чего достаточно повернуть визирувание.

Чтобы при данной точке  $A$  на местности назначить линию с известным румбом или азимутом, центрируют мензулу над этою точкою, приводят доску в горизонтальное положение, кладут на нее кипрегель или алидаду и к ребру

<sup>1)</sup> Т.-е. чтобы отсчет на вертикальном круге действительно был нуль, когда оптическая ось параллельна оси уровня алидады.

линейки прикладывают буссоль, которую поворачивают на доске вместе с визирным снарядом до тех пор, пока конец стрелки будет показывать данный румб или азимут и, наконец, выставляют на местности вежу *B* по направлению линии визирования.

Приведение линии планшета в отвесную плоскость с магнитным меридианом, называемое ориентированием мензулы по меридиану, будет изложено в следующем за этим параграфе, в задаче об ориентировании мензулы вообще.

Преыдушие троякого рода задачи на употребление мензульной буссоли требуют, чтобы, кроме параллельности диаметра буссоли, проходящего чрез нуль с прямолинейным ее краем, коллимационная плоскость визирного снаряда была параллельна с ребром линейки. А так как точность определения направлений буссолью, вследствие суточного изменения склонения стрелки, есть  $\frac{1}{4}$  градуса, то достаточно, если каждое из этих условий—параллельность диаметра буссоли с ее прямолинейным краем и параллельность коллимационной плоскости визирного снаряда с ребром его линейки—будет выполнено с точностью до  $\frac{1}{8}$  градуса.

От мензульной буссоли требуется выполнение условий:

1) отсутствия железа в коробке, 2) верности делений кольца, 3) отсутствия эксцентрициитета стрелки, 4) хорошей шлифовки агата, достаточной остроты шпиль и надлежащей степени намагничения стрелки, 5) уравновешенности стрелки на шпиле, 6) совпадения геометрической оси с магнитной и, наконец, 7) чтобы нулевой диаметр градусного кольца был параллелен прямому краю буссоли. Последнее условие поверяется так: поставив алидаду на горизонтальный планшет, направляют ее коллимационную плоскость на точку местности, затем, приложив буссоль прямым краем к ребру линейки алидады (кипрегеля), натягивают волос по направлению нулевого диаметра градусного кольца и смотрят, проходит ли волос чрез ту же точку местности, на которую сделано визирование диоптрами или трубою. Если нет, то вращением около центра кольца волос направляют на точку и делают на кольце отсчет, который выразит величину погрешности; ее нужно принимать во внимание каждый раз при употреблении буссоли. Можно также скошенный край кипрегеля, после того, как буссоль будет уложена на планшете, совместить с нулевым диаметром буссоли и визировать трубою.



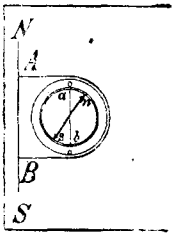
А В С D  
Черт. 139.

Если буссоль при мензуле нужна единственно только для ориентирования планшета по магнитному меридиану, то для этой цели достаточна, так называемая, ориентир-буссоль, изображенная на чертеже 139. Она состоит из прямоугольного ящика *ABCD*, закрываемого стеклянною крышкою, при коротких сторонах которого прикреплены две дуги с градусным делением и с центром, совпадающим с местом помещения шпиль. Край *AB* буссоли должен быть параллелен диаметру *ba*, проходящему чрез нуль.

## Основные задачи, решаемые мензулою на местности.

§ 72. Ориентирование мензулы; прямая и обратная засечки. I. Ориентирование мензулы. Ориентировать буквально означает назначить (на планшете) восток, а по нему и остальные страны света, и обратно, на местности по плану найти восток, а следовательно, запад, север и юг. Более же широко под этим словом надо понимать: установку планшета в любой точке местности в такое положение, в котором все начерченные на нем линии принимают положение, параллельное соответственным линиям местности. Вследствие этого планшет можно ориентировать или точно по данной на планшете линии, или приближенно по меридиану, посредством буссоли. Рассмотрим сперва второй случай. Чтобы ориентировать планшет по магнитному меридиану *NS* (черт. 140), положение которого начерчено на планшете в виде прямой, приставляют к этой линии край *AB* буссоли

и, ослабив становой винт мензулы, поворачивают доску до тех пор, пока ось свободно висящей на шпиле стрелки примет направление диаметра  $ab$ , проходящего через нуль кольца, при этом поворачивают доску сначала грубым движением, а потом, закрепив становой винт, действуют микрометренным винтом подставки мензулы. Если для места съемки известно склонение магнитной стрелки, то планшет можно ориентировать по географическому меридиану; так, например, если известно, что склонение в данном месте восточное  $2^{\circ}8'$ , то, приложив буссоль к линии  $NS$ , поворачивают доску настолько, чтобы северный конец стрелки отошел от нуля кольца вправо на  $2\frac{1}{8}^{\circ}$ , принимая 8 минут за  $\frac{1}{8}$  градуса. Эта ориентировка по магнитному или географическому меридиану не может иметь большой точности, потому что суточное изменение склонения стрелки есть 15 и более минут. Такая ориентировка планшета может быть сделана в любой точке стояния мензулы

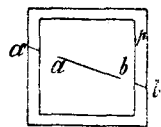


Черт. 140.

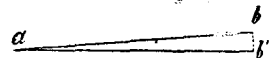
на местности, так как все меридианы можно принимать параллельными между собою (для небольшого снимаемого участка).

**Второй, более точный способ ориентирования планшета по данной линии.** При этом различают два случая: 1) когда мензула поставлена на одном из концов данной на местности и уже изображенной на планшете линии, следовательно, допускающей центрировку мензулы, и 2) когда мензула поставлена между конечными точками ориентировочной линии, но на мензуле точка стояния не дана. В первом случае, если  $AB$  (черт. 143) есть данная на местности линия, а  $ab$  — линия, ей соответствующая на планшете, то, поставив мензулу над точкой  $A$  местности, ослабляют становой винт и поворачивают доску настолько, чтобы направление линии  $ba$  совпадало приблизительно (на-глаз) с направлением  $AB$ . Затем центрируют планшет по возможности точно, приводят его в горизонтальное положение, прикладывают ребро линейки визирного снаряда к  $ab$  и поворачивают доску сначала грубым движением, а потом, закрепив становой винт, микрометренным настолько, чтобы линии визирования проходили через точку местности  $B$ . По совершении этого доска считается ориентированной.

**Замечание.** Ориентирование мензулы по взятой на ее планшете линии производится тем с большей точностью, чем длиннее эта линия на планшете, так как чем длиннее линия ориентирования, тем точнее можно приложить к ней ребро линейки визирного снаряда. На основании этого те линии, по которым имеется в виду ориентировать впоследствии мензулу, при визировании прочерчиваются на планшете не только в том его месте, где того потребует изображаемая точка, но и за рамкою, на краях планшета. Так, если предполагается ориентировать мензулу по линии  $ab$  (черт. 141), то за рамкою на краях планшета должны быть прочерчена еще две линии  $a'$  и  $b'$ , служащие продолжением линии —  $ab$ ; к ним-то собственно и прикладывается ребро линейки визирного снаряда при ориентировании. Чтобы составить понятие о том, насколько выигрывает точность ориентирования планшета от длины



Черт. 141:



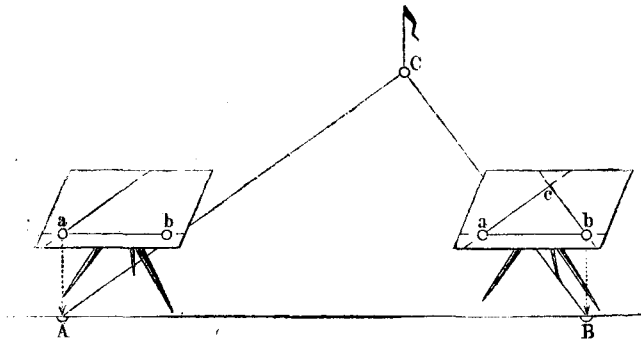
Черт. 142.

ориентировочной на планшете линии, допустим, что  $ab'$  (черт. 142) есть взятая на планшете линия и что линейка, точно приложенная в точке  $a$ , уклоняется от точки  $b$  на величину  $bb'$ . Из чертсжа имеем  $\text{tg } bab' = \frac{bb'}{ab}$  при  $bb' = \frac{1}{100}$  доле  $cm$  и  $ab = 35 \text{ см}$ , угол  $bab'$  достигает 1,1; эту величину считают за среднюю ошибку ориентирования мензулы по данной на ее планшете линии (средней величины в 35 см).

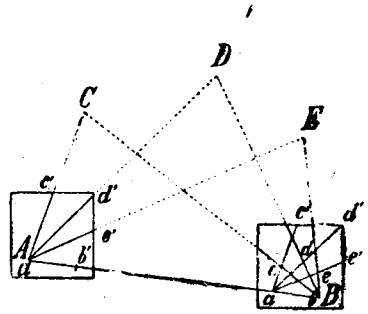
Когда с мензулой надо встать где-либо на линии  $AB$  между ее концами  $A$  и  $B$ , то приходится постепенно рядом попыток убеждаться в том, что избрав на-глаз точку стояния и ориентирав планшет по одному концу линии местности, напр.,  $B$ , линия визирования (визируя в противоположную сторону) не проходит через другую точку  $A$ , а потому передвигать мензулу до тех пор, пока плоскость визирования на  $A$  будет та же, что и на  $B$ . Ошибка от центрировки на-глаз может иметь влияние только при крупном масштабе, в котором редко производится мензульная съемка.

**II. Определение точки по двум данным (прямая и обратная засечка).** Первое решение, становясь с мензулой в обоих данных точках.

Пусть  $A$  и  $B$  (черт. 143) суть две данные на местности точки, положение которых, соответственно в  $a$  и  $b$ , дано на планшете, ищется положение на планшете третьей точки  $C$  местности. Становимся с мензулой сперва в одну из данных точек, напр., в  $A$ , центрируем, приводим планшет в горизонтальное положение и ориентируем его по линии  $ab$ ; затем визируем через  $a$  на  $C$  и чертим на планшете линию  $ac$ . После чего мензула переносится в другую данную точку  $B$ , здесь, так же как и в  $A$ , установим планшет и ориентируем его по линии  $ba$ ,



Черт. 143.



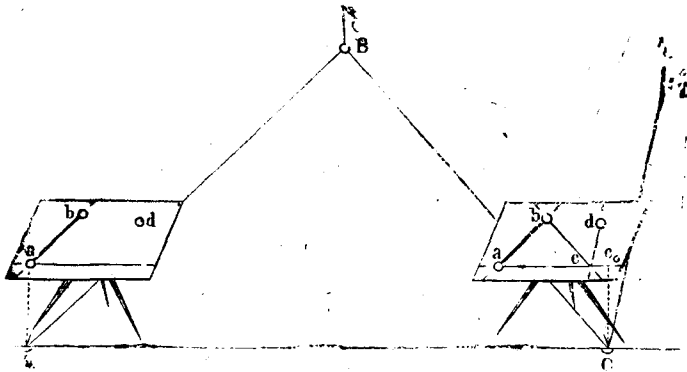
Черт. 144.

а затем провизируем через  $b$  на  $C$  и по ребру линейки кипрегеля прочертим линию  $bc$ . Эта линия пересечет линию  $ac$  в точке  $c$  и даст искомое изображение 3-й точки  $C$  местности. Этот способ решения задачи принято называть аасечкою вперед; им можно определить двумя постановками мензулы не только одну третью точку, но и несколько:  $C, D, E, \dots$  как изображено на черт. 144.

Способ засечки вперед может служить также и для определения неприступных расстояний, напр.,  $DE$  или  $CD$ ; при этом, если линия  $ab$  не дана на планшете, то, выбрав на местности произвольную линию  $AB$ , измеряют ее, наносят на планшет и откладывают длину  $ab$  по масштабу, а затем уже применяют только что описанный прием засечек вперед.

Второе решение, становясь с мензулой в одну из данных точек и в определяемую точку (черт. 145). Первоначально мензула устанавливается в одной из данных точек, напр.,  $A$ , и планшет ориентируется по данной на нем линии  $ab$ ; после этого визируют через  $a$  на определяемую точку  $C$  и прочерчивают по ребру линейки линию  $ac_0$ . Затем мензулу переносят в точку  $C$ , положение которой ищется на планшете. Здесь назначают на линии  $ac_0$  на-глаз точку  $c_0$ , изображающую приблизительно точку  $C$  местности, планшет центрируют точкою  $c_0$  над  $C$ , приводят планшет в горизонтальное положение, ориентируются по линии  $c_0a$ , прикладывают ребро линейки визирного прибора к  $b$ , визируют на  $B$  и засекают линию  $ac_0$  в точке  $c$ . Если  $c$  отойдет от  $c_0$  на незначительную величину, близкую к точности масштаба ( $\frac{1}{100}$  доля сантиметра), то

считают, что  $c$  соответствует точки  $C$  местности. В противном случае, т.е. при значительном ее расстоянии от точки  $c_0$ , она не будет соответствовать точке  $C$  местности и необходимо сделать поправку; для чего опять центрируют мензулу по  $c$  и повторяют все последующие действия. Этот способ определения точки называется засекою назад или обратной засекою. Он практикуется в особенности тогда, когда одна из данных точек есть естественный сигнал, на который встать с мензулою нельзя; напр., колокольня, конек дома и т. п., а также и тогда, когда на планшете помимо 2-й данной точки  $b$  имеются положения и других точек, напр.,  $d$ . Тогда положение



Черт. 145.

ролировать найденное положение  $c$ , для чего визируют через  $d$  на  $D$ , и линия визирования должна на планшете пройти через точку  $c$ . Если бы требовалось определить несколько точек местности, то для быстроты работы одна из них определяется засекою назад, а другие — засекою вперед, пользуясь точкою вновь определенной, как это сделано на черт. 146.

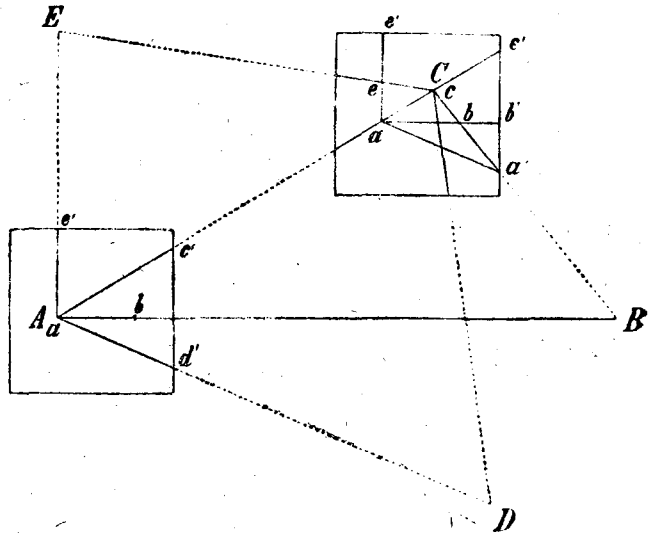
Наивыгоднейшее пересечение линий на планшете (засечка) считается при угле между ними в  $90^\circ$ ; предельная же величина угла для насечки определяется не менее как в  $30^\circ$ , а следовательно, не более  $(180^\circ - 30^\circ) = 150^\circ$ .

§ 73. Задача Потенота <sup>1)</sup>. (Определение точки по трем данным).

Условие задачи. Задача Потенота состоит в определении четвертой точки по трем данным и заключается в следующем:

Но известному на мензуле положению  $l, p$  и  $s$  трех точек местности  $L, P$  и  $S$  (левой, правой и средней) требуется определить на мензуле положение  $m$  четвертой точки  $M$  местности, становясь с инструментом исключительно в этой последней. Покажем, что решение этой задачи на мензуле возможно.

Из чертежей 147 и 149 легко видеть, что на местности положение 4-й точки  $M$  или  $K$  относительно трех данных  $L, P$  и  $S$  определяется величинами двух углов  $LMS = \alpha$  и  $SMP = \beta$ , и так как на планшете получаются фигуры, подоб-

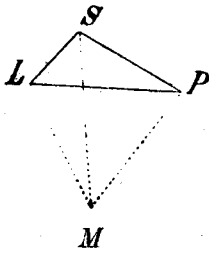


Черт. 146.

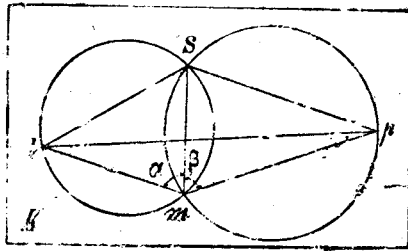
<sup>1)</sup> В первый раз эта задача была предложена в 1614 году голландским геометром Снеллиусом, а в 1692 году французским геометром Потенотом дано ее решение в более удобном виде.



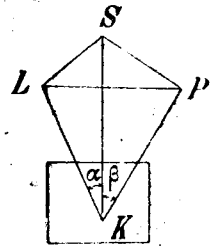
ным данным на местности, то для решения задачи на мензульном листе необходимо найти такую точку  $m$  (черт. 148), в которой углы  $lms = \alpha$  и  $smr = \beta$ . Поэтому найдем сперва такую точку  $m_1$ , в которой угол  $lm_1s = \alpha$ . Таких точек будет бесчисленное множество, так как все они лежат на окружности (черт. 148), проходящей через  $l$  и  $s$  и вмещающей данный угол  $\alpha$ . Если затем будем искать такую точку  $m_2$  на мензуле, в которой угол  $sm_2r = \beta$ , то и здесь придется строить окружность, проходящую через  $s$  и  $r$  и вмещающую данный угол  $\beta$ . Очевидно, что в пересечении этих окружностей будет лежать искомая точка  $m$ , ибо при ней углы  $lms = \alpha$  и  $smr = \beta$ ; итак, действительно, — задачу решить



Черт. 147.



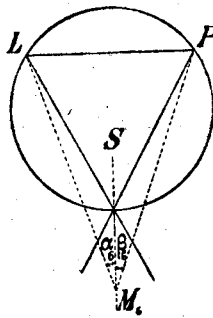
Черт. 148.



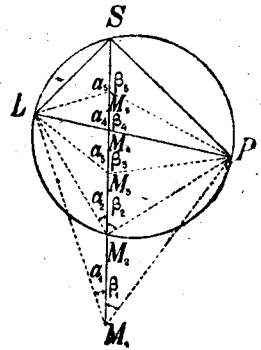
Черт. 149.

возможно; однако, самых окружностей на мензуле не проводят, а пользуются другими (излагаемыми ниже) приемами; что касается до графического определения величины углов  $\alpha$  и  $\beta$ , то эти углы легко построить при любой точки  $K$  (черт. 148 и 149) на мензуле, визируя через  $K$  на три данные на местности точки  $L, S$  и  $P$ . Таким образом, из предыдущего видно, что решение задачи Потенота на мензуле вполне возможно и для этого необходимо только знать углы  $\alpha$  и  $\beta$ .

§ 74. О возможном положении искомой точки относительно трех данных. Величины углов  $\alpha$  и  $\beta$  (черт. 150) характеризуют точку  $M$  относительно 3-х данных —  $L, S$  и  $P$ . Условившись при этом через  $\alpha$  обозначать всегда угол между направлениями (из точки стояния) на данные 2 точки, — левую и среднюю, а через  $\beta$  — всегда угол между направлениями на среднюю и правую точки, будем различать следующие шесть возможных положений четвертой точки относительно трех данных: левой, средней и правой:



Черт. 150.



Черт. 151.

1) Точка  $M_1$  лежит вне круга, проходящего через  $L, S$  и  $P$  против стороны  $LP$  (черт 150).

2) Точка  $M_2$  лежит на окружности, проходящей через три данные точки  $L, S$  и  $P$ . В этом случае задача не определена, ибо на той же окружности, существует бесчисленное множество точек, в которых углы  $LMS = \alpha$  и  $SMP = \beta$ .

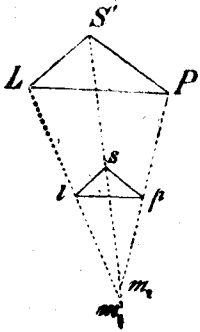
3) Точка  $M_3$  лежит внутри круга  $LPS$ , против стороны  $LP$ , но вне треугольника  $LSP$ .

4) Точка  $M_4$  лежит на стороне  $LP$  треугольника  $LPS$ .

5) Точка  $M_5$  лежит внутри треугольника  $LSP$ .

6) Точка  $M_6$  лежит вне круга  $LSP$ , между продолженными сторонами  $LS$  и  $PS$  треугольника  $LSP$  (черт. 151).

§ 75. Непосредственное и посредственное решение задачи Потенота. Кроме Снеллиуоа и Потенота, ту же задачу об определении четвертой точки по трем данным решали и многие другие знаменитые геометры и ученые; решения их можно разбить на две группы: 1-я группа — решения точные „непосредственные“, когда искомая точка с одного раза (после однократного совершения известного приема) получается на мензуле; 2-я группа — решения приближенные когда точка не с одного раза, а после многократного повторения известного приема, получается на мензуле, — т.е. когда для определения точки приходится несколько раз проделывать один и тот же прием, последовательно приближаясь к истинному ее положению. Такого рода решения называют решениями „по приближению“.



Черт. 152.

Из непосредственных решений рассмотрим способ Боненбергера и Бесселя, а из решений по приближению — 1) Лемана и 2) Боненбергера.

В основании всех решений задачи Потенота на Мензуле лежит следующая лемма.

Если мензула в точке отояния  $M$  ориентирована, т.е., если дано,  $ls \parallel LS$ ;  $sp \parallel SP$  к  $lp \parallel LP$  (черт. 152), то три линии визирования на мензуле (через  $l$  на  $L$ , через  $p$  на  $P$  и через  $s$  на  $S$ ) пересекутся в одной точке  $m^1$ .

Пусть крайние линии визирования пересекают в двух точках  $m_1$  и  $m_2$  линию среднего визирования, тогда вследствие параллельности  $ls \parallel LS$  и  $ps \parallel PS$  имеем:  $m_1ls \propto m_1LS$  и  $m_2ps \propto m_2PS$ , откуда

$$\frac{m_1S}{m_1s} = \frac{LS}{ls} \quad \text{и} \quad \frac{m_2S}{m_2s} = \frac{PS}{ps} \quad \dots \dots \dots (1)$$

а вследствие того, что на мензуле дана фигура, подобная данной на местности, т.е.  $lsp \propto LSP$ , имеем:

$$\frac{LS}{ls} = \frac{PS}{ps} \quad \dots \dots \dots (2)$$

Из равенств (1) и (2) следует:

$$\frac{m_1S}{m_2s} = \frac{m_1S}{m_1s} \quad \text{или} \quad \frac{m_2S - m_2s}{m_2s} = \frac{m_1S - m_1s}{m_1s} \quad \dots \dots \dots (3)$$

так как  $m_2S - m_2s = Ss = m_1S - m_1s$ , то из последней (3) пропорции следует, что

$$m_2s = m_1s,$$

что может быть, если точки  $m_1$  и  $m_2$  совпадают.

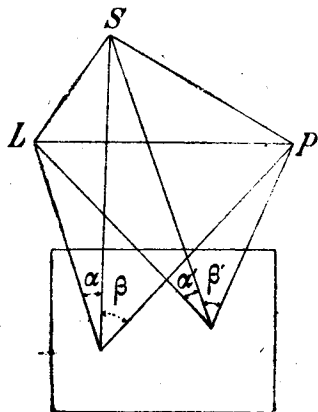
Следовательно, если мензула строго ориентирована, на ней двух точек  $m_1$  и  $m_2$  быть не может.

Итак, если мензула ориентирована, три линии визирования пересекаются в одной точке. Если же мензула не ориентирована, то линии визирования при пересечении дают более одной точки на мензуле, т.е. получается так назыв. фигура (треугольник) погрешностей.

Все решения основаны также на допущении, что где бы на мензуле (т.е. при любой точке планшета) ни строили углы  $\alpha$  и  $\beta$ , величины их останутся те же самые. т.е.  $\alpha = \alpha'$ ,  $\beta = \beta'$  (черт. 153).

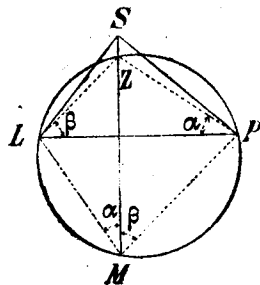
1) Точка  $m$  на мензуле представит точку  $M$  на местности.

Способ Боненбергера и Бесселя. Вообразим, что через левую точку  $L$  (черт. 154), правую  $P$  и через искомую точку стояния  $M$  проведена окружность; соединим точку  $S$  с  $M$ , линия  $SM$  в пересечении с окружностью даст точку  $Z$ . По соединении точек  $Z$  и  $M$  с точками  $L$  и  $P$  из чертежа найдем (черт. 154),



Черт. 153.

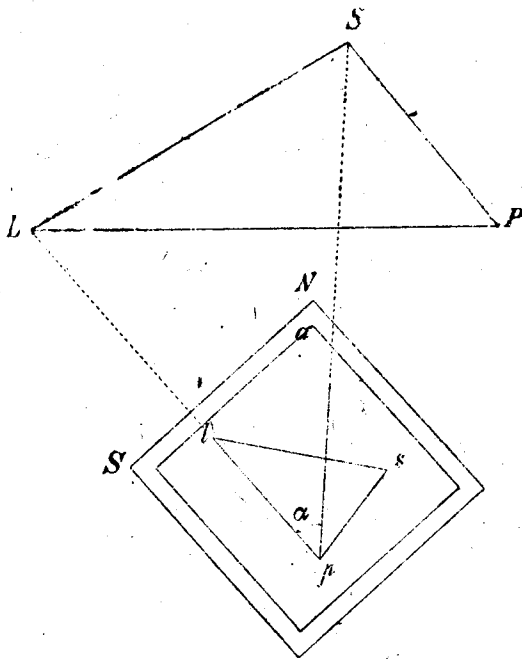
что  $\alpha = LMS = LPZ$  и  $\beta = PMS = PLZ$  потому что половина дуги  $LZ$  служит мерою углов  $LMS$  и  $LPZ$ , а углы  $PMS$  и  $PLZ$  измеряются половиною дуги  $PZ$ . Отсюда можно сделать обратное заключение, а именно: если на мензуре при линии  $lp$  построим углы  $\alpha$  и  $\beta$  так, чтобы при левой точке  $l$  линии  $lp$  был правый угол  $\beta$ , а при правой точке  $p$  линии  $lp$  был левый угол  $\alpha$ , то от построения углов получим так назыв. „вспомогательную“ точку  $z$ . Соединив  $z$  с  $s'$ , найдем линию  $zsm$ , на которой должна лежать точка  $m$  и тогда останется, согласно только-что изложенной леммы, ориентировать мензурю линиюю  $sz$  на планшете по линии  $SM$  мест-



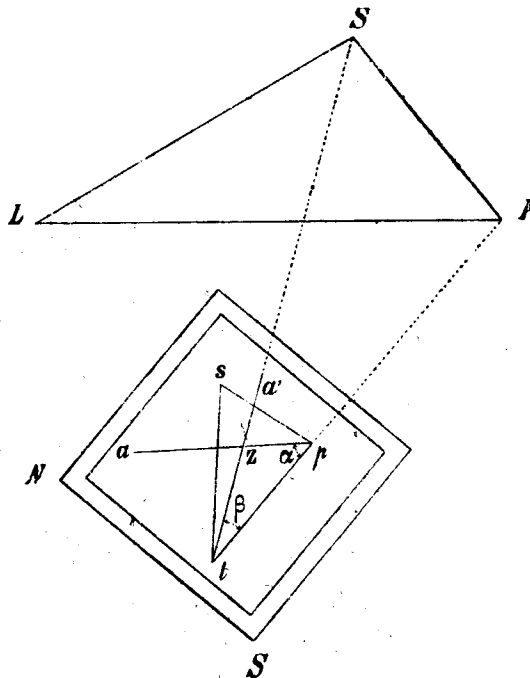
Черт. 154.

ности, а затем, продолжив  $sz$ , визированием с  $l$  на  $L$  (или с  $p$  на  $P$ ) определить точку  $m$  на мензуре обратной засечкой.

Линию  $sz$  принято называть ориентировочною линиею.



Черт. 155.



Черт. 156.

Таким образом, все решение задачи об определении 4-й точки сводится к нахождению ориентировочной линии на мензуре.

Все вышесказанное достигается следующим образом: сначала строим левый угол  $\alpha$  при правой точке  $p$  линии  $lp$  — вверх (черт. 155). 1) Устанавливаем

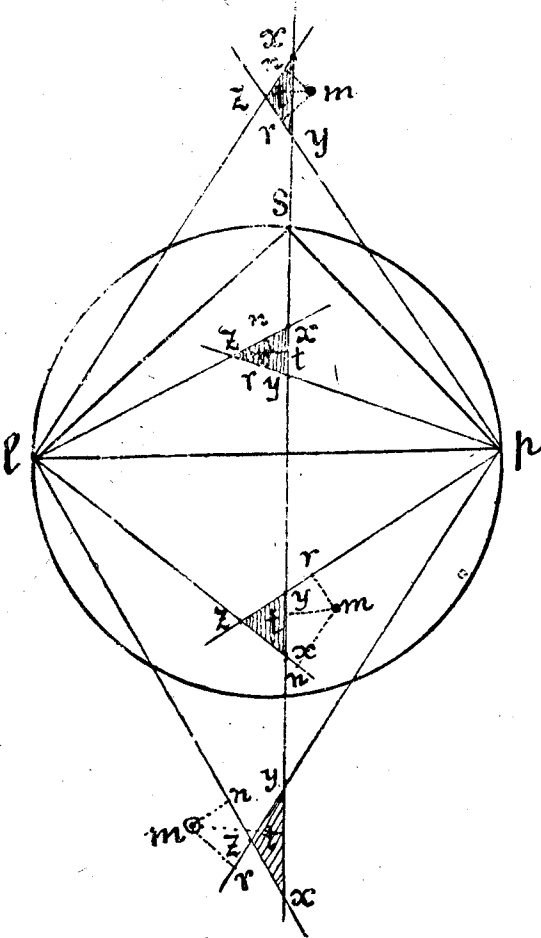
мензулу точкою  $p$  над точкою стояния  $M$ , 2) ориентируем планшет линиею  $pl$  по линии  $ML$  местности, т.-е. прикладываем алидаду к линии  $pl$  и направляем волос предметного диоптра (или крест нитей кипригеля) на точку  $L$  местности, сперва грубым вращением мензульной доски, а затем более точно микрометренным винтом; 3) вращаем скошенный край алидады около точки  $p$ , визируем через точку  $p$  на точку  $S$  и по скошенному краю алидады проводим линию  $pa$  (черт. 155). Затем при левой точке  $l$  строим правый угол  $\beta$ , т.-е. 4) устанавливаем мензулу точкою  $l$  над  $M$  (черт. 156), 5) алидаду прикладываем к линии  $lp$  и мензульную доску вращаем до тех пор, пока волос предметного диоптра (или крест нитей)

покроет точку  $P$  и затем 6) визируем через  $l$  снова на  $S$  и проводим линию  $la'$  (черт. 156). В пересечении линий  $pa$  и  $la'$  получим вспомогательный пункт  $z$ . (На чертежах 155 и 156 через  $NS$  обозначено направление меридиана). Чтобы, имея точку  $z$ , а следовательно, и линию  $zsm$  на мензуле, получить на этой последней точку  $m$ , необходимо: 7) мензулу линиею  $zs$  ориентировать по линии  $SM$  местности, т.-е., приложив скошенное ребро визирного прибора к линии  $zs$ , вращать доску до тех пор, пока крест нитей кипригеля покроет точку  $S$  местности, 8) по закреплении стантового винта, по планшету продолжить линию  $sz$  и затем уже 9) провести направления  $pt$  и  $lm$ , т.-е. визиовать через  $p$  на  $P$  и через  $l$  на  $L$ , чертя по скошенному краю алидады карандашом (черт. 156).

Способ Лемана относится к посредственным решениям задачи Потенота и основан на том, что если мензула (в точке стояния) не ориентирована (или ориентирована приближенно, на-глаз), то на планшете, при визиовании через три точки на мензуле соответственно на три

точки местности, получается треугольник погрешностей, (черт. 157), относительно которого и намечается искомая точка  $m$ .

Условимся визиование на среднюю точку местности  $S$  через среднюю точку  $s$  на мензуле, при приближенном ориентировании мензулы, называть линиею среднего визиования и прежде всего покажем, что искомая точка  $m$  лежит от сторон треугольника погрешностей в расстояниях, прямо пропорциональных расстояниям точки  $M$  от точек местности  $L$ ,  $P$  и  $S$  или, что то же самое, точки  $m$  от точек  $l$ ,  $p$  и  $s$  на мензуле.



Черт. 157.

Пусть вследствие ошибки в ориентировании на угол  $\mu$  получился треугольник погрешностей  $xyz$  (черт. 158). Так как искомая точка  $m$  лежит в пересечении двух окружностей, вмещающих — одна угол  $\alpha$ , а другая — угол  $\beta$ , то первая окружность, проходящая через точки  $s$  и  $l$ , должна пройти через вершину  $x$  треугольника погрешностей  $xyz$ , а вторая — через точки  $s$ ,  $p$  и вершину  $y$  треугольника погрешностей  $xyz$ , так как угол  $lxs = \alpha$ , а угол  $sy p = \beta$ . Опустив перпендикуляры  $mn$ ,  $nt$  и  $mr$  из точки  $m$  на стороны треугольника погрешностей (или их продолжение) и соединяя точку  $m$  с данными  $s$ ,  $l$  и  $p$ , легко усмотреть, что прямоугольные треугольники  $nlm$ ,  $stm$  и  $mpr$  подобны, так как имеют по равному острому углу  $\mu$ , и из подобия их следует, что

$$\sin \mu = \frac{mn}{ml} = \frac{mt}{ms} = \frac{mr}{mp}$$

или

$$mn : mt : mr = ml : ms : mp.$$

Но так как

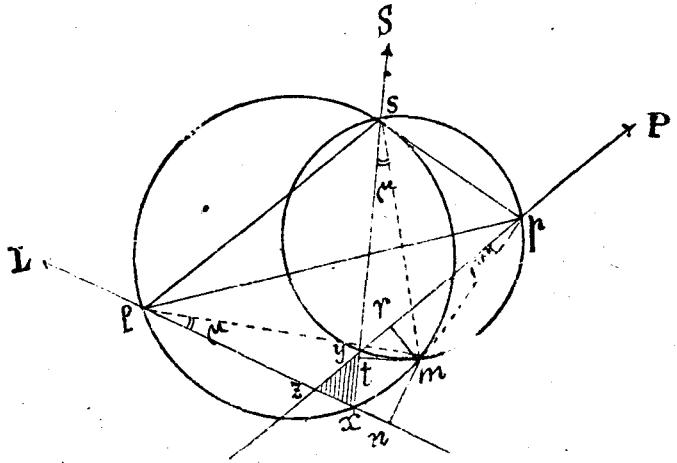
$$ml : ms : mp = ML : MS : MP,$$

то

$$mn : mt : mr = ML : MS : MP.$$

Что же касается положения точки  $m$  относительно треугольника погрешностей, то 1) точка  $m$  лежит внутри треугольника погрешностей  $xyz$ , когда точка  $M$  находится внутри  $\Delta$ -ка  $LSP$  (черт. 157), 2) точка  $m$  лежит вне треугольника погрешностей  $xyz$ , но по одну сторону с ним относительно линии среднего визирования, когда точка  $M$  находится вне окружности, проходящей через  $L$ ,  $S$  и  $P$ , против одной из сторон, напр.,  $LP$ . Во всех же остальных (кроме указанных) случаях точка  $m$  лежит вне треугольника погрешностей, но разные стороны с ним относительно линии среднего визирования (черт. 157). Очевидно, что и здесь линия  $ms$  есть ориентировочная линия.

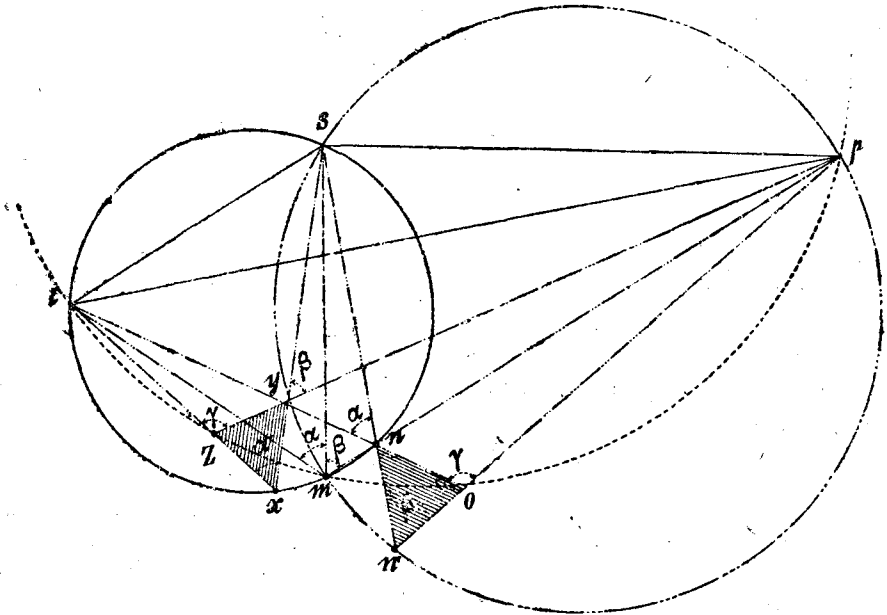
Способ Боненбергера. Способ Боненбергера состоит в том, что если нам будут даны три точки местности  $L$ ,  $S$  и  $P$  и соответствующее их взаимное положение на мензуле  $l$ ,  $s$  и  $p$ , то можно определить 4-ю точку  $M$  стояния с мензулой следующим образом: ориентировать мензулу приближенно на-глаз и, визируя через точки  $l$ ,  $s$  и  $p$  мензулы на соответствующие точки  $L$ ,  $S$  и  $P$  местности, получить треугольник погрешностей  $nn'o$  (черт. 159), в котором при точке  $n$  будет угол  $\alpha = lns$ , а при точке  $n'$  угол  $\beta = sn'p$ . Затем с помощью микрометричного винта выводим мензулу из ее первоначального положения, сделав два-три оборота винтом, и, таким же образом, вновь визируя через точки  $l$ ,  $s$  и  $p$  мензулы на точки  $L$ ,  $S$  и  $P$  местности, получим новый треугольник погрешностей  $xyz$ , в котором при точке  $x$  будет угол  $\alpha$  ( $lxs$ ) и при точке  $y$  — угол  $\beta$  ( $sy p$ ). Если теперь проведем три окружности: 1) одну, вмещающую угол  $\alpha$ , через точки  $l$  и  $s$ , то она пройдет через точки  $n$  и  $x$ , потому что при них лежит угол,  $\alpha$ , опирающийся на хорду  $ls$ ; 2) окружность, вмещающую угол  $\beta$ , через точки  $s$  и  $p$ ; она пройдет и череа



Черт. 158.

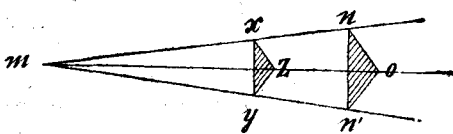
точки  $n$  и  $y$ , потому что при них лежит угол  $\beta$ , опирающийся на хорду  $sp$  и  $3$ ), наконец, проведем 3-ю окружность через точки  $l$ ,  $p$  и  $o$ , вмещающую угол  $lop = \gamma = \alpha + \beta$  (из треугольника  $nn'o$  видим, что угол  $lop$ , как внешний, равен сумме двух углов  $n'no = \alpha$  и  $nn'o = \beta$ ); эта окружность пройдет через точку  $z$ , при которой лежит угол  $lzp = \alpha + \beta$  и опирающийся так же, как и  $\gamma$ , на хорду  $lp$ . Эти три окружности должны пройти через искомую нами точку, как вмещающие углы  $lns = \alpha$ ,  $smr = \beta$  и  $lmp = \gamma$ , т.е. пересечься в искомой нами точке. На мензуре, вместо проведения 3-х вышеописанных окружностей, проводят прямые линии: первую—через точки  $n$  и  $x$ , вторую—через  $n'$  и  $y$  (и в случае надобности 3-ю—через  $o$  и  $z$ ); пересечение этих трех линий и даст приближенно искомую точку  $m$ .

Ориентирование планшета вновь делается по линии  $ms$ .



Черт. 159.

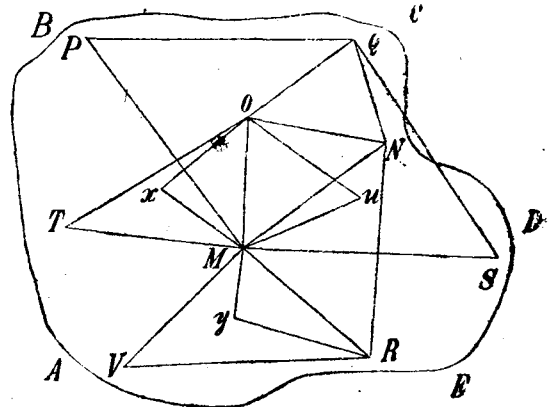
Если точка  $m$  определилась хорошо, то третьего треугольника погрешностей не получится, а если треугольник погрешностей опять окажется налицо, то весь прием снова повторяется: Если для получения второго треугольника погрешностей вращение мензурной доски около ее вертикальной оси было сделано движением, уклоняющим линии мензулы от истинного их положения в сторону, противоположную, сравнительно с положением мензулы при получении первого треугольника погрешностей, то оба треугольника будут обращены вершинами  $o$  и  $z$ , в разные стороны от линии  $sm$  — среднего визирования (черт. 159). Но может случиться, что  $z$  и  $o$  лягут по одну сторону от линии среднего визирования (черт. 160); тогда искомая точка  $m$  ляжет по другую сторону от линии среднего визирования. Такое расположение будет иметь место только тогда, когда



Черт. 160.

уклонение мензулы от истинного положения во второй раз произошло в ту же сторону, что и в первый раз. Если ориентировать мензулу не ва-глаз, а по буссоли, то при этом иногда совсем не получается треугольника погрешностей и искомая точка определяется сразу пересечением трех линий визирования.

§ 76. Мензульная съемка, основанная на составлении геометрической сети. Если данный участок покрыт целым рядом контуров, то производить мензульную съемку, применяя непосредственно обыкновенные четыре способа (обхода, засечек, полярный, промеров с вехи на веху), постепенно переходя от одного из них, например, центрального контура к другим, не приняв во внимание общего очертания участка, невыгодно, так как при примыкании снимаемых границ последующих контуров к границам предшествующих окажется, что контуры, снятые под конец работы, не займут на планшете относительно контуров, снятых в начале того положения, какое они имеют в действительности, а более или менее уклонятся в сторону вследствие накопления неизбежных погрешностей измерений. Для возможного устранения этого накопления погрешностей перед производством съемки контуров определяют на снимаемом участке  $ABCDEA$  (черт. 161) взаимное положение так



Черт. 161.

называемых основных или опорных точек  $O, M, N, u, Q, R, P, T, x, y, V, S$ , при возможно малом числе установок инструмента и при возможно больших между ними расстояниях, какие только допускает сила зрения визирного прибора. Допустим, что эти точки выбраны так, что из каждой видно не менее двух других, тогда, соединяя их по три, получим на местности сеть треугольников или триангуляцию<sup>1)</sup>. Точки  $O, M, N, \dots$  будучи равномерно размещены по всему участку, послужат не только основанием для съемки контуров, но и средством постоянного контроля над сделанными вновь определениям положений точек контуров (по положению основных точек). Необходимость предварительного определения опорных пунктов подтверждается также и основным правилом съемки, высказанным как в главе предварительных понятий, так и в главе об угломерной съемке что порядок производства съемки должен быть таков, чтобы работа постепенно переходила от общего к частному.

Триангуляция бывает: тригонометрическая и геометрическая. Когда определение относительно положения пунктов триангуляции производится вычислением, т. е. тригонометрическим решением треугольников по числовым величинам: 1) одной из сторон треугольников и 2) по измеренным углам всех треугольников сети с целью отыскания числовых величин координат всех вершин треугольников, тогда сеть наз. тригонометрической: если же определение пунктов сети делается графически, т. е. геометрическим построением на бумаге треугольников, подобных воображаемым на местности, и результатом является только чертеж, то такая триангуляция называется геометрической. При съемках геометрическую сеть составляют или независимо от сети тригонометрической, или же основывают ее на этой последней.

Геометрическая сеть тогда не основывается на тригонометрической сети, когда в данной местности не имеется налицо этой последней; обыкновенно же тригонометрическая сеть кладется в основание геометрической сети.

Рассмотрим здесь составление и пользование исключительно геометрическую сетью; составление же тригонометрической сети рассмотрим в IX главе.

<sup>1)</sup> Название триангуляции происходит от латинского слова *triangulus*—треугольник. Триангуляция была предложена в 1615 году голландцем Снеллиусом, которым предложена задача Потенота.

Составление геометрической сети заключается в выполнении следующих отдельных действий: 1) обзор или рекогносцировка местности, 2) выбор и обозначение пунктов сети сигналами (вехами), 3) выбор и измерение базиса и 4) наконец, нанесение пунктов сети на планшет, т.-е. построение сети.

Выбор точек сети Чтобы пункты сети удовлетворяли своему назначению, их выбирают на возвышенных и открытых местах, заранее замеченных при осмотре — рекогносцировке местности, при том так, чтобы с каждого из них было видно возможно большее число других (не менее двух) Чтобы удобнее было ими пользоваться, как опорными при съемке, их стараются выбрать на таких местах, где сходятся несколько контуров, а также при пересечении дорог или на резко обозначившихся их изгибах, при слиянии ручьев и т. п. При выборе точек сети не следует упускать из виду, что положение их на планшете будет определено засечками, а потому необходимо наблюдать, чтобы стороны воображаемых треугольников, пересечениями которых они определяются, не образовали слишком острых и тупых углов. Засечка считается надежной, если она сделана, как сказано выше, под углами не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$ . Наконец, при выборе пунктов сети надо помнить, что для устранения накопления неизбежных погрешностей, определение пунктов должно быть произведено при возможно меньшем числе постановок инструмента.

Взаимное расстояние между избираемыми на местности пунктами сети зависит как от характера местности, так и от масштаба съемки: чем более на местности снимаемых контуров и чем они мельче, тем менее стороны треугольников сети. Точно так же, чем мельче масштаб, тем длиннее должны быть стороны треугольников; вообще же желательно, чтобы стороны треугольников на планшете представлялись линиями не короче пяти сантиметров, а число пунктов сети должно быть таково, чтобы на каждые двадцать пять квадратных сантиметров плана приходилось в среднем не менее одного пункта.

Обозначение точек сети. Если на избранных пунктах нет естественных сигналов: колоколен, башен, дорожных столбов, отдельных деревьев и т. п., то ставят на них большие вехи, вышиною от 3 до 6 метров. Для лучшей видимости вех на их верхушки набивают флаги, навязывают хворост или солому, также прибавляют дощечку, иногда две, сложенные накрест и т. п., разнообразя эти значки для того, чтобы можно было различать издали одну веху от другой.

Выбор базиса и его длина. Для определения на бумаге относительного положения пунктов сети засечками измеряется на местности одна из сторон треугольников, напр., *МО* (черт. 161), которая называется тогда базисом или основанием сети. Место для базиса избирается одновременно с выбором мест для пунктов сети, при чем наблюдается, чтобы он находился по возможности на середине снимаемого участка и на почве ровной, не пересекаемой препятствиями—оврагами, реками, болотами. Середина участка есть наиболее выгодное место для базиса потому, что, при определении положения пунктов относительно базиса, неизбежные погрешности не будут накапливаться и влиять в одну какую-нибудь сторону, а будут равномерно распределяться по всем направлениям; вследствие этого можно рассчитывать и на более точное определение положения пунктов сети, при котором намеченное на планшете положение пунктов возможно ближе будет подходить к их истинному положению.

Длина базиса обуславливается масштабом съемки и размерами снимаемого участка. Так, если при нанесении пунктов сети на бумагу существует пока только одна погрешность — от неточного нанесения на планшет длины базиса, то базис длиною, напр., в 600 м, нанесенный в масштабе  $\frac{1}{10000}$  (точность которого  $\frac{1}{100}$  см = 1 м) будет ошибочен на 1 м, т.-е. будет короче или длиннее на 1 метр; следовательно, он будет иметь абсолютную ошибку 1 м, а относи-



тельную (на единицу длины) —  $\frac{1}{600} = \frac{1}{600}$ . Тот же базис, нанесенный в масштабе  $\frac{1}{5000}$ , будет иметь абсолютную ошибку 0,5 м, а относительную  $\frac{0,5}{600} = \frac{1}{1200}$ . т. е. точность нанесения базиса на бумагу возрастает с увеличением масштаба. Ошибка же в определении точки  $N$  стороны  $MN$  по базису  $MO$  будет более ошибки в базисе (1,0 или 0,5 м) в отношении  $MN:MO$ , т. е. чем больше размеры сторон  $\triangle$ -ов, тем длиннее должен быть базис.

Измерение базиса. Когда место для базиса выбрано, то его предварительно провешивают; после этого измеряют базис стальной лентой (в крайнем случае цепью) не менее двух раз. Среднее арифметическое из результатов измерения, приведенное по измеренному углу наклона к горизонту, принимается за длину базиса. Так как для базиса избирается место, благоприятное для измерения, то среднее арифметическое не должно отличаться от отдельных результатов измерения более чем на  $\frac{1}{1000}$  долю его длины; в противном случае результат, дающий большую разницу, должен быть отброшен и заменен новым измерением. Так, если при измерении базиса получены результаты: 357,3, 355,8, 351,7, то среднее арифметическое из первого и третьего измерения будет = 357,5. Разность  $357,5 - 355,8 = 1,7$  составляет  $\frac{1,7}{357,5} = \frac{1}{210}$  долю, а потому второй результат должен быть отброшен. Пусть новое измерение базиса дало 357,2, вследствие чего среднее из 357,3, 357,2 и 357,7 будет 357,4, оно и выражает вероятную величину базиса с ошибкою около  $\frac{1}{1750}$ .

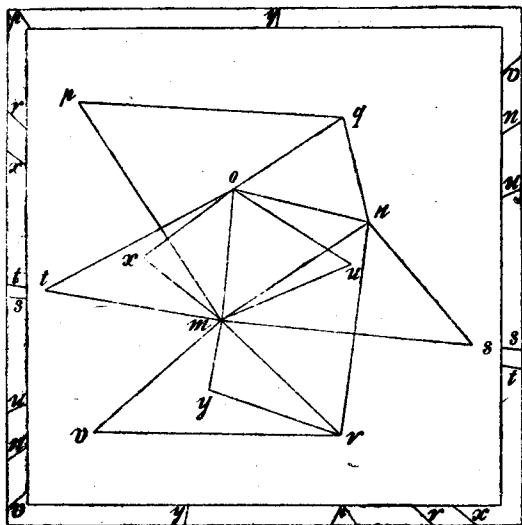
Нанесение пунктов сети на планшет. Перед нанесением пунктов сети на мензульный лист, на нем строят рамку, в виде квадрата, таких размеров, чтобы за сторонами этого квадрата оставалось до краев доски, по крайней мере, по два сантиметра для прочерчивания концов линий, служащих для ориентирования планшета.

Построение квадрата на листе планшета можно произвести так: проведя с угла на угол доски две диагонали  $ac$  и  $bd$  (черт. 118), откладывают на одной из них от точки ее пересечения длину, вычисленную по формуле  $\frac{1}{2} ac = \frac{1}{2} ab \sqrt{2}$ , где  $ab$  есть данная сторона квадрата. Затем, принимая последовательно точки  $a$  и  $c$  за центры, описывают по обоим сторонам от линии  $ac$  дуги радиусом  $ab$ . Соединение пересечений этих дуг с точками  $a$  и  $c$  даст искомый квадрат  $abcd$ , который может быть поверен тем, что обе его диагонали должны быть равны между собою. Перед нанесением пунктов сети необходимо также решить следующий вопрос: поместится ли данный участок внутри построенного квадрата (рамки) или нет? Для решения его надо знать длину наибольшего протяжения по снимаемому участку, а это может быть известно или по имеющейся у съемщика под руками карте, или, за отсутствием ее, по оценке этой длины на-глаз при выборе пунктов сети на местности. Пусть обнаружилось, что наибольшее протяжение по участку = 6 километрам = 6000 м.

Если сторона рамки = 50 сантиметрам, то при масштабе  $\frac{1}{10000}$ , в котором, допустим, должна быть произведена съемка, это составит 5000 м или 5 километров, и так как может случиться, что наибольшая длина участка расположится при съемке по направлению стороны квадрата, то, сравнивая последнее число с наибольшим протяжением участка (6 км), видим, что наш участок при указанном масштабе не может поместиться на одном планшете. Итак, при нанесении пунктов сети на планшет могут быть два случая: 1) когда участок помещается в масштабе съемки на одном планшете и 2) когда он не помещается.

Сначала рассмотрим нанесение пунктов сети в том случае, когда данный участок помещается на одном планшете. Положим, что, замечая пункты на участке  $ABCDE$  (черт. 161), при рекогносцировке имелось

в виду: 1) принять линию  $MO$  за базис; 2) определить с его концов пункты  $N$ ,  $u$ ,  $T$  и  $x$ ; затем 3) определить обратной засечкой по  $O$  и  $N$  точку  $Q$  и проверить это определение обратной засечкой по пунктам  $T$  и  $u$ ; 4) с  $Q$  и  $M$  определить пункты  $P$  и  $S$ ; 5) пункт  $R$  определить по  $M$  и  $N$  и проверить это последний обратной засечкой по видимым с него пунктам  $Q$ ,  $u$  и  $S$ ; 6) с пунктов  $M$  и  $R$  определить пункты  $V$  и  $y$  и, наконец, 7) перейдя с мензулою на пункт  $T$ , проверить его по пунктам  $P$ ,  $Q$ ,  $x$  и  $R$ , после чего с того же пункта проверить определение пунктов  $V$  в  $y$ . Действовать таким путем предполагалось с целью, чтобы не только определить все пункты сети, но еще и проверить полученное на планшете взаимное их положение. Исполнение составленного проекта начинают с того, что становятся с мензулою в один из концов базиса, напр.,  $M$ , вынув сперва, если этого требует масштаб съемки, вежу, стоящую в этом пункте, хотя лучше вежи ставить несколько наклонно и не вынимать раз установленные вежи. В точке  $M$  приводят мензулу в горизонтальное положение сперва на-глаз, ориентируют по буссоли какую-нибудь сторону рамки (по магнитному или, если известно склонение магнитной стрелки,



Черт. 162.

то по истинному меридиану) и назначают на мензуле точку  $m$  (черт. 162), соответствующую точке стояния  $M$ , с таким расчетом, чтобы весь снимаемый участок мог поместиться внутри начерченного на планшете квадрата. Затем мензулу точно центрируют точкою  $m$ , приводят по уровню планшет в горизонтальное положение и снова ориентируют по меридиану. После этого прекращают грубое вращение доски закреплением станového винта подставки мензулы. Убедившись в неподвижности планшета, прикладывают ребро линейки визирного снаряда к  $m$  и визируют на другой конец  $o$  базиса, при этом по линейке прочерчивают линию как на краях планшета, так и внутри рамки такой длины, чтобы на ней можно было отложить по масштабу съемки измеренный базис. Отложив длину базиса  $mo$ , визируют на все видимые из  $M$  точки  $P$ ,  $X$ ,  $T$ ,  $V$ ,  $Y$ ,  $R$ ,  $S$ ,  $U$  и  $N$  и проводят на планшете линии:  $mp$ ,  $mx$ ,  $mt$ ,  $mv$ ,  $my$ ,  $mr$ ,  $ms$ ,  $mu$  и  $mn$ . Покончив все визирования с точки  $M$ , снова проверяют ориентировку планшета по базису. Если она верна, то это удостоверит, что планшет не изменил своего положения во время визирований; в противном случае все прочерченные с этой точки направления должны быть проверены и, если надо, исправлены. Далее мензулу снимают с точки  $M$  и переносят ее на другой конец базиса, в точку  $O$ . Здесь вновь мензулу центрируют над  $O$ , доску приводят в горизонтальное положение и ориентируют линиею  $om$  по веже  $M$ , т. е. по линии  $OM$ . После этого закрепляют доску и, проверив снова отложенную длину  $mo$  базиса  $MO$ , делают визирования на вежи  $U$ ,  $N$ ,  $T$  и  $X$ , засекая направления, сделанные на эти точки из  $M$ . Вследствие чего на планшете получают точки  $u$ ,  $n$ ,  $t$  и  $x$ ; при этом наблюдают, чтобы засечки не были слишком остры или тупы. Из точки  $O$  прочерчивают визирование на новую точку  $Q$ . Убедившись проверкою ориентировки в том, что планшет сохранил данное ему вначале положение, снимают мензулу и переносят инструмент в одну из точек с наиболее благоприятной засечкой, сделанной с концов базиса, напр., в  $N$ . В точке  $N$  мензулу центрируют точкою  $n$  в ориенти-

руют по  $no$ ; после этого положение точки  $n$  проверяют обратной засечкой с точки  $m$  базиса, т. е. удерживая скошенный край линейки кипрегеля у точки  $m$  и визируя на  $M$ . Убедившись в верности определения точки  $n$ , проверяют положение точек  $t$ ,  $x$  и  $u$ , для чего последовательно прикладывают край линейки кипрегеля к  $n$  и  $t$ , к  $n$  и  $x$ , к  $n$  и  $u$ , и смотрят, покрывает ли крест нитей трубы вершины вех  $T$ ,  $X$ ,  $U$ . В случае, если точка  $n$  оказалась бы не верно засеченной с концов базиса то необходимо вновь вернуться с точки  $O$  и  $M$  для нового определения точки  $N$ . Из точки  $N$  переходят в точку  $Q$ . Назначив на направлении  $oq$  примерное положение точки  $q$ , устанавливают мензулу над  $Q$  надлежащим образом, ориентируют ее по направлению  $qo$  и получают точку  $q$  обратной засечкой через  $n$  на  $N$ . Прежде чем приступить к визированию с этой точки на вновь открывшиеся, надо проверить ее определения на планшете, равно как и точек  $t$ ,  $x$ ,  $u$  и  $n$ . Для этого прикладывают ребро линейки визирного прибора последовательно к точкам:  $q$  и  $t$ ,  $q$  и  $x$ ,  $q$  и  $u$ ,  $q$  и  $n$  и смотрят, — проходит ли коллимационная плоскость через  $T$ ,  $X$ ,  $U$  и  $N$ ; при этом могут быть такие случаи: 1) коллимационная плоскость проходит последовательно через все эти вехи, 2) коллимационная плоскость проходит через некоторые точки, напр.,  $T$ ,  $U$  и  $N$ , а через другие, напр., через  $X$  не проходит и 3) коллимационная плоскость не проходит ни через одну из предыдущих вех. В первом случае можно почти с достоверностью утверждать, что как  $q$ , так и  $t$ ,  $x$ ,  $u$  и  $n$  определены верно. Во втором случае следует сделать весьма вероятное предположение, что точка  $x$  неверно нанесена на планшет; и, имея это в виду, надо будет определить ее с других точек, на которые будем становиться с мензулою (напр.,  $Q$  и  $B$ ). Наконец, причиною появления третьего случая может быть или неверное ориентирование планшета в  $Q$ , или неверное определение самой точки  $q$ . Если проверка ориентирования не приводит к благоприятному результату, то неверность могла произойти от неверного проведения направления  $oq$ . Тогда, возвратившись с мензулою в  $o$ , проверяют направления  $oq$  и  $on$ . При неверности направления  $oq$ , проводят новое, переходят опять в  $Q$ , снова ориентируются по  $qo$  и снова определяют  $q$  через  $n$ . Если же в  $O$ , окажется что оба направления  $oq$  и  $on$  верны или направление  $oq$  верно, а  $on$  неверно, то оба эти обстоятельства дают возможность предполагать неверность определения точки  $n$ . Перейдя опять из  $O$  в  $Q$ , определяют  $q$  уже не по  $n$ , а по другой какой-нибудь точке, напр., по  $u$ . Определив таким образом  $q$  и проверив ее по другим точкам, засекают направление  $tr$  и  $ts$ , а также, если надо, и направление  $on$ . После этого, вновь проверив ориентирование, снимают мензулу с  $Q$  и переносят ее в  $B$ , где, установив ее надлежащим образом, определяют  $r$  обратной засечкой через  $n$ , проверяют ее на все видимые с нее точки  $T$ ,  $P$ ,  $X$ ,  $N$ ,  $S$  и определяют новые точки  $y$  и  $v$ . В заключение для проверки, главным образом, точек  $y$  и  $v$  переносят мензулу в  $T$  и проверяют окончательно все видимые пункты.

Таким образом, обходят с мензулою все пункты сети, а через это на планшете они не только будут определены, но и проверены.

К сказанному о нанесении триангуляции нужно добавить: 1) предложенный распорядок работы может подвергнуться во время ее хода некоторому изменению, если при определении точек обнаружится, что некоторые из них получаются под острыми или тупыми углами, или встретятся какие-либо неверности;

2) для последующей постановки инструмента нужно брать точку, дальше отстоящую от предыдущей, через что уменьшается число стаций, а следовательно, и накопление неизбежных погрешностей;

3) так как каждый пункт триангуляции может определяться пересечением более, чем двух направлений, то, для избежания накопления слишком большого числа прочерченных за рамкою направлений, достаточно делать эти продолжения только с некоторых из пунктов, с которых получается более благоприятная засечка;

4) встав с мензулою на какой-нибудь пункт сети и ориентировав планшет, нужно прежде всего проверить на планшете точку стояния по имеющимся на планшете пунктам и уже только после этого приступить к определению новых точек;

5) каждую точку на планшете, после ее проверки, накалывают круглою наколкою с вычернением образовавшегося углубления острием карандаша затем, стерев резиною пересечение линий, ее определяющих, обводят точку маленьким треугольником или кружком.

Когда снимаемый участок не помещается на одном планшете, то нанесение составленной на местности сети производится по двум способам.

В первом способе это нанесение делается в том же масштабе, который предположен и для съемки подробностей. Самые действия состоят в следующем: с измеренного базиса, выбранного в середине участка, наносят на первый планшет те точки местности, которые на нем поместятся, и при том в той последовательности, как предположено; затем точки, лежащие вблизи стороны рамки, переносятся на следующие планшеты и, приняв за новый базис или расстояние между двумя перенесенными пунктами, или расстояние вновь измеренное, продолжают нанесение сети на этом втором планшете<sup>1)</sup>. Поступая таким же образом далее, получают всю сеть на нескольких планшетах, на которых после этого и производится съемка подробностей. По окончании нанесения на каждом планшете пунктов сети производится на нем съемка подробностей и иллюминировка контуров планшета, после чего, еще не срезая листа с доски, съемщик измеряет на нем все те величины, которые определяют положения переносимых пунктов, и записывает их; затем, по срезке с доски листа, покрытого съемкой, и наклейки на нее чистой бумаги, строят в ней квадрат, равный квадрату первого планшета, и наносят точки по сделанным записям. Такая предосторожность необходима потому, что по срезке бумаги с доски, она сядет, вследствие чего, и изменится как относительное расположение пунктов сети между собою, так и положение их относительно сторон рамки.

Второй способ нанесения пунктов триангуляции участка, не помещающегося в заданном масштабе на одном мензульном листе, основан на таком изменении заданного масштаба, чтобы весь участок расположился на одном планшете.

Самое нанесение сети в этом масштабе производится так же, как и прежде, т. е. начав с нанесения на планшет базиса, постепенным переходом из одной точки в другую с мензулою, получают ватечками все пункты триангуляции на одном листе.

Уменьшать масштаб общей сети допускается не более, как в 3 раза, ибо яри перенесении пунктов с общего планшета на частные во столько же раз будут увеличены и неизбежные погрешности измерения линий на плане и триангуляция не достигнет цели — дать верные опорные точки для съемки подробностей. Положение перенесенных пунктов сети необходимо проверить на местности.

Если однако снимаемый участок настолько велик, что требуется большое уменьшение масштаба общей сети, то это затруднение обходится тем, что, уменьшив масштаб сети все-таки не более как в 3 раза, снимают ее на нескольких планшетах, которые затем и разбиваются на частные для съемки.

§ 77. Съемка контуров мензулою. Когда триангуляция составлена и нанесена на планшет, тогда приступают к съемке контуров. При этом, смотря по условиям, представляемым местностью, и удобствам, употребляют тот или другой из четырех способов съемки (ч. I, § 134).

<sup>1)</sup> Перенесение делается помощью координат, взятых относительно рамки.

Способ васечек весьма часто употребляется при мензурной съемке в открытой местности.

Способ промеров с вехи на веху можно рекомендовать, между прочим, и с целью контроля сделанных васечек и, конечно, в местности открытой. Этим способом (в связи с методом координат) нередко поручают помощнику снять селение, речной берег и т. п. относительно оси, положение которой дано на мензуре.

Съемка полярным способом производится из одной точки стояния и состоит в нанесении на планшет направлений на главнейшие изгибы контура и в отложении на этих направлениях их длин.

Этот способ имеет особое значение в открытой местности или при съемке лужаек в лесу в том случае, когда съемщик располагает кипрегелем-дальномером с рейкою. Очевидно, что он выгоден по отношению к скорости съемки.

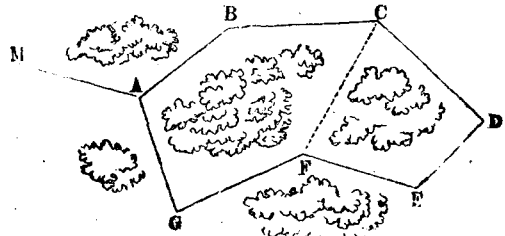
Полярный способ хотя тоже требует местности открытой, но имеет преимущество перед способом засечек, состоящее в том, что нередко решает вопрос одною постановкою мензулы.

Способ обхода употребляется для съемки леса, кустарника, дороги или ручья, пролегающих в лесу, и вообще контура закрытого (черт. 163). Он основан на том, что съемщик, следуя по контуру, определяет положение каждой последующей точки стояния мензулы направлением и промером от точки предыдущей.

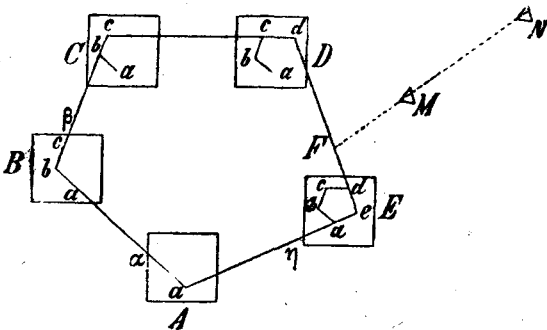
Положим, что для съемки контура кустарника положение точки  $A$  (черт. 164) на планшете дано; пусть оно —  $a$ . Если же этот контур должен быть снят отдельно, независимо от других, то точка  $a$  выбирается на планшете съемщиком так, чтобы весь контур по соображению мог поместиться на планшете.

Встав с мензурою в эту точку, съемщик ориентирует планшет или по имеющимся на нем точкам, или в крайнем случае по буссоли; визирует вдоль границы контура на веху  $B$  и прочерчивает линию  $aa$ . Затем снимает мензулу, ставит в  $A$  веху, измеряет лентой линию  $AB$  и методом координат снимает точки изгиба контура, при чем ведет абрис. Придя в  $B$ , съемщик откладывает на планшете по масштабу длину  $ab$  линии  $AB$  и устанавливает мензулу в  $B$  надлежащим образом, ориентирует планшет снова на  $A$ , визирует вдоль границ контура на вновь избранную точку  $C$ , прочерчивает линию  $b\beta$ , сняв мензулу, ставит на  $B$  веху и промеряет  $BC$ , опуская на нее перпендикуляры из главных изгибов контура. Поступая таким же образом, съемщик доходит до  $E$ , где, поставя мензулу и ориентировав планшет по  $cd$  по вехе  $D$ , визирует через  $e$  на  $A$  и прочерчивает линию  $e\eta$ . После этого измеряет  $EA$  и откладывает ее по масштабу  $e\eta$ .

Если бы съемка производилась с совершенною точностью, то направление  $e\eta$  должно было бы проходить через начальную точку  $a$ , и конец линии  $EA$ , взятой по масштабу, должен был бы совпасть с  $a$ ; но вследствие неизбежных погрешностей, сделанных при построении углов на планшете, а также ара



Черт. 163.



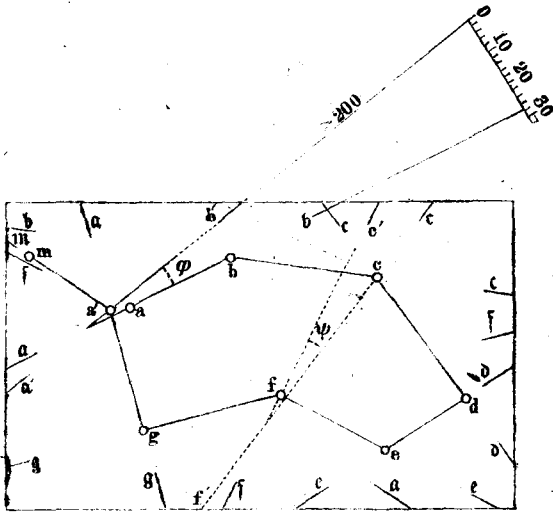
Черт. 164.

дом координат снимает точки изгиба контура, при чем ведет абрис. Придя в  $B$ , съемщик откладывает на планшете по масштабу длину  $ab$  линии  $AB$  и устанавливает мензулу в  $B$  надлежащим образом, ориентирует планшет снова на  $A$ , визирует вдоль границ контура на вновь избранную точку  $C$ , прочерчивает линию  $b\beta$ , сняв мензулу, ставит на  $B$  веху и промеряет  $BC$ , опуская на нее перпендикуляры из главных изгибов контура. Поступая таким же образом, съемщик доходит до  $E$ , где, поставя мензулу и ориентировав планшет по  $cd$  по вехе  $D$ , визирует через  $e$  на  $A$  и прочерчивает линию  $e\eta$ . После этого измеряет  $EA$  и откладывает ее по масштабу  $e\eta$ .

Если бы съемка производилась с совершенною точностью, то направление  $e\eta$  должно было бы проходить через начальную точку  $a$ , и конец линии  $EA$ , взятой по масштабу, должен был бы совпасть с  $a$ ; но вследствие неизбежных погрешностей, сделанных при построении углов на планшете, а также ара

измерении линий и при нанесении их на планшет, конечная точка обхода в большинстве случаев не совпадает с начальной. Расстояние ее от этой последней, представляющее невязку фигуры, уничтожается по способу параллельных линий (изложенному в части I, § 151), однако, предварительно убедившись в том, что полученная невязка может быть допущена; в противном случае надо обнаружить тот угол или ту сторону многоугольника, в которых следует предполагать грубую ошибку. За высший предел невязки принимается при этом способе  $\frac{1}{200}$  периметра.

Для устранения значительного накопления погрешностей нужно заботиться о получении длинных линий ориентирования, для чего прочерчивать направление на будущие точки стояния и за сторонами рамки планшета (черт. 165); далее, если с какой-нибудь точки стояния, напр., *c*, виден другой пункт, напр., *f*, то проводят на мензуре диагональ *cf* (или *fc'*), проверяя положение точки *f* по *c*. Если также виден один, или еще лучше, несколько пунктов триангуляции, то необходимо проверять точку стояния обратной засечкой или вновь определить ее по трем данным и, уничтожив оказавшуюся при этом допускаемую невязку, продолжать обход; наконец, для устранения накопления погрешностей в одну сторону, полезно обходить первую половину контура так, чтобы он был вправо, а потом, вернувшись к той же начальной точке обхода, обходить другую половину, держа контур влево. Вообще при употреблении этого



способа нужно пользоваться всем, что может уменьшить накопление погрешностей, ибо ошибка в положении какой-нибудь точки передается при этом способе целиком на точки последующие.

Цельзя также пренебрегать и проверкою по створам предметов. Это производится так: положим, что *M* и *N* суть данные на планшете (черт. 164) точки; тогда при измерении на местности линии *DE* замечают расстояние точки *F*, лежащей на створе предметов *M* и *N*, и сравнивают эту длину с соответственною по планшету, что и послужит проверкою.

Рассмотрим прием увязки фигуры, рекомендуемый немецкими практиками. Так как измерение сторон обойденного полигона всегда возможно довести до такого совершенства, при котором неизбежные ошибки измерения линий окажутся значительно меньше точности масштаба съемки, то невязку в фигуре обойденного полигона можно рассматривать, как накопление только одних неизбежных погрешностей, сопровождающих построение углов на мензуре. Пусть, напр, получилась невязка *a'a* (черт. 165), вследствие чего, при ориентировке мензулы *a'g* и визировании на точку *B*, линия *a'b'* уклонилась влево от *ab* на угол φ. Для уничтожения невязки *aa'* или, что то же самое, угла φ, распределим величину φ на *n* углов полигона, и исправим каждый, уменьшая его на величину φ : *n*. Это выполнится само собою, если мы сторону *ab* повернем вправо на φ : *n*, сторону *bc* — на 2 φ : *n* и т. д., и, наконец, сторону *ga* — на φ. С этой целью, приложив сперва кипрегель к линии *a'b'*, яровизируем на выставленную в расстоянии 150—200 метров от мензулы горизонтальную рейку, при

чем вращением планшета совместим линию визирования с нулем рейки. После этого переложим кипрегель к линии  $ab$ , я, вновь визируя на рейку, сделаем на ней отсчет  $\psi$ . Разделив затем  $\psi$  на  $n$ , снова вращаем доску до тех пор, пока пересечение нити кипрегеля, приложенного к  $ab$ , не придется на нуль рейки. Закрепив нажимательный (становой) винт мензулы, вращаем кипрегель около  $a$  до тех пор, пока линия визирования не пройдет через деление рейки  $\psi:n$ , на вновь прочерченной ланзи отложим длину  $ab$ , через что получится новое исправленное положение точки ( $b$ ). Теперь приложим кипрегель к линии  $bc$ , вращением доски направим кипрегель на нуль рейки и доску закрепим, затем вращаем по доске кипрегель около ( $b$ ) и проводим новое направление  $bc$  при условии, что крест нитей кипрегеля при этом покрывает на рейке деление  $2\psi:n$ . На висвь прочерченной линии откладываем меру линии  $bc$  и получаем новое исправленное положение точки ( $c$ ). Таким же приемом продолжаем передвигать следующие точки полигона на планшете до тех пор, пока не получится точка ( $a$ ), совпадающая с точкою  $a$ . При этом приеме не требуется строгой центрировки мензулы.

При измерении линий на покато́й местности следует при способе обхода, как и всегда, наносить их горизонтальные проложения.

Когда от способа обхода не требуется высшая возможная точность, как, напр., в лесных съемках (при отделении участков одинаковой породы, одинаковой густоты насаждения, одинакового возраста деревьев), тогда при съемке границы становятся с мензулою через вершину многоугольника, ориентируясь при этом планшет в каждой точке стояния по буссоли и измеряют последовательно длины всех сторон полигона попарно, напр.,  $AB$  и  $AF$ ,  $CB$  и  $CD$ ,  $ED$  и  $EF$  и т. д.

Относительно применимости отдельных вложенных в предыдущем способов съемки контуров надо сказать, что способы засечек и полярный должны по возможности предпочитаться способу обхода, потому что при двух первых положения каждой точки определяется совершенно независимо от предыдущих, тогда как при способе обхода на положение последующей точки влияет сумма неизбежных погрешностей, вкравшихся в определение точек предыдущих. Кроме того, при способе засечек получается горизонтальное проложение контура непосредственно, между тем способ обхода требует для этого введения поправок во все измеренные наклонные линии. Наконец, способ промеров с вехи на веху, как наиболее точный, простой и позволяющий работать даже и в менее благоприятную погоду, следует предпочитать всем остальным.

Съемка контуров в общей связи на данном участке, на котором имеется триангуляция, производится всеми предыдущими способами, постепенным переходом от одного контура к другому, однако, точки каждого контура определяются по точкам сети, по возможности, [независимо от точек других контуров, во избежание накопления погрешностей <sup>1)</sup>, при чем иногда часть контура снимают одним способом, а остальную часть его — другими способами, смотря по удобству и условиям, представляемым местностью. На каждой точке стояния съемщик обязательно поверяется на все видимые точки сети и вместе с тем располагает свой ход с инструментом так, чтобы можно было производить съемку вправо и влево и чтобы при меньшем числе переходов о инструментом, т. е., в наименьшее время снять более широкую полосу.

§ 78. Съемка мензулою на основании тригонометрической (или полигонометрической) сети. Иногда на местности, на которой составляется геометрическая сеть, имеется уже готовая, составленная тригонометрическая (или полигонометрическая) сеть; тогда базис геометрической сети не измеряется, и нанесенно

<sup>1)</sup> Для необходимой ориентировки и для засечек, а также для способа створов (промеров), пользуются каждый раз точками геометрической сети расположенными вблизи контура.

на планшет точек геометрической сети производится по предварительно наложенным на него (по вычисленным координатам) пунктам тригонометрической (или полигонометрической) сети. Расстояние между двумя из пунктов тригонометрической (или полигонометрической) сети принимается за базис геометрической сети, самое же нанесение этой последней ничем не отличается от изложенного в предыдущем.

§ 79. Нанесение горизонталей при мензульной съемке. Нередко одновременно с горизонтальной съемкою ведется на мензуле и назначение горизонталей.

Здесь всецело применима статья о выражении неровностей местности на планах, изложенная в отделе о тахиметрической съемке.

Сперва определяются высоты точек геометрической сети, а потом высоты станций и, наконец, пикетов.

При определении превышения  $h$  одной точки над другой, по формуле  $h = D \operatorname{tg} \alpha$ , где  $D$  — горизонтальное проложение расстояния между точками и  $\alpha$  — угол наклоения, не следует забывать что ошибка  $W$  в  $h$  прямо пропорциональна  $D$ , а потому следует заранее установить величину  $D$  для того, чтобы  $W$  не превосходило данного предела. Поэтому, если расстояние  $D$  между точками геометрической сети значительно, напр., более километра, то между точками сети назначаются станции <sup>1)</sup>, положение которых на мензуле определяется или обратной засечкою, или по задаче Потенота; после этого, взяв первый пикет у воды, сперва определяют высоту первой станции, а затем уже высоту первого сигнала (см. §§ 55 и 56).

При незначительных расстояниях между точками геометрической сети (от 300 до 700 метров) одновременно с визированием на точку сети (во время засечек) стремятся определить кипрегелем-высотометром и угол наклоения вершины того сигнала, или той вежи, на которую делается визирование. Углы наклоения и высота инструмента <sup>2)</sup> записываются в особый журнал на каждой точке стояния с мензулой. Обыкновенно рекомендуется измерять углы наклоения точек сети с таким расчетом, чтобы: 1) наблюдения были прямыми и обратными, т.-е. если, напр., измерялся угол наклоения с точки  $M$  (черт. 161) на вершину сигнала точки  $O$ , то также был бы измерен и угол наклона из точки  $O$  на вершину сигнала  $M$ ; 2) с каждой точки стояния с мензулой достаточно брать углы наклона на первую базисную точку  $M$  и на две соседние (с точкой стояния с мензулой); 3) если первая  $M$  или вторая  $O$  базисные вежи с точки стояния с мензулой не видны, то следует ограничиваться таким подбором измерения углов наклоения, чтобы образовался замкнутый многоугольник, для сторон которого измерены прямые и обратные углы наклоения. Например: 1) из  $M$  на  $O, N, u, S, R, y, V, T, x, P$ ; 2) из  $O$  на  $M, x, T, N$ , 3) из  $Q$  на  $O, N$  и  $S$ ; 4) из  $N$  на  $Q, R, V, y, M$ ; 5) из  $S$  на  $Q$  и  $M$ ; 6) из  $R$  на  $M, N, y$ ; 7) из  $V$  на  $M$  и  $R$ ; 8) из  $T$  на  $R$  и  $Q$ , и 9) из  $P$  на  $M$  и  $Q$ .

При таком способе измерения углов, можно образовать или отдельные треугольники,  $OTM, MRV, OXM, YRM, OQN, MQS$ , или сомкнутый полигон  $MOQNRVM$ .

Для определения высот точек геометрической сети применяются формулы:

$$h = D \operatorname{tg} \alpha + i - V$$

$$H' = H + h,$$

где  $h$  — превышение,  $i$  — высота инструмента,  $V$  — высота сигнала,  $H'$  — высота подошвы сигнала, и  $H$  — высота точки стояния с инструментом,  $D$  — расстояние, измеренное на плашете по масштабу циркулем (для базиса — измеренное в поле); конечно, достаточно было бы одних прямых наблюдений, но для

<sup>1)</sup> Т.-е. взаимное расстояние между опорными пунктами (станциями и точками сети) уменьшается.

<sup>2)</sup> От земли до горизонтальной оси вращения кипрегеля.



контроля и для избежания накопления погрешностей делаются избыточные наблюдения. Так, если бы мы по первой указанной формуле вычислили превышения точек: 1)  $O$  над  $M$  и обратно, 2)  $Q$  над  $O$  и обратно и т. д., и взяли бы из прямых и обратных наблюдений для каждой пары точек среднее арифметическое<sup>1)</sup>, а затем взяли бы сумму превышений (средних арифметических) в замкнутом полигоне  $MOQNLM$ , то она должна бы быть ноль. В действительности этого не будет; если величина  $r$ , на которую при небольших углах  $\alpha$  сумма будет отличаться от нуля, не превысит величины  $2\Sigma W = 2\Sigma D \cdot x \cdot \sin 1 = x \cdot \sin 1 \cdot 2P$  (где  $P$  — периметр многоугольника), то погрешность разлагается пропорционально расстоянию.

§ 80. Проверка мензульной съемки. При всех своих работах съемщик должен удостоверяться в правильном их производстве. Хороший результат проверки подбодряет съемщика к производству более затруднительной части работы, а неблагоприятный — обращает своевременно внимание съемщика на существование недопускаемых в работе ошибок, которые можно своевременно исправить и заставляет его относиться в будущем к съемке с большим тщанием. Вследствие этого проверка съемки должна производиться не только по окончании, но и во время хода ее.

Проверка мензульной съемки в местности открытой состоит в определении на планшете двух или нескольких точек посредством засечек с данных пл, еще лучше, по трем данным и в измерении на местности линий, соединяющих эти точки. Промерив каждую из этих линий и заметив на абрисе все пересечения контуров, сравнивают полученные измерения с соответственными длинами на планшете. Если полученные при этом разницы не превышают  $\frac{1}{200}$  доли соответственной длины, то съемка считается удовлетворительной. Для более легкой, но менее обстоятельной проверки ставят мензулу в каком-нибудь хорошо определенном на планшете пункте и визируют через него в дальномерную рейку, выставляемую в различные пункты контуров. Уклонение прочерченной линии визирования от соответственного пункта контура не должно превышать того же предела. Обыкновенно при проверке употребляют одновременно тот и другой прием.

Проверка мензульной съемки в местности закрытой, как, напр., в лесах, садах, селениях и т. п., состоит в постановке мензулы в данный пункт и в употреблении способа обхода для определения имеющихся на планшете пунктов. Допускаемое уклонение есть  $\frac{1}{200}$  пройденного хода.

§ 81. Достоинства и недостатки мензульной съемки. Важное достоинство мензульной съемки состоит в том, что план снимаемого участка получается тут же, при производстве самой работы, не требуя для своего составления особого времени; далее, достоинством служит также и то, что из всех инструментов мензула, и в особенности в соединении с дальномером, наиболее удобна для съемки в том отношении, что не требует от съемщика умения производить вычисление, которым в большей или меньшей степени сопровождается работа с угломерным инструментом.

Недостатком мензулы нужно прежде всего считать: 1) малую точность, что видно из того, что предельная ошибка графического построения ею угла местности есть 7 минут<sup>2)</sup>. Точность изображения длины линии на мензуле выражается дробью, которая не менее  $\frac{1}{200}$ , т. е. каждые 200 метров на планшете могут быть ошибочны на 1 метр. Эти ошибки могут, вследствие накопления погрешностей, еще увели-

<sup>1)</sup> Каждое обратное наблюдение не должно разниться от прямого на величину  $y$  большую  $2 \cdot d' = 2d \cdot t \cdot \sin 1' = (1,3133) \cdot 2d \cdot t$ , где  $d$  есть расстояние  $OM$  или  $OQ$ , а  $t$  — точность верньера.

<sup>2)</sup> Предельная ошибка равна утроенной средней ошибке

читься по мере удаления от базиса, так что на различных местах планшета они различны. На точность также влияет изменчивость гигроскопического состояния бумаги происходящая от большей или меньшей влажности воздуха и посадки бумаги с течением времени. Затем 2) к недостаткам надо отнести то, что при перерисовывании мензульного плана копии получаются раз от разу менее точные. Это перерисовывание может быть допущено только при сохранении масштаба или при его уменьшении, а никак не при увеличении. Далее 3) необходимость употреблять при мензуре ее принадлежности, отдельные от самого инструмента, а также 4) большая громоздкость и вес сравнительно с угломерными инструментами, транспорт которых гораздо удобнее, тоже не говорят в пользу мензулы.

**§ 81а. Применение мензульной съемки.** Мензула и кипрегель служат основными инструментами в работах по съемке больших пространств, для составления карт.

Все работы по картографии страны связываются тригонометрической сетью, пункты которой наносятся на планшеты мензулы и по которым далее развивается геометрическая сеть.

В настоящее время мензульная топографическая съемка ведется Высшим Геодезическим Управлением и Военно-Топографическим Управлением в различных масштабах, 1:100.000, 1:50.000 и 1:25.000.

Для каждого масштаба лист карты имеет определенные размеры.

Границами листа карты служат меридианы и параллели

Для масштаба 1:100.000 ширина листа карты между меридианами равна 20' и между параллелями 30'; для масштаба 1:50.000 соответственно 10' и 15' и для масштаба 1:25.000 — 5' и 10'.

Это означает, в линейной мере, что для широты 55°, при масштабе 1:25.000 основание планшета равно 42,657 см, а высота 37,104 см, с площадью 98,8195 кв. км. За последнее время можно наблюдать применение мензульной съемки и в целях землеустройства.

## ГЛАВА VI.

### Быстрые съемки небольшой точности.

#### Глазомерная съемка.

**§ 82. Цель глазомерной съемки.** Знание современного состояния местности важно во многих отношениях; между тем, местность может сильно различаться от существующих ее изображений. Изданные карты, будучи мелкого масштаба, обыкновенно не могут дать всех необходимых о местности сведений. Да и самые лучшие и подробные планы, хотя бы и в весьма крупном масштабе, но составленные заранее, часто также не могут удовлетворить этому требованию, так как в заранее составленных и изданных картах могут случиться несогласия о действительностью вследствие перемен, происшедших на местности от естественных причин и от деятельности человека.

Вследствие этого, если на данную местность нет подробной современной карты и планов или достать такие затруднительно, а между тем необходимо иметь общее понятие о расположении предметов местности, с приближенным указанием расстояний от одного предмета до другого, в возможно короткий промежуток времени, тогда снимают план теми способами и с той точностью и подробностью, как это позволяют средства в время; при недостатке времени такими же приемами пополняют и исправляют существующие карты местности. Такого рода съемки называются глазомерными, ибо данные необходимые для составления плана получают не только

приближею, не даже иногда просто на-глаз. При такой съемке выражают только общее расположение предметов, не входя в мелкие подробности контуров, а потому и повещают из них только те, которые необходимы в целях, преследуемых съемкою.

Хотя глазомерная съемка может производиться в различными целями в иногда даже применяется для съемки малонаселенных обширных пространств (как, напр., в Сибири), но основною задачею глазомерной съемки служат осмотр местности или, как говорят, рекогносцировка и пополнение существующих топографических карт. Глазомерная съемка ведется обыкновенно, в мелком масштабе, напр, 500 м или 1 км в сантиметре.

§ 83. Общий характер работ. Первое условие, которому должна удовлетворять глазомерная съемка, это — быстрота ее производства. При военно-глазомерной съемке снимаются только те предметы, которые имеют значение в военной отношении; при этом предметы, имеющие важное значение, снимаются с большею точностью и подробностью, а второстепенные — приближенно. Напр., пути сообщения (дороги, бечевники, реки, ручьи, каналы и т. н.) или предметы, имеющие значение в других отношениях (места переправы (брод, мост), деревня, лес, расположение неприятельских войск и т. н.; препятствия: овраги, обрывы, болота...), предметы, способствующие ориентированию, [отдельные деревья, столбы, саран, большие камни, следы стоянок и т. п.] особенно тщательно наносятся на план.

Выразить условно общий характер рельефа местности составляет также одно из важных требований глазомерной съемки.

Особенность действий при военно-глазомерной съемке заключается в следующем. Недостаток времени не позволяет делать перед съемкою предварительной триангуляции, а потому съемка совершается без предварительно определенных основных пунктов, вместо которых с карт мелкого масштаба на кроки<sup>1)</sup> слегка наносят общие направления и положения некоторых предметов, как, напр., дорог, рек, гор, селений и т. п., чтобы потом можно было их исправить. При неимении же карт приступают прямо к производству съемки. Успех производства глазомерной съемки зависит как от умения отличать необходимое от ненужного, так и от умения выбирать направления, по которым нужно пройти местность. Если съемка вводится без строго определенной цели, то местность проходят, обыкновенно, по дорогам, которые сами по себе имеют весьма важное значение и, кроме того, представляют собою места, самые удобные для прохождения участка, а потому движение по ним содействует скорости производства съемки. При недостатке дорог проходят по местам, более доступным и удобным для движения и обозрения. Уклонение в сторону от дороги, бечевника и тропинки совершается только тогда, когда некоторые направления или местные предметы имеют особенную важность в практическом отношении.

При следовании по избранным направлениям наносят на бумагу предметы, встречающиеся как на пути следования, так и по сторонам его, при чем их действительные размеры, форма и вид выражаются настолько подробно, насколько это необходимо для уяснения значения этих предметов; тогда как в инструментальной топографической съемке все находящиеся на местности предметы выражаются в том виде, как только позволяет масштаб съемки. Некоторые же предметы, как имеющие особенно важное значение, как, напр., такие, по которым удобно узнавать местность и ориентироваться на ней<sup>2)</sup>, изображаются на военно-глазомерных планах с особенною ясностью и не только в большем масштабе,

<sup>1)</sup> План глазомерной съемки, составленный вчерне, называется брутальным, а отделанный на белом — кроки.

<sup>2)</sup> Такие предметы носят название ориентировочных предметов и пунктов. В этом отношении особенно важны отдельные высокие предметы, видимые издали: церкви, указатели дорог, отдельные деревья, столбы и т. в., имеющие, вообще, отличный вид, бросающийся в глаза.

ио даже в перспективном виде, как кажутся на местности. Таким образом, глазомерная съемка имеет две существенные особенности: 1) быстро давать результаты съемки и 2) давать крайне приближенную и неравномерную точность и полноту.

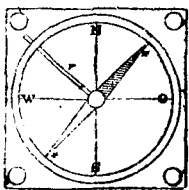
§ 84. Виды глазомерной съемки. На глазомерной съемке с пользой могут употребляться легкие, удобопереносимые и прочные инструменты, применение которых вместе с тем просто. Всего лучше, если есть легкая мензула или ручной планшет с прикрепленным компасом; за неимением их употребляют ручные буссоли или производят съемку без инструментов; поэтому съемки называют: 1) инструментальными, 2) полунструментальными и 3) исключительно глазомерными. Съемки, произведенные по дорогам, бечевникам, берегам рек и другим путям сообщения принято называть маршрутными.

§ 85. Основные приемы глазомерной съемки. Основные приемы глазомерной съемки те же, что и приемы точной, инструментальной съемки: они состоят в определении направлений и измерении расстояний. Определение направлений. При глазомерной съемке направления линий определяются или просто на-глаз, или наносятся графически или измеряются при помощи ручных буссолей. При графическом нанесении направлений план ориентируют по ранее нанесенным с карты направлениям или по приближенно определенным странам света и затем уже прочерчивают на плане новые линии параллельно направлениям, идущим на местности; при этом употребляется или легкая, ручная мензула или чаще заменяющая ее простая картонная папка с прикрепленным к ней компасом; при применении угломерного способа, пользуясь ручной буссолью, измеряют азимуты отдельных направлений. Иногда же просто оценивают на-глаз градусную величину углов, составляемых разными направлениями между собой и строят на плане эти углы также на-глаз, без помощи транспортира. По большей части при глазомерной съемке употребляются оба приема—графический и угломерный вместе. Нанося направление графически, смотрят, составляют ли они на плане те углы, какие представляются на местности по оценке их на глаз и, наоборот, нанося их по определяемым углам, наблюдают, чтобы они имели на плане направления, соответствующие направлениям на местности.

Измерение расстояний совершается при глазомерных съемках грубо, преимущественно шагами человека; но иногда расстояние определяется дальномером, шагами лошади, временем, скоростью звука и глазомером.

Лучший из указанных приемов есть измерение посредством дальномеров.

§ 86. Графический способ нанесения на брульен направлений. Компас. Наиболее распространенный прием нанесения на план глазомерной съемки (брульен)

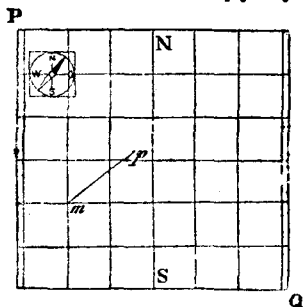


Черт. 166.

направлений, — это графический. Для ориентировки планшета (папки) служит компас. Он состоит из медной круглой коробки (черт. 166) диаметром несколько более двух см. В центре коробки помещается шпиль, на который повешена магнитная стрелка *ns* и надет рычаг *r*, прижимающий стрелку во время перенесения инструмента к стеклу, которым закрыта коробка. На дне коробки проведены две перпендикулярные линии *NS* и *WO*. Коробка прикреплена к квадратной медной дощечке, имеющей в углах круглые отверстия, через которые проходят винты, прикрепляющие компас к папке, на которой

чертится план местности. Папка имеет размер немногим более размера полулиста писчей бумаги,  $20 \times 30$  сантиметров (черт. 167). Из этого описания видно, что компас отличается от буссоли тем, что не имеет градусного кольца и, следовательно, не может служить для определения градусной величины азимута; он служит только для ориентирования по магнитному меридиану; обыкновенно длинного края папки *n*, для чего компас прикрепляют в одном из углов *P* папки *PQ* (черт. 167) так, чтобы его линия *NS* была параллельна или краю

цапки или меридиану, проведенному на бумаге папки. При ориентировке папки вращают ее до тех пор, пока северный конец стрелки совпадет с концом  $N$  линии  $NS$  или, все равно, когда южный конец стрелки совпадет с концом  $S$ ; после этого папка будет ориентирована по магнитному меридиану. Чтобы, стоя на конце данной линии местности, начертить на бумаге ее направление при данной на папке точке  $m$ , повертываются лицом в ту сторону, куда идет линия местности и, наблюдая затем, чтобы стрелка не уклонялась от линии  $NS$  компаса, прикладывают к точке  $m$  или ручную алидаду, или просто обыкновенную трехгранную масштабную линейку (черт. 167а), которую поворачивают около данной точки до тех пор, пока верхний край линейки будет находиться в вертикальной плоскости линии местности; линия  $mp$  (черт. 167), прочерченная карандашом по ребру линейки, есть требуемое направление линии местности. Для более



Черт. 167.



Черт. 167а.

точного нанесения линии указанным путем хорошо, если боковая поверхность коробки компаса не медная, а стеклянная, на которой назначены штрихами направления линий  $NS$  и  $WO$ ; тогда съемщик при визировании будет одновременно видеть как предмет, так и стрелку. Наконец, покажем, как на бумаге прочертить направление линии местности при помощи карандаша. Для этого, ориентируя папку на глаз по странам света<sup>1)</sup>, устанавливают карандаш (перемещая его на папке) так, чтобы он находился в плоскости, проходящей через данную на папке точку и предмет местности; после этого, нажав карандаш, назначают точку, соединив которую с данной точкою прямою линиею от руки или по линейке, получают на папке искомое направление линии местности. Поступая обратным порядком, по данному на папке направлению, можно ориентировать папку, а именно: находясь в конце данной линии и поставив карандаш в начальной ее точке, поворачивают папку на столько, чтобы карандаш находился в плоскости точки стояния и начальной точки линии.

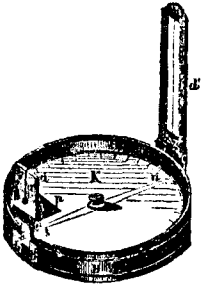
Для нанесения измеренных (или определенных на глаз) расстояний на план при глазомерной съемке употребляется только что упомянутая масштабная линейка, заменяющая собою алидаду. Она представляет собою в сечении, перпендикулярном к длине, трехгранную призму и сделана из твердого, напр., пальмового дерева. На боковых гранях линейки назначены сантиметры и более мелкие подразделения. На одном конце линейки сделано круглое отверстие, проходящее через боковые грани. Через это отверстие пропускается шнурок, навешиваемый на себя съемщиком. Употребление этой линейки с целью нанесения расстояний без посредства циркуля состоит в непосредственном приложении граней ее с делениями к прочерченной на бумаге линии.

§ 87. Ручные буссоли Шмалькальдера и Бюрнье. Из малых буссолей, употребляемых при рекогносцировках местности и при глазомерных съемках, приведем здесь буссоли: 1) Шмалькальдера и 2) Бюрнье.

Буссоль Шмалькальдера состоит из медной цилиндрической коробки  $B$  (черт. 168), на дне которой укреплен шпиль, с висящею на нем магнитною

<sup>1)</sup> Обыкновенно, повернув план так, чтобы можно было читать по нем надписи, верх плапа представляет север. Если след, имеем компас то стоит только повернуть план так, чтобы левый край его был параллелен стрелке и верх обращен к северу, тогда все линии плана будут в том же положении относительно меридиана, как и соответствующие линии местности.

стрелкою *ns*; к верхней плоскости ее приклеен бумажный или тонкий латунный круг *k* таким образом, что ось стрелки совпадает с его диаметром  $0^{\circ}$ — $180^{\circ}$ , при чем нуль делений находится при южном конце стрелки, а шляпка стрелки выходит наружу. Круг *k* разделен по своей окружности на  $360^{\circ}$ , и деления, располагающиеся слева направо, по ходу часовой стрелки, подписаны цифрами в обратном виде. Коробка закрыта стеклом и имеет медную крышку, употребляющуюся при переноске. На одном из концов диаметра коробки *B* приделан на шарнире предметный диоптр *d'*, а на другом конце того же диаметра вращается также на шарнире глазной диоптр *d*, движущийся, кроме того, вверх и вниз между двумя брусочками *b, b*. Прорез *a* диоптра *d* оканчивается внизу круглою скважиною, против которой, по другую сторону диоптра, прикреплена прямоугольная хрустальная призма *p* с выпуклым катетом, обращенным к кругу *k*, и гипотенузой, обращенною к предметному диоптру *d'*. При таком устройстве диоптра *d* получается возможность видеть в одно и то же время волос диоптра *d'* и деления кружка *k* в увеличенном виде.

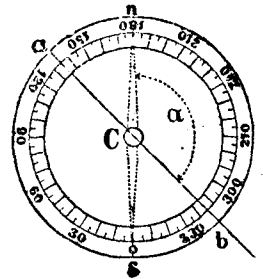


Черт. 168.

Для рассматривания деления кружка *k* с надлежащею ясностью глазной диоптр подвигается между брусочками *b, b*. Для более быстрого приведения стрелки в равновесие сбоку коробки *B* имеется пуговка, при прижимании которой к коробке, на ободок кружка *k* действует маленькая пружинка, тормозящая вращение кружка. При переноске буссоли предметный диоптр наклоняется к стеклу, при чем он нажимает на вертикальную пластинку, проходящую вблизи ободка коробки *B* и действующую на конец рычага, находящегося внутри коробки. Этот рычаг прижимает стрелку к стеклу. Глазной диоптр наклоняется при переноске в обратную сторону.

Что касается условий, требуемых от буссоли Шмалькальдера, то в ней достаточно поверить: хорош ли шпиль, хорошо ли намагничена стрелка и не содержит ли в себе инструмент железа.

Для определения на местности азимута линии *CA* (черт. 169) буссолью Шмалькальдера, втыкают штатив (палку) ее в точку *C* или держат буссоль в руке отвесно над этою точкою так, чтобы плоскость круга была на-глаз горизонтальна, и направляют волос предметного диоптра на *A*. Затем, дав стрелке успокоиться, замечают через отверстие главного диоптра градусное значение того штриха круга буссоли, который совпадает с направлением волоса: этот отсчет и выразит величину азимута линии *CA*. В самом деле, если *a* есть глазной диоптр, *b* предметный и *ns* — направление стрелки, приклеенной снизу, то, после направления на *A*, в отверстии главного диоптра увидим штрих, напр.,  $135^{\circ}$ , помещающийся в коллимационной плоскости *ab*. Это и выразит азимут линии *CA*, ибо угол  $\sphericalangle Ca = \sphericalangle nCb = a$ . Буссолью Шмалькальдера азимуты определяются с точностью до  $1^{\circ}$ .



Черт. 169.

Буссоль Бюрнье состоит из медной овальной коробки *AB* (черт. 170), внутри которой сделано два углубления: одно круглое, в центре которого на ваостренном шпиле помещается металлическое кольцо *k* с прикрепленною к нему магнитною стрелкою *ns*, и другое продолговатое, вблизи наружного конца которого вставлено сферическое стекло, служащее окуляром и увеличивающее деления, которые назначены на боковой цилиндрической поверхности кольца *k*. Эта поверхность разделена на градусы (от  $0^{\circ}$  до  $360^{\circ}$ ), расположенные слева направо и имеющие нуль при южном конце стрелки. Верх коробки закрывается медною крышкой, а продолговатое отверстие—слюдою, пропускающею лучи света для освещения делений кольца *k*. К верхней части коробки прикреплена дуга *dd*,

вращающаяся на штифтах, пропущенных вблизи концов дуги, и могущая при перенесении инструмента пригибаться к боковой поверхности коробки *AB*. Через дугу *dd* перетянут перпендикулярно к ней конский волос *тои*. Снизу инструмент навинчивается на баксу *M* (черт. 171), которая позволяет наклонять его на бок и которая надевается на штатив палку. Вместо дуги *dd* и волоса *тои* буссоль Бюрне имеет иногда диоптры, которые могут пригибаться к крышке коробки.

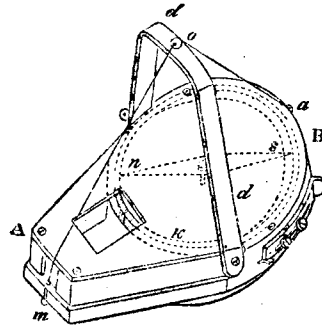
Для определения посредством этой буссоли азимута линии местности становятся на одном конце ее, держат буссоль приблизительно горизонтально и поворачивают ее в горизонтальной плоскости настолько, чтобы плоскость, проходящая через волос *тои*, совпала с направлением линии местности; после этого градусное значение штриха кольца *k*, находящегося в плоскости волоса, выразит искомым азимут.

Иногда ко дну коробки присоединяется веркало, в которое с обратной стороны и ввертывается бакса *M*, а на дне коробки для измерения углов наклона устраивается эклиметр (дуга с градусными делениями, в центре которой движется в виде радиуса линейка). В зеркале отражается эклиметр.

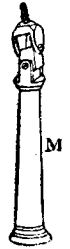
§ 88. Нанесение на бумагу линии по измеренному азимуту. Для нанесения на бумагу линии под данным азимутом, полученным из измерения его буссолью или на-глаз, бумага делится на квадраты (черт. 167) (имеющие стороны длиной в один сантиметр с более мелкими подразделениями). Самое нанесение линии делается посредством маленького, напр., рогового транспортира, но без помощи треугольника и линейки. А именно: транспортир накладывается на бумагу так, чтобы наружное ребро линейки его проходило через данную на бумаге точку *m*, а центр и штрих, градусное значение которого выражает измеренный азимут, должны находиться на меридиане, проходящем через *m*; после этого по наружному ребру линейки транспортира прочерчивают карандашом линию *mp*. Нередко допускается нанесение направления по оценке на-глаз.

§ 89. Масштабы шагов и времени. Масштаб шагов. Наиболее часто употребляемый прием для определения расстояний в глазомерной съемке—это измерение расстояний шагами. Зная длину своего шага (при различных местных условиях длина шага меняется: на горизонтальной в ровной местности длина шага нормальна, на наклонной и особенно поросшей высокой травкою местности шаг изменяется; в первом случае длина шага увеличивается, когда приходится спускаться с горы, а во втором—уменьшается), можно измерять длину прямой длиной шага. Для удобства счет числа шагов в измеряемой линии рекомендуют производить парами (шагов), ведя счет под одну, напр., правую ногу, ила же пользоваться при проходе по линии шагомером.

Шагомер имеет форму и вид карманных часов (черт. 172). Обыкновенно при употреблении шагомер вешают на особом металлическом крючке на голенище сапога. Действие его основано на устройстве в нем следующего механизма, видимого через стекло, заменяющее нижнюю крышку (черт. 173): металлический тяжелый маятник, имеющий вид молоточка *M*, занимает (в свободно подвешенном за крючок шагомере) обыкновенно горизонтальное положение, в котором и удерживается особою пружиною (не обозначенной на чертеже); эта пружина идет от гнезда винтика *B* и упирается снизу в рукоятку молоточка. При сотрясении (толчке сверху) молоточек опускается и ударяется в гнездо винтика *B*, в это время вторая пружинка, прикрепленная к руке молоточка сверху и упирающаяся правым (на чертеже) концом в зубчатое колесо (храповичек *X*), переместится на один зубец. Под действием нижней пружины молоточек вернется



Черт. 170.

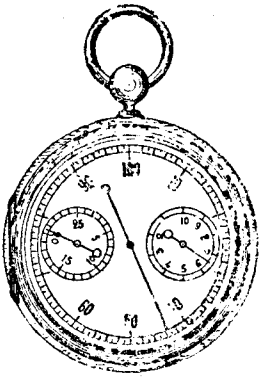


Черт. 171.

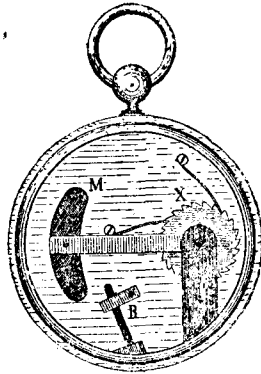
в горизонтальное положение, а храповичек повернется на один зубец вправо и передаст свое движение другим зубчатым колесам, которые подвигают большую стрелку циферблата на одно деление. Для подсчета полных оборотов большой стрелки (каждый оборот соответствует 100 шагам) и для подсчета сотен шагов служит правый маленький кружок, подписанный цифрами от 0 до 10, в центре которого перемещается 2-я малая стрелка. Левый маленький

кружочек, с подписью от 0 до 25, ведет по 3-й стрелке счет полных оборотов 2-й стрелки (кружка — сотен) и может быть назван кружком тысяч. На чертеже 172 большая стрелка дает отсчет = 43, правая малая = 6, т. е. 600, и левая маленькая стрелка указывает 20 (или 20.000), полный отсчет по шагомеру будет  $43 + 600 + 20.000 = 20.643$  шага.

Для каждого экземпляра следует установить ту постоянную погрешность, которую он дает. С этой целью устанавливают все стрелки на нули; для этого достаточно надавить на шляпку штифта, помещающегося в кольце оправы и, пове-



Черт. 172.



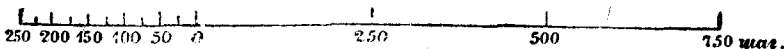
Черт. 173.

сив на петлицу шагомер, пройти по шоссе или по бровке полотна дороги линии от 100 до 1000 шагов и заметить погрешность, даваемую инструментом. Иногда, вместо шагов, циферблаты показывают метры, их сотни и километры.

При переводе шагов в метры строится масштаб шагов, по которому измеренные шагами расстояния наносятся на план непосредственно.

Построение масштаба шагов зависит от принятого масштаба съемки, выражаемого обыкновенно некоторым круглым числом метров, соответствующих одному сантиметру, и от отношения шага к метру, т. е. от действительной величины шага. Для удобства употребления такого масштаба в его основании должно заключаться круглое число пар шагов; почему обыкновенно его приходится строить не на целом сантиметре, а на величине, несколько большей или меньшей сантиметра.

Для примера построения масштаба положим, что съемка производится в масштабе 200 метров в одном сантиметре и что 100 метрам соответствует 142 шага или 71 пара шагов. При данных условиях одному сантиметру на плане соответствует 200 м, а четыреста метров будут соответствовать  $71 \times 4 = 284$  пары шагов. Чтобы не брать в основание масштаба числа 284, неудобного для счета и разделения, найдем, какая часть сантиметра соответствует ближайшему круглому числу, напр., 250 парам шагов. Величина эта найдется из пропорции  $x : 1 = 250 : 284$ ; откуда  $x = 0,88$  сантиметра. Затем остается построить линейный масштаб, принимая за основание  $x$ . Масштаб шагов строится в виде простого линейного масштаба с разделением основания не более, как на 10 частей. Масштаб шагов, построенный на величине  $x$ , представится в таком виде:



Черт. 174.

Когда, при измерении расстояний шагами, шаг принимается равным аршину, тогда можно совершенно избежать перевода числа шагов в число сажений, считая



расстояния прямо сажеными через два шага на третий. При этом нет надобности строить особых масштабов шагов. Расстояния могут измеряться шагами с точностью от  $\frac{1}{50}$  до  $\frac{1}{100}$  доли их величины.

Расстояния измеряются не только шагами человека, но и шагами лошади, которые можно сосчитать, производя съемку верхом. Шаги лошади должны быть выверены относительно метра, и в остальном поступают совершенно так же, как это было объяснено выше. Понятно, что измерение расстояний этим способом менее точно, чем предыдущим.

Масштаб времени. Расстояния могут определяться приблизительно временем, употребленным на их прохождение или проезд. Для этого нужно знать расстояние, проходимое или проезжаемое в единицу времени; умножая его на время, употребленное на какое-нибудь передвижение, получим длину пройденного пути. Чтобы не делать вычислений, предпочитают употреблять графический способ, заключающийся в построении масштаба времени, на том же основании, как строится масштаб шагов. Сделаем пример подобного построения. Положим что съемщик, едущий верхом на лошади, для измерения расстояния шагом лошади испытывает ход своей лошади и пусть он определил, что она ровною и тихою рысью пробегает один км в  $7\frac{1}{2}$  минут. Положим еще, что масштаб съемки есть 1 в сантиметр  $\frac{1}{2}$  км, т. е. 500 м; тогда одному сантиметру на плане соответствует время проезда в  $3\frac{3}{4}$  минуты. Таким образом, сантиметру соответствует не круглое число единиц времени и потому за основание масштаба следует принять не сантиметр, а такую величину, которой бы соответствовало 4 или, что еще удобнее, 5 минут проезда. Величина эта  $x$  найдется из пропорции  $x : 5 = 5 : 3\frac{3}{4}$ , откуда:  $x = 1\frac{1}{3} = 1,33$  сантиметра.

Масштаб строится по величине  $x$  и представится в следующем виде:



Черт. 175.

Измерение расстояний временем совершается только при съемке в весьма мелком масштабе—не крупнее, как в 1 сантиметре километр; при этом временем измеряются только большие расстояния, небольшие же лучше определять во глазомеру.

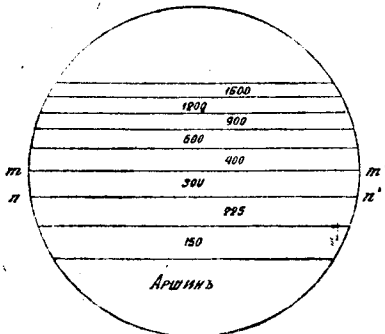
Величина шага съемщика и ход лошади могут быть удобно поверены по дорожным столбам, находящимся на больших дорогах; за неимением их можно пользоваться расстояниями, которых протяжения могут быть определены по точным планам или картам.

Если ход человека или лошади не выверен, то принимают средние цифры расстояний, проходимых в единицу времени.

§ 90. Определение расстояний по глазомеру. Расстояние на местности может быть определено также на-глаз или, как говорят, глазомерно. Оценка расстояний на-глаз приобретает навыком, для чего определенные на-глаз расстояния поверяются или непосредственным их измерением лентою или дальномером или, наконец, по плану при помощи циркуля и масштаба. На правильность оценки расстояния на-глаз имеют влияние: а) видимая величина предмета,—при одной и той же его величине он кажется менее, чем более расстояние до него; б) большая или меньшая ясность, с которою виден предмет,—более освещенный предмет кажется ближе; в) место нахождения предмета,—если он на вершине горы или за рекою, то кажется ближе, чем тогда, когда он внизу горы или за разнообразными местными контурами; д) время наблюдения,—предметы в сумерки

кажутся дальше, а вгось ночью кажется ближе; е) расстояние по воде и даже по лугу, поросшему невысокою травкою, всегда кажется меньше действительной его величины.

§ 91. Дальномеры, употребляющиеся при глазомерной съемке. Так как при глазомерной съемке нет времени для употребления дальномеров с постоянными углами, которые требуют разделенных реек, а иногда употребление их даже невозможно (напр., при определении расстояния до неприятеля), то при этой съемке могут быть употребляемы: 1) дальномеры с изменяющимися углами, при чем вместо реек определенной величины пользуются какими-нибудь предметами я местности, имеющими известную высоту, напр., средним ростом человека, лошади, постройки а т. п. и 2) дальномеры без реек. К дальномерам первого рода принадлежит дальномер Роспини. Он представляет собою зрительную трубу с сеткою из нескольких параллельных, неравпоотстоящих, нитей (черт. 176);



Черт. 176.

нити находятся в таком взаимном расстоянии, что между каждою парю смежных нитей может помещаться изображение одного и того же предмета известной высоты, при удалении его от трубы на различные расстояния. При таком дальномере имеется или табличка, или ряд надписей на стекле, заменяющем сетку нитей; они показывают, какому расстоянию от предмета до трубы соответствует помещение его между каждою парю смежных нитей. Эта табличка получена из непосредственных измерений на местности. Для определения расстояния до предмета нужно направить на него трубу, посмотреть, между какими смежными нитями (штрихами)

он помещается и по табличке найти соответствующее расстояние; напр., если человек среднего роста помещается между нитями  $mm'$  и  $nn'$ , то расстояние до него равно 300 аршинам или 100 саж. или 200 метрам.

При глазомерных съемках, производимых с лошади, с удобством можно применять стереоскопический дальномер Цейса, состоящий из двойной зрительной трубы, внутри которой помещается в плоскости изображения стереоскопическая шкала расстояний. Расстояние между центрами объективов (базио) 0,5 метра. Шкала позволяет непосредственно прочитывать расстояние до определяемого предмета в метрах; она представляет из себя ряд точек (в виде треугольных язычков), расположенных по зигзагообразной ломаной линии (черт. 255); нижняя линия дает расстояния 90, 1<sub>(100)</sub>, . . . 2<sub>(200)</sub>, 225, 250, 275, 3<sub>(300)</sub>, при чем цифры 1, 2, 3 подписаны от правой руки к левой. Средняя диагональная линия, подписанная слева направо, дает расстояния от 300 до 800 метров: 3<sub>(300)</sub>, 350, 4<sub>(400)</sub>, 450, 5<sub>(500)</sub>, 6<sub>(600)</sub>, 7<sub>(700)</sub>, 8<sub>(800)</sub>. Верхняя линия предназначена для определения расстояний от 800 до 3000 метров и так же, как и средняя, подписана слева направо, а именно: 8<sub>(800)</sub>, 0<sub>(900)</sub>, 1<sub>(1000)</sub>, (1250), 1500, 2<sub>(2000)</sub>, и 3<sub>(3000)</sub>.

Как и во всяком стереоскопе, в дальномере Цейса двойные изображения сводятся глазами наблюдателя в одно—рельефное; при чем над каждым предметом, видимым в трубе, наблюдатель ясно видит надпись расстояния, считаемого от наблюдателя до предмета; оно выражено условными цифрами в метрах. Образцом дальномеров без реек могут служить военные дальномеры.

§ 92. Определение расстояний по звуку. Наконец, расстояния могут быть определяемы по скорости распространения звука, которая, как известно, равна 830,7 метра в секунду, при чем от влияния ветра скорость эта может изменяться на величину, равную 10—30 м (во время бури) в секунду. Между тем, скорость света определена в 300 тысяч километров в секунду. На основании этого можно сказать, что свет по сравнению со звуком распространяется мгновение.

А ятому для определения расстояния  $D$  от съемщика до стреляющего орудия достаточно сосчитать число секунд  $t$ , протекших от момента появления огня или клуба дыма выстрела до раздавшегося звука и вычислить формулу:

$$D = (330 \pm k)t \text{ м,}$$

где  $k$  есть число, зависящее от силы ветра. Для избежания вычисления этой формулы бельгийский артиллерист Буланже предложил употреблять особый прибор. Он состоит из стеклянной герметически закупоренной трубки, диаметром около 1 сантиметра, наполненной серным эфиром, в которую погружен небольшой металлический стержень. При вертикальном положении прибора стержень постепенно опускается и проходит по шкале делений, награвированных на поверхности трубки. Штрихи этой шкалы назначаются из опытов, соответственно различным расстояниям, измеренным лентой.

Вследствие этого самый процесс определения расстояния состоит в следующем: поставив стержень на нуль шкалы, держат прибор горизонтально до тех пор, пока появится огонь или дым от выстрела, после чего ставят его быстро вертикально и дожидаются звука выстрела, в момент появления которого ставят прибор опять горизонтально и отсчитывают по шкале искомое расстояние, показываемое стержнем.

§ 93. Нанесение на план различных предметов. Нанесение на план различных предметов и контуров производится теми самыми способами, которые употребляются в инструментальной съемке и преимущественно способами: 1) обхода или визирования вперед, 2) кругового визирования (полярный), 3) засечек а 4) по створам (промеров с вехи на веху); в более редких случаях применяется прием координат. Но так как значение глазомерной съемки несколько иное, то и применение всех перечисленных способов делается в несколько иной форме, чем при точной съемке, соответственно тем условиям, при которых их приходится обыкновенно применять. Способы визирования вперед (обхода несомкнутых полигонов) и засечек употребляются при глазомерной съемке преимущественно для нанесения главных направлений и точек местности. Главные направления суть те дороги, по которым проходит местность, а главные точки — видимые издали ориентировочные предметы. Такие направления и точки, составляющие основание всей съемки, наносятся с возможною тщательностью при помощи имеющихся инструментов. Остальные способы съемки, — круговым визированием и по створам, а также в редких случаях прием координат — употребляются для нанесения предметов, лежащих по сторонам проходимых направлений и совершаются, по большей части, без помощи инструментов по одному глазомеру.

Особенно способ координат и способ измерения с вехи на веху не имеют самостоятельного значения; они употребляются только как вспомогательные при способе обхода, и особенно, когда есть хорошая карта: перенеся с нее на план важнейшие пункты местности, по определяемым ими направлениям проходят съемкою только там, где эти направления совпадают с дорогами и соответствуют предполагаемому ходу работ.

§ 94. Съемка маршрута и участка. Глазомерные съемки, как уже было ранее замечено, разделяются на два вида: 1) съемка узкой полосы по одному заданному направлению, определяемому обыкновенно крайними пунктами, такая съемка называется маршрутною или просто маршрутом и 2) съемка целых участков местности, имеющих более или менее значительное протяжение как в длину, так и ширину. Рассмотрим каждый род съемки в отдельности.

1. Если требуется снять на план местность между какими-нибудь двумя пунктами, или вообще в данном направлении, то для этого всего лучше произвести съемку дороги, идущей в этом направлении от одного пункта до другого, при этом наносят на план (брульен) все предметы, важные в отношении съемки, лежащие как непосредственно у самой дороги, так и в сто-

ропе от нее на расстоянии 150—200 метров. Если таких дорог, идущих в желаемом направлении, нет, то съемку производят, идя не по дорогам, а по какому-либо иному направлению, напр., вдоль ручья по его берегам; при этом порядок съемки остается тот же самый, хотя является большая трудность для преодоления встречаемых препятствий и для производства промеров по пути следования. Направление дороги или вообще пути съемщика наносится на брульен при помощи имеющегося инструмента сколь возможно точнее (или по предварительно измеренному буссолю азимуту, или графически при помощи ориентировки папки по компасу). Затем по определенному направлению совершается промер до его конца и измеренная длина откладывается в масштабе на брульене. Для точности и успешности съемки надо выбирать более длинные направления и избегать коротких, от которых происходит усложнение работы и накопление ошибок. Поэтому, если, снимая дорогу, замечаю, что она делает небольшие изгибы по кривой, то сначала находят ее среднее направление, которое наносят с возможной точностью на брульен. Выбранное для нанесения направление должно быть замечено каким-нибудь видимым предметом, находящимся на его конце. Такими предметами служат обыкновенно находящиеся у дороги постройки, столбы, деревья и даже более мелкие предметы, как, например, кусты, высокая трава и проч., лишь бы они были совершенно определены и не смешивались с другими. За неимением таких предметов у дороги, визируют на видимые вдаль за дорогою предметы, но брать направление по самому полигону дороги можно только в крайнем случае, так как при этом легко впасть в ошибку, в особенности если дорога постепенно изменяет свое направление в одну сторону. Предметы, лежащие в стороне от дороги, как, напр., колокольни церквей в селениях, поляны в лесу и вообще все контуры наносятся, не сходя с дороги, основными способами съемки (засечками, полярным, промерами по створам уже нанесенных на брульен предметов и т. п.). Когда ориентировочные пункты (церкви, дорожные столбы, мельницы, деревья) далеки и не могут получиться на брульене, на последнем наносят только направления на эти пункты. Съемка, как уже сказано, ведется не сходя с избранной дороги.

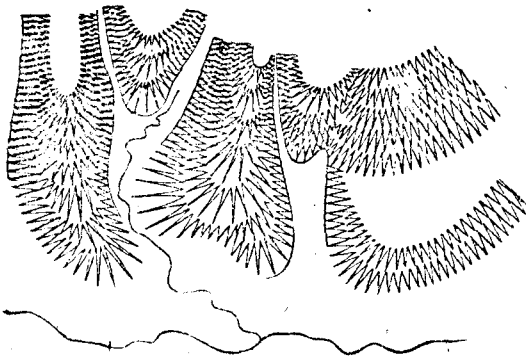
В каждой точке стояния наблюдается обыкновенно следующий порядок работ. Назначив точку стояния на плане, прежде всего прочерчивают через нее с возможной точностью главные направления как по линии следования, так и ориентировочные пункты: относительно этих направлений наносят уже более приближенно направления на окружающие местные предметы, которые и снимаются различными способами.

2. Для съемки участка его надо пройти по тем дорогам, которые обрисовывают все главнейшие его контуры, а если их мало, то и без дорог, по некоторым избранным направлениям. Для того же, чтобы получить связь отдельных съемок по разным направлениям и поверку исполненных работ, а также избежать накопления ошибок, совершаются обходы сомкнутых фигур (прилегающих друг к другу полигонов) или так назыв. кругов, более или менее значительного размера. Эти обходы производятся на следующем основании. Начиная съемку от селения Кут в точке *A* (черт. 177), наносят ее на план (брульен), ориентируют планшет по компасу, проводят на брульене направление *ab*, соответствующее *AB*, после того идут по этому направлению *AB*, промеривают его и наносят известными способами все предметы и контуры, лежащие как на пути следования, так и по сторонам его. Дойдя до точки *B*, откладывают измеренную длину *ab* и выбирают новое направление на указатель дорог *C*, которое, ориентировав планшет, наносят точно на план и, измерив длину *BC*, зарисовывают окрестные предметы. От точки *bc* прямой *c* (отложенной от точки *b*) наносят *cd* по направлению *CD*, затем идут на околицу деревни Пильсе и наносят *de*, *ef*, . . . соответственно *DE*, *EF* и т. д., продолжая работу так, чтобы, уклоняясь



а иногда эклиметрами простейшего устройства. Такими обозначениями представляются неровности на чертеже, а именно: вершины *A*, седловины *S*, террасы *T*; оси хребтов и оси долин вычерчены пунктирными линиями, а подошвы *abcd*, котловина *K* и долина *L* — сплошными. Срез или обрыв *O* вычерчен частыми короткими штрихами. Горизонтальки проводятся перпендикулярно к бергштрихам; они выражают лишь отдельные формы неровностей, но без общей их связи; по ним, при отделке кроки, проводятся горизонтали. Горизонтали надо проводить перпендикулярно к назначенным бергштрихам и параллельно с горизонтальками. Расстояние между горизонтальями должно согласовать с подписанными углами наклоения, при чем эти расстояния надо увеличивать с уменьшением угла наклоения и наоборот. Для соблюдения относительной верности нужно проводить горизонтали на местности, а не дома; в особенности это необходимо при местности волнообразной, сложной. Попятнго, что можно назначать горизонтали на местности также прямо, без предварительных заметок, но это требует от съемщика большого навыка. Надо иметь в виду, что эти горизонталь не могут служить для оценки относительных высот, т.-е. быть рассматриваемы как сечения местности равноотстоящими горизонтальными плоскостями; они суть не более, как крицы, выражающие характер неровностей местности. Но для некоторых выдающихся частей поверхности, как, напр., вершин гор, краев оврагов и долин, необходимо делать оценку их относительных превышений, чтобы затем по их высотам горизонтальями выразить, по возможности, весь рельеф местности.

Проведение горизонталей не требует большой тщательности отделки в том случае, когда имеется в виду заполнить промежутки между ними штрихами. При ситуационном черчении на глазомерных планах промежутки между горизонтальями заполняются штрихами перпендикулярными к горизонтальям: при этом нельзя требовать соблюдения одной из известных шкал: Лемана или Болотова (§ 116).



Черт 179.

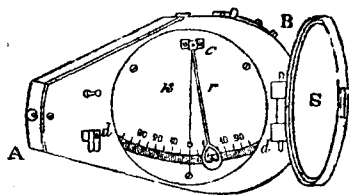
Здесь ограничиваются шкалою более грубою: а именно, все покатоности до  $5^\circ$  совсем не различаются, а покатоности от  $5^\circ$  до  $45^\circ$  делится на четыре разряда по  $10^\circ$  в каждом. К первому разряду принадлежат покатоности от  $5^\circ$  до  $15^\circ$ , они изображаются тонкими и редкими штрихами. Покатоности от  $15^\circ$  до  $25^\circ$ , принадлежащие ко второму разряду, изображаются штрихами, утолщенными, но настолько, чтобы промежутки между ними были более толщины штрихов. При покатоностях третьего разряда от  $25^\circ$  до  $35^\circ$  толщина штриха должна быть равна

промежутку. Наконец, покатоности четвертого разряда от  $35^\circ$  до  $45^\circ$  изображаются штрихами, толщина которых более ширины промежутка. Ситуационное черчение производится для скорости, так называемым, вязаным штрихом, изображенным на черт. 179.

Оценка относительных высот (превышений, командования) двух точек может быть сделана или тахиметрически по расстоянию и углу наклона, измеренному эклиметром, или приближенною нивелировкой с легким ручным нивелиром, напр., зеркальным нивелиром системы Бюреля или даже просто на-глаз.

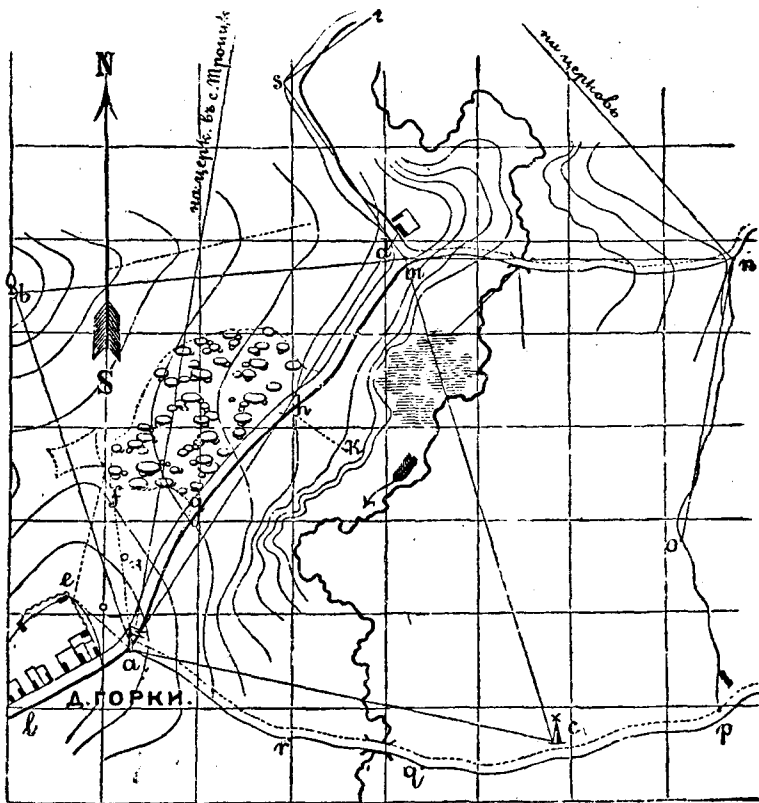
Углы наклоения удобно определяются эклиметром Бюрнье. Эклиметр Бюрнье (черт. 180) устроен на наружной стороне дна буссоли того же изобретателя. При употреблении этой буссоли, как эклиметра, она привинчивается

к той же баксе (черт. 171) боковой своей степкою. Самый эклиметр представляет собою посеребренный круг  $k$ , на котором назначена дуга  $dd$  с градусными делениями, имеющая пучь в середине. В центре  $e$  дуги свободно вращается наподобие маятника рычаг  $r$ , оканчивающийся внизу грузом, заставляющим его принимать отвесное положение при вертикальности плоскости  $AB$  дна всей коробки. Эта тяжесть имеет маленький зубец, служащий указателем. Чтобы этим эклиметром определить угол наклоения линии местности, становится с привинченным надлежащим образом инструментом на один конец линии, а на другой выставляют вежу с меткою высоты глаза съемщика, направляют на эту метку конский волос, заменяющий диоптры, и делают по показателю отсчет на дуге  $dd$ . Понятно, что этот отсчет, представляющий градусную величину дуги между ее нулем и указателем, выражает искомый угол наклоения линии местности. Наконец, надо прибавить, что для удобства и ускорения отсчета при инструменте имеется зеркало  $S$ , которое можно наклонять к инструменту настолько, что наблюдатель, стоящий при окуляре  $A$ , увидит, на каком делении дуги стоит указатель рычага  $r$ .



Черт. 180.

§ 96. Пример съемки маршрута. Положим, что требуется снять при помощи ручного планшета (папки) с компасом некоторую часть местности, лежащей



Черт. 181.

к северо-востоку от деревни Горки (черт. 181). Если съемка начинается от названной деревни, то, выйдя к востоку от нее, съемщик останавливается у раз-

двоения дорог около их указателя *a*, который может служить основным пунктом. Назначив начальную точку на плашете с расчетом, чтобы снимаемая местность поместилась на листе папки, съемщик выбирает резко определенные предметы и принимает их за основание съемки; таковы пункты: *b*, *c*, *d* дерево, мельница, дом, и др. Затем находит в направлении дороги какой-нибудь резкий предмет, пусть это будет дом *d*. Избрав главные направления, съемщик приступает к их нанесению на планшет с особенною точностью. Для этого он ориентирует планшет и визирует через имеющуюся на нем точку стояния по избранным направлениям, которые и прочерчивают на плашете по линейке карандашом. Назначив главные направления, съемщик приступает к съемке подробностей вокруг точки стояния; для этого он уже с меньшею точностью наносит направления ближайших колен дороги и улицы деревни, а также направление на край плетня (*e*) и край кустов *f*, после того определяет по тем направлениям расстояния на глаз и зарисовывает изгибы контуров. После всего начинается нанесение неровностей. При этом сначала определяют направления покатоостей местности к западу от линии *ad* относительно нанесенных предметов по заметкам (такова ось *ef* хребта и западное конца *f* седловина); перпендикулярно к этим направлениям должны проходить горизонтали; подписав на соответствующих местах определенные углы наклоения, пропорционально им сближают между собою горизонтали; сняв все вокруг точки *a* и зачертив окончательно все находящееся южнее и западнее ее, съемщик идет по дороге в *d*, считает шаги и наносит ее. Дойдя до какого-нибудь предмета, как начало кустарника в точке *g*, он откладывает расстояние и зачерчивает находящиеся вокруг предметы и неровности местности. Подобным же образом он доходит (от *a*) до *h*, сворачивает с дороги из *h* в *k*, откуда зарисовывает крутой откос к ручью, болото под горою и направление самого ручья и, возвратившись на дорогу, доходит до строения в точке *d*. В точке *d* съемщик поверяет нанесенные им точки *g* и *h* кустарника, сличая положение их на брульене с положением на местности: так как точка *h* непосредственно лежит в створе точек *d* и *a* в расстоянии  $\frac{1}{3} da$  от точки *d*, а точка *g* лежит к западу от направления *da* в расстоянии  $\frac{2}{3} da$  от точки *d*. Из точки *d* защелками наносят мельницу *c* и дерево *b*, и из *d*, дав на брульене направление *ds*, идут далее в *s* и затем в *t*.

Если бы, кроме маршрута *adst*, пужно было снять участок *dp* к востоку от линии *ad*, то та же точка *g* могла бы быть поверена „по створам“: съемщик, хорошо засняв точку стояния мельницы *c*, заметит, что точка *g* лежит почти в створе *bc*, и, придя дорогою *dn* и тронинкою *np* в точку *c*, сверит положение точки *g*, нанесенной при следовании по дороге из *a* в *a*.

Из точки *d* съемщик делает заметки для выражения неровностей местности, а именно, наносит ось *bd* хребта и горизонталями изображает снуев к излучине ручья.

Маршрутная съемка<sup>1)</sup> или съемка по одному направлению, отличается от съемки участка тем, что в ней не приходится делать обходов сомкнутых фигур. В остальном порядок у нее остается тот же, что и при съемке участка (см. § 94).

§ 97. Вычерчивание кроки и вид оконченной глазомерной съемки. По окончании съемки, т.-е. собственно работы в поле, приступают к отделке спятого плана (брульена) и приведению его в такой вид, при котором было бы удобно с плана получать все необходимые сведения о местности.

Вычерчивание плана делается всегда, хотя и спешно, но тщательно, и носит название крокирования; поэтому, и планы глазомерной съемки называются также кроки.

<sup>1)</sup> Преимущественно производящаяся для пополнения существующих карт в планов.



Обыкновенно, прежде всего, вычерчивают дороги и селения, ватем другие местные предметы. Те предметы, которые могут служить для ориентирования, должны быть вычерчены особенно резко, чтобы они бросались в глаза; после этого четко подписывают названия селений (горизонтально), дорог, рек и т. д.; после всего вычерчивают неровности местности или штрихами или оставляют в горизонталях. Крокирование производится всегда обыкновенным одноцветным карандашом. Вычерчивание кроки тушью и иллюминирование их красками никогда не производится. На оконченом кроки должен быть начерчен линейный (во не поперечный) масштаб и обозначено направление стран света. Внизу листа должна находиться подпись снимавшего с обозначением времени производства съемки, а также приложена таблица условных знаков.

## ГЛАВА VII.

### Барометрическое нивелирование.

§ 98. Цель барометрического нивелирования, его основы и существенное отличие от других видов нивелировки. В геодезии различают 3 вида нивелирования, а именно: геометрическое, геодезическое и барометрическое. Из них геометрическое по отношению к степени точности даваемых результатов еще разделяется на простое нивелирование и точное или иначе прецизионное нивелирование; подобно этому, и геодезическое нивелирование делят на простое геодезическое нивелирование или тахиметрическое нивелирование и на точное геодезическое нивелирование, обыкновенно исполняемое при составлении тригонометрической сети.

Барометрическое нивелирование называют иногда также физическим нивелированием. Барометрическое нивелирование основывается на определении давления воздуха в тех точках, разность уровней которых желают определить, так как известно, что в различных слоях атмосферы, окружающей земную поверхность, давление воздуха различно. Из метеорологии известно, что давление воздуха в одной и той же точке атмосферы не есть величина постоянная, а подвержено непрерывным изменениям, строгих числовых законов о которых не выработано; а потому барометрическое нивелирование носит приближенный характер и применимо только там, где не требуется знания точных величин относительных высот точек земной поверхности. Однако, когда надобно возможно быстро определить разность уровней двух удаленных точек земной поверхности, барометрическое нивелирование оказывает большую услугу: 1) при всех предварительных соображениях в инженерных работах, когда достаточно знать приблизительную высоту одной точки над другой, более или менее удаленной от первой, как-то при предварительных изысканиях путей сообщения с целью проведения дорог и каналов при осушении болот, водоснабжении, построении запруд и т. п., 2) при рекогносцировках и маршрутных съемках, 3) при географических исследованиях, например, при определении высоты горы или средней высоты плоскогорья над уровнем моря, когда доли метра и даже целые метры в разностях высот сколько-нибудь удаленных пунктов не могут иметь значения, барометрическое нивелирование может быстро привести к желаемой цели. В гористой местности уклоны меняются так быстро, что задача нивелирования нередко сводится к определению профиля лишь в крупных, характерных чертах и в этих случаях барометрическое нивелирование, по быстроте и дешевизне как не требующее ни установки инструмента, ни реек, а только знания величины атмосферного давления, ничем не заменимо.

Барометрическое пивелирование основано на гипотезе, что при спокойном состоянии атмосферы: 1) давление воздуха во всех точках одного и того же уровня одинаково, 2) давление на уровнях низших точек больше, чем на высших, и 3) высшие слои атмосферы обладают меньшею плотностью, а низшие большею плотностью. А потому, решая вопрос о разности уровней двух точек земной поверхности по имеющемуся (найденному из наблюдений) в них давлению воздуха, прежде всего (хотя и не совсем точно) принимают, что разность высот двух точек земной поверхности пропорциональна разности давлений воздуха в этих точках. Разность же давлений двух точек равна весу воздушного столба имеющего высоту, равную разности уровней данных точек. Так как вес равен произведению массы на ускорение силы тяжести,—масса же равна произведению объема на плотность, а плотность зависит от давления и температуры, то прежде, чем сказать что либо о способах измерения давления, приведем некоторые законы о газах, которые вполне применимы к воздуху.

**Закон Марриотта.** При одной и той же температуре объемы газа обратно пропорциональны давлениям, а плотность газа прямо пропорциональна давлению. Выражая этот закон аналитически, будем иметь:

Начальное состояние . . .	Температура. • $t_0$	Объем. $v_0$	Давление. $p_0$	Плотность. $\Delta_0$
Конечное состояние . . .	$t$	$v$	$p$	$\Delta$

$$\frac{v}{v_0} = \frac{p_0}{p} \dots (1)$$

$$\frac{p_0}{p} = \frac{\Delta_0}{\Delta} \dots (2) \quad \frac{v}{v_0} = \frac{\Delta_0}{\Delta} \dots (3)$$

$$\frac{v}{v_0} = \frac{p_0}{p} = \frac{\Delta_0}{\Delta} \dots (3')$$

**Закон Гей-Люссака.** Изменение объема газа при постоянном давлении прямо пропорционально изменению температур.

Если начальное состояние .	Давление. $p$	Объем. $v_0$	Температура. $t_0$
а конечное состояние . . .	$p$	$v$	$t$

то  $v - v_0 = k(t_1 - t_0)$ ; полагая  $t_1 - t_0 = t$ , найдем  $v - v_0 = kt$ , где  $k$  есть коэффициент пропорциональности, зависящий от коэффициента  $\epsilon$  — расширения газа, а именно:  $k = \epsilon v_0$ ; в самом деле, если  $\epsilon$  есть изменение единицы объема на  $1^\circ C$ , то

$$v - v_0 = \epsilon v_0 t \text{ и } k = \epsilon v_0.$$

Таким образом:

$$v = v_0 (1 + \epsilon t), \dots (4)$$

а для воздуха = 0,003665.

Результаты соединения законов Мариотта и Гей-Люссака

Если начальное состояние . . . . .	Объем. $v_0$	Давление. $p_0$	Температура. $t = 0$	Плотность. $\Delta_0$
конечное состояние . . . . .	$v$	$p$	$t$	(после изменения давления и темп.), $\Delta$

то, полагая, что температура пока еще не изменилась, по закону Мариотта находим:

$$v' = v_0 \frac{p_0}{p};$$

принимая во внимание изменение температуры по закону Гей-Люссака, будем иметь:

$$v = v' (1 + \epsilon t)$$

или окончательно:

$$v = v_0 \frac{p_0}{p} (1 + \epsilon t) \dots \dots \dots (5)$$

Принимая во внимание, что объемы обратно пропорциональны плотностям, т.-е.

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\Delta_0}{\Delta},$$

находим:

$$\Delta = \Delta_0 \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{1 + \epsilon t} \dots \dots \dots (6)$$

Законы Дальтона: 1) В пространстве, наполненном газом, количество образующихся паров, необходимых для его насыщения, равно тому количеству пара, которым наполнилось бы то же пространство при той же температуре, если бы оно было пустое.

2) Давление пара, находящегося в смеси с газом, химически не соединяющимся с этим паром, равно сумме парциальных давлений каждого из них.

Так что, если давление пара =  $p$ , а давление газа =  $p_1$ , то общее давление:

$$P = p + p_1.$$

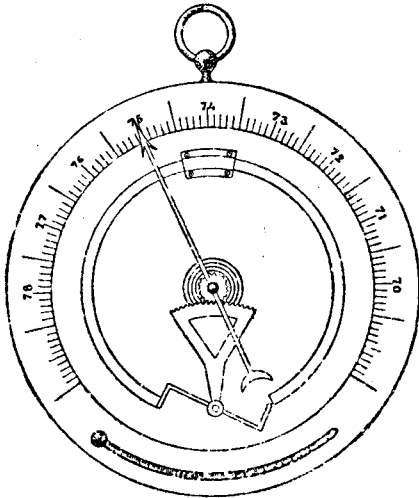
§ 99. Приборы для барометрического нивелирования. Из физики известно, что давление атмосферы измеряется барометрами; чем выше точка наблюдения над уровнем океана, тем меньше высота слоя воздуха, над нею находящегося, и тем, следовательно, меньше давление, а потому с поднятием в высоту над уровнем моря высота ртутного столба (или, что то же самое, показание барометра) должна уменьшаться. Из опытов пришли к заключению, что понижение барометра на один миллиметр соответствует поднятию на высоту в 10 м (10463). Делюк был первый, установивший (из наблюдений в Альпах) связь между высотой места над уровнем моря и показанием барометра. Формулу, устанавливающую эту связь, он опубликовал в 1772 году в Женеве. Она послужила основанием для дальнейших работ Лапласа, Рюльмана и др.

Барометры разделяются на два типа: ртутные и пружинные или anerоиды (т.-е. без жидкости). Первые разбираются подробно в физике, и мы здесь на них не будем останавливаться, а лишь заметим, что показание ртутного барометра подлежит ряду поправок, а именно: 1) от температуры ртути и шкалы, 2) капиллярности трубки и 3) напряжения

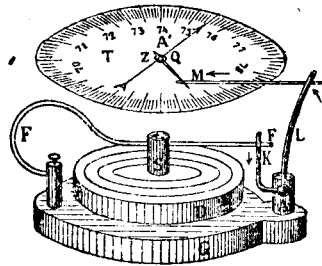
силы тяжести (в зависимости от широты места и его высоты над уровнем моря). Поправки эти находятся обыкновенно по барометрическим таблицам. На anerоидах же, преимущественно употребляющихся при барометрическом нивелировании, остановимся более подробно; из них рассмотрим, главным образом, два вида: один—системы Ноде и другой—системы Гольдшмидта. Помимо anerоидов, существуют еще и другие приборы для наблюдений над давлением атмосферы, это—барографы, автоматически отмечающие давление атмосферы; они, преимущественно, употребляются на метеорологических станциях.

Кроме того, существует мало распространенный по своей сложности дифференциальный барометр Менделеева (с жидкостью) <sup>1)</sup>.

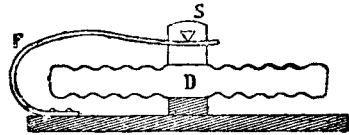
§ 100. Anerоиды. Устройство anerоидов основано на изменяемости высоты и формы тонкостенных, пустых внутри металлических сосудов, вследствие перемен давления наружного воздуха. Сосуды имеют или вид изогнутой трубки (черт. 182) или коробочки—безвоздушной капсулы *D* (черт. 183 и 184). При



Черт. 182.



Черт. 183



Черт. 184.

увеличении давления воздуха сосуд сжимается, а при уменьшении давления расширяется. Для придания верхней поверхности капсулы наибольшей чувствительности—подвижности, площадь ее стараются увеличить, для чего ей придают вид волнообразно изогнутых, круглых по форме пластинок (черт. 184). Существующие системы anerоидов различаются видом капсулы и механизмов, передающих движение стенок капсулы указателю, по которому делаются отсчеты на шкале anerоида.

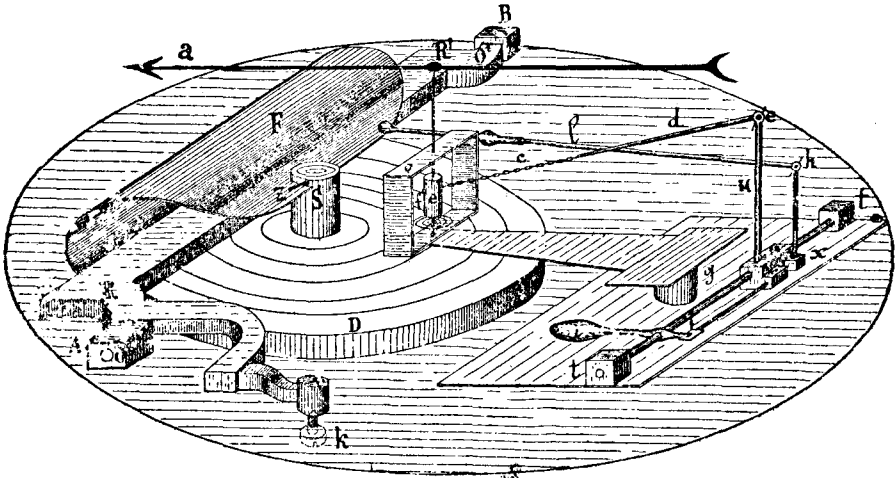
На черт.же 182 пустая внутри, тонкостенная трубка изогнута в виде кольца или подковы; она по середине прикреплена (при помощи особой пластинки на четырех винтах) наглухо ко дну коробочки anerоида. Концы подковообразной трубки связаны между собою рычагом в виде буквы *Z*, имеющим в своей середине ось вращения; ось укреплена в дне коробочки пружинного барометра и проходит через центр окружности зубчатого сектора, составляющего одно целое с рычагом *Z*. При изменении давления воздуха концы трубки перемещаются и заставляют вращаться зубчатый сектор; зубцы сектора задевают за шестерню, наглухо соединенную с указателем anerоида, имеющим вид стрелки. Вращение стрелки происходит вокруг оси шестерни, находящейся в центре дна круглой коробочки anerоида,

<sup>1)</sup> См. Д. Менделеев. «О барометрическом нивелировании и применении для него высотомера». Спб. 1876 г.

при чем конец стрелки перемещается влево по направлению возрастающей под-  
писи на циферблате анероида при увеличении давления воздуха и вправо—при его  
уменьшении.

Из чертежей 183 и 184 можно усмотреть иное устройство анероида: без-  
воздушная коробка *D* утверждается на дне *G* коробки анероида и имеет сверху  
колонку *S*, под штифтом (носиком) которой проходит пружина *F*. Главнейшая  
часть внутреннего устройства анероида, как уже сказано, есть металлическая,  
с волнообразным верхом, безвоздушная коробка *D*. Чтобы тонкие стенки этой  
коробки были в состоянии выдержать давление наружного воздуха, оставаясь  
всегда эластичными, и служит упругая пружина *F*, уравнивающая давления  
воздуха и не позволяющая коробке сплюснуться. Передача колебаний колонки *S*  
совершается так: конец пружины *F* прикреплен к концу изогнутого рычага *KA*  
(черт. 183); если давление воздуха увеличивается, то верхняя поверхность коробки  
опускается, с нею вместе опускается колонка *S* и сжимает пружину *F*. С умень-  
шением давления воздуха пружина *F* разжимается. Вследствие этого, повышение  
и понижение конца грузины *F* может служить мерою изменения воздушного  
давления. Для измерения этого изменения давления пружина *F* и соединена  
с рычагом *KAL*, вращающимся на осп *A*. Вертикальный рычаг *L* соединяется  
с горизонтальным *MQ*, действующим на указатель *A'Z*, вращающийся около  
оси *Z* по циферблату *T*. Движение рычагов обозначено на чертеже стрелками.

Анероид Ноде. Общий вид внутреннего устройства барометра показан на  
чертеже 185-м; чертеж же 186 вверху представляет вертикальный разрез, а внизу

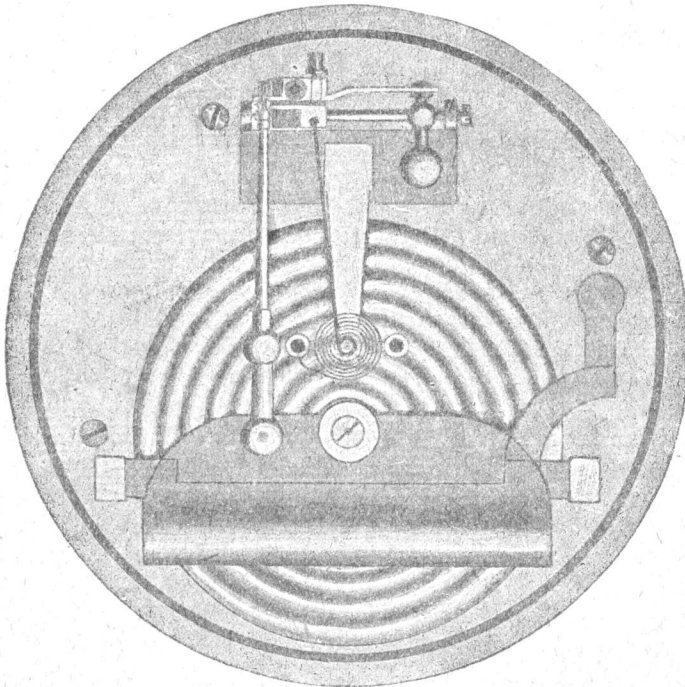
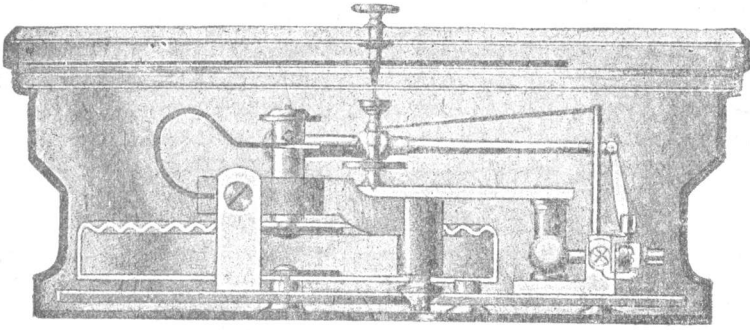


Черт. 185.

план того же анероида. Главнейшая часть внутреннего устройства есть метал-  
лическая, с волнообразным верхом, безвоздушная коробка *D*, с колонкою *S*, скреп-  
ленной штифтом *Z* с упругою пружиною *F*, уравнивающей давления воздуха.  
Верхний конец пружины *F* прикреплен к концу горизонтального рычага *lh*,  
а другой ее нижний конец соединен с горизонтальной пластинкою *RR'*, могушей  
вращаться (при выверке анероида) около оси *OO'*, имеющей гнезда в кубиках *A*  
и *B* дна коробки анероида. Рычаг *l*, имея шарнир *h*, соединен с перпендикуляр-  
ным к нему рычагом *tl* помощью стержня *hx* и муфты *xw*. Концы рычага *tl*  
помещаются в отверстиях кубиков *tt* дна коробки и вращаются в них под дей-  
ствием рычага *lh* и шарика-противовеса *i*. Горизонтальный рычаг *tl* муфтою *xw*  
связан с вертикальным рычагом *u*, имеющим шарнир *e*. от шарнира *e* идет  
горизонтальный стержень *d*, соединенный цепочкою *c* с вертикальным валиком *e'*,

находящимся в четырехугольной раме *o*; рама *o* помещается на конце широкой эластичной *T*-образной пластины, подпертой колонкой *g*.

На оси вращающегося валика сидит стрелка *a*, которая движется по циферблату анероида. Вот в общих чертах описание внутреннего устройства анероида Ноде. Из него видно, что движение колонки *S* передается в увеличенном виде, посредством системы рычагов, стрелке *a*, вращающейся по циферблату. Надо

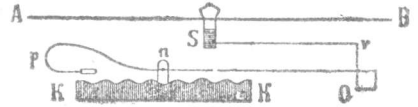


Черт. 186.

прибавить, что спиральная пружина *f* уничтожает мертвый ход валика *e'*: для той же цели служит и шарик *z*, действующий надлежащим образом, однако, только при горизонтальном положении инструмента. Поэтому, при наблюдении барометр должно всегда держать горизонтально. Для выверки анероида служит исправительный винт *k*, передвигающий стрелку *a* по кольцу циферблата. На чертеже 187 схематически указано расположение рычагов, передающих движение пустотелой коробки *KK* при помощи стойки *n*, подпираемой изогнутой упругой пружиной *pq*. Коленчатый рычаг *qOrS*, вращающийся около оси *O*,

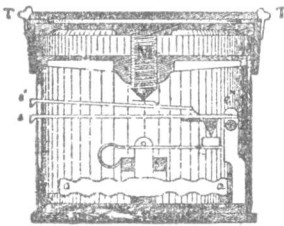
соединяется, при помощи цепочки, с валиком *S*, на который насажена стрелка *AB* анероида, и передает движение коробки *K* стрелке *AB*.

В нижней части циферблата врезан термометр Цельсия, служащий для определения температуры анероида. Весь механизм заключен в медную круглую коробку, покрытую сверху стеклом (черт. 186 верх). В футляре, в который вкладывается анероид, имеется также термометр для определения температуры наружного воздуха. Под стеклом коробки имеется дополнительная короткая стрелка, вращающаяся от руки, при помощи гайки-грифа; она служит для заметки начального положения большой стрелки, относительно которого определяют изменение давления; очевидно, что разность отсчетов по стрелкам выразит искомое изменение.



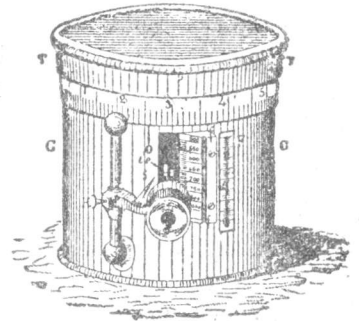
Черт. 187.

Анероид Гольдшмидта, изображен на чертеже 188 в вертикальном разрезе, а на чертеже 189 в перспективном виде, каким он является снаружи. Безвоздушная капсула *a* с упругою пружиною заключены в цилиндрическую коробку, прикрытую сверху крышкой *TT*. По направлению образующей цилиндра *GG* укреплена вертикальная шкала *ff*, с делениями, по которой двигается пластинка, имеющая горизонтальный штрих-индекс *e* (черт. 188); эта вертикальная пластинка соединена горизонтальным рычагом *ee''* (на чертеже нижним) и упругою пружиной с безвоздушной коробкою *a*. Шкала *ff* разделена на десятки миллиметров, соответственно



Черт. 188.

показаниям ртутного барометра, вследствие чего по индексу *e* измеряется давлением воздуха только грубым образом до десятков миллиметров. Для получения отдельных миллиметров и долей их служит микрометрический винт *M*, ободок которого, в виде крышки *TT*, разделен на 100 равных



Черт. 189.

частей. Винт *M* должен увеличивать точность отсчета, и острие его должно было бы лишь соприкасаться с нижним рычагом *ee''*, но на ощупь от руки это было бы трудно сделать, а потому он действует на второй горизонтальный (верхний) рычаг *e'' e'*. Полный оборот барабана соответствует перемещению указателя *e'* на 10 миллиметров по шкале *ff*, каждое деление окружности барабана равно 0,1 миллиметра, а десятая доля его, оцениваемая на-глаз, соответствует 0,01 доли миллиметра. Для отсчетов по окружности барабана на ней сделана надпись, а цилиндр *GG* имеет указатель, обозначенный нулем 0<sup>1)</sup>.

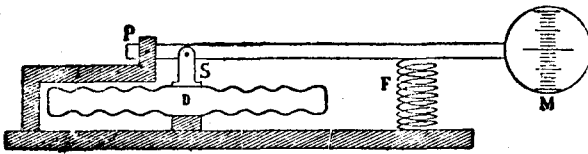
Конец винта *M* давит на чувствительный рычаг *e'e''*; на конце *e'* этого рычага сделан горизонтальный штрих; его можно привести в совпадение (на одну горизонтальную прямую) со штрихом указателя *e*. Отсчет, сделанный после совмещения штрихов, по окружности барабана, выразит единицы, десятые и сотые доли миллиметра, так как один оборот винта *M* заставляет указатель *e'* перемещаться по шкале *ff* на одно деление, т.е. на 10 мм, а при совпадении индекса *O* цилиндра *GG* с нулем барабана *TT*, штрих указателя *e'* всегда стоит против какого-нибудь штриха шкалы *ff*. Таким образом, если, напр., на шкале *ff* штрих *e* стоит между 720 и 730, а указатель *O* цилиндра после совмещения *e'*

<sup>1)</sup> На чертеже 189 см. левее продольного выреза в цилиндре, в котором герметизируются указатели *e* и *e'* по шкале *ff*, находящейся справа от этого выреза.

$e$  дает 2,56, то полный отсчет будет  $720 + 2,56 = 722,56$  мм. Для лучшей видимости совпадения штрихов  $e$  и  $e'$  служит луна  $p$ , передвигающаяся по вертикальному круглому стержню  $S$ , к которому она может быть прикреплена винтом  $H$ . К ремню футляра анероида привешивается термометр для измерения температуры наружного воздуха. Температура анероида определяется по внутреннему термометру  $F$ .

В дороге для устранения соприкосновения вертикального носика рычажка  $e''e$  и изогнутой пружины внутренней капсулы  $a$ , крышку  $TT$  отвинчивают на несколько оборотов (вращая ее по направлению награвированной снаружи стрелки) — чтобы капсула анероида свободно могла расширяться, а затем еще передвигают задвижку, находящуюся влево от выреза в наружном цилиндре, где движутся концы рычажков  $e$  и  $e'$ . Цель пружинки  $e''e'$  — 1) предохранить капсулу от резких давлений винта  $M$ , которые могут последовать в случае неосторожного вращения крышки  $TT$  более, чем до соприкосновения с рычагом  $ee''$ , и 2) давать возможность производить отсчеты при некотором определенном надавливании рычажка  $e''e$  на носик капсулы, а именно, при надавливании, соответствующем совмещению указателей. Если допустить, что при некотором определенном давлении воздуха, напр., в 760 миллиметров, — оба индекса  $e$  и  $e'$  установлены до совпадения их горизонтальных штрихов, при чем нуль указателя цилиндра  $GG$  совмещен с нулем шкалы барабана  $TT$ , то при изменившемся давлении воздуха лепесток  $e$  отойдет от первоначального своего положения. Для того, чтобы определить новое показание анероида, необходимо будет, прочтя по шкале  $ff$  показание штриха  $e$ , вновь совместить  $e'$  с  $e$ , а для этого погребутся отпустить или завернуть винт  $M$ ; с этою целью вращают барабан  $TT$  до нового совпадения штрихов  $ee'$  и делают по пулю цилиндра  $GG$  отсчет по шкале  $TT$ .

Наконец, упомянем, что существует еще одна система анероидов, особенно рекомендуемая для плоских стран покойным профессором Иорданом. Она предложена Рейтцем и изготовлялась механиком Дейтшбейном. Главное его отличие от анероида Ноде заключается в том, что колебания колодки  $S$  капсулы  $D$



Черт. 190.

(черт. 190) передается длинной эластичной пластинкой  $PM$ , подпираемой спиральной пружиной  $F$ . На конце этой пластинки насажена на матовом стекле шкала  $M$ , деления которой фотографически нанесены на стекло и имеют вид рейки. Для рассматривания делений в деревянном четырех-

угольном ящике, в котором помещается коробка  $D$ , в вертикальной стенке, против стекла  $M$  помещается зрительная трубочка с крестом нитей, по которому и делаются на рейке  $M$  отсчеты. Сзади, в противоположной стенке, для освещения шкалы, вставлено собирательное стекло.

§ 101. Перевод показаний анероида на показания ртутного барометра. Показания анероида не согласуются вполне с показаниями ртутного барометра, исправленными от температуры, капиллярности трубки и напряжения силы тяжести, потому по временам (перед выездом и по окончании экспедиции) необходимо показания анероида сравнивать с показаниями нормального барометра. Для этого в центральных метеорологических учреждениях, как, напр., в главной физической обсерватории, имеются особые камеры с воздушными насосами, манометрами и с приспособлением для изменения температуры. В эти камеры помещаются исследуемые анероиды и производятся отсчеты их показаний при различных давлениях, определяемых по ртутному манометру, и при равной температуре. Из таких отсчетов составляются таблички поправок каждого анероида, т.-е. числа, которые должно прибавлять, с соответствующим знаком, к показаниям анероида для равных по нему отсчетов и разных температур,





Найдем из этих уравнений коэффициенты  $a, b, c$ <sup>1)</sup> по способу наименьших квадратов. Основное требование способа наименьших квадратов заключается в том, чтобы сумма квадратов поправок была минимум, т.е. чтобы  $\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2$  была минимум. Обозначая эту сумму через  $2\Omega$ , для нахождения значений искомым величин  $a, b$  и  $c$ , удовлетворяющих требованию минимум'a, берем производные от  $2\Omega$  по переменным  $a, b, c$  и приравниваем их нулям<sup>2)</sup>. Отсюда получим три уравнения с тремя искомыми неизвестными  $a, b$  и  $c$ . Полагая  $N = 760$  мм и принимая Гауссово обозначение суммы, найдем эти три уравнения для  $n$  наблюдений в виде:

$$\left. \begin{aligned} na + [t]b + [760 - A]c &= [B_0 - A] \\ [t]a + [t^2]b + [(760 - A)t]c &= [t B_0 - A] \\ [760 - A]a + [t(760 - A)]b + [(760 - A)^2]c &= [(760 - A)(B_0 - A)] \end{aligned} \right\} \dots (II)$$

Решив эти уравнения, найдем искомые числовые значения для  $a, b$  и  $c$ .

Уравнения (II) представляют частный случай нормальных уравнений с тремя неизвестными:

$$\left. \begin{aligned} [a^2]x + [ab]y + [ac]z + [am] &= 0 \\ [ab]x + [b^2]y + [bc]z + [bm] &= 0 \\ [ac]x + [bc]y + [c^2]z + [cm] &= 0; \end{aligned} \right\}$$

здесь надо только положить  $a = 1, b = t, c = (760 - A)$  и  $m = -(B_0 - A)$ , а за неизвестные  $x, y$  и  $z$  соответственно принять искомые поправки  $a, b$  и  $c$ .

Примечание. Здесь не надо смешивать коэффициентов нормальных уравнений  $a, b$  и  $c$  с искомыми поправками  $a, b$  и  $c$  для анероида.

Итак, прочтенное по шкале анероида показание  $A$  переводят на показание  $B_0$  ртутного барометра по формуле

$$A + c(N - A) + bt + a = B_0,$$

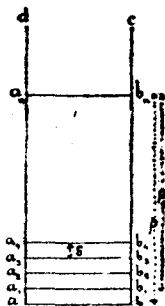
в которой  $t$  есть прочтенное показание внутреннего термометра анероида.

Чтобы не вычислять каждый раз  $B_0$  по данным коэффициентам  $a, b, c$ , показаниям  $t$  и  $A$ , составляют таблички для члена  $bt$  по аргументу  $t$  и для  $a + c(N - A)$  — по аргументу  $A$ .

§ 102. Гипсометрическая формула. Пусть  $abcd$  (черт. 191) — столб воздуха произвольного, но одинакового поперечного сечения на всем его протяжении  $ad$ , т.е. от уровня океана  $ab$  до крайних пределов  $dc$  атмосферы.

Пусть далее  $aba_1 b_1, a_1 b_1 a_2 b_2 a_3 b_3, \dots$  слои воздуха в столбе  $ab \cdot d$  с одной и той же высотой  $s$ . Эти слои столь тонки (т.е.  $s$  выбрано столь малым), что в каждом из них можно принять плотность постоянной величиной на всем протяжении слоя. Однако, плотность воздуха в каждом слое по сравнению с соседними будет различна, пусть она соответственно будет  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ . Назовем далее веса постепенно уменьшающихся по высоте  $\rho$  плотности столбов воздуха  $abcd, a_1 b_1 cd, a_2 b_2 cd, \dots$  соответственно через  $p, p_1, p_2, \dots$ ; тогда веса слоев одинаковой высоты  $s$  последовательно выразятся, начиная с нижнего, так:  $p - p_1, p_1 - p_2, p_2 - p_3, \dots$ . Вес, как мы заметили выше (перед формулировкой закона Мариотта), равен массе, умноженной на ускорение силы тяжести,  $P = mg$ ; но масса равна произведению объема  $v$  на плотность  $\Delta$ , т.е.  $m = v \cdot \Delta$ ; а потому  $P = v \cdot g$ .

Поэтому, при равных объемах плотности пропорциональны весам, если полагать, что напряжение силы тяжести не изменяется: действительно,



Черт. 191.

<sup>1)</sup> Число производных равно числу неизвестных. Для составления функций  $2\Omega$  необходимо сперва возвести в квадрат правые части равенства (I), а затем их суммировать.

<sup>2)</sup> Положив левые части равенств I нулям и взяв по три из них, можно найти ряд значений для  $a, b$  и  $c$ . После чего можно было бы взять арифметические средние значения из найденных  $a, b$  и  $c$ , но проще их решать по способу наименьших квадратов.

$P_1 = v_1 \cdot \Delta_1 \cdot g_1$ ;  $P_2 = v_2 \cdot \Delta_2 \cdot g_2$ ; при  $v_1 = v_2$  и  $g_1 = g_2$  имеем  $P_1 : P_2 = \Delta_1 : \Delta_2$ . Вследствие чего для рассматриваемых слоев воздуха можно, приняв ускоренные силы тяжести постоянным, написать ряд пропорций:

$$\left. \begin{aligned} \alpha : \beta &= (p - p_1) : (p_1 - p_2) \\ \beta : \gamma &= (p_1 - p_2) : (p_2 - p_3) \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (I)$$

С другой стороны, по закону Мариотта, плотности, при постоянной температуре, пропорциональны давлениям, а в данном случае, принимая температуру па различных уровнях атмосферы постоянной, пропорциональны весам, т.е.

$$\left. \begin{aligned} \alpha : \beta &= p_1 : p_2 \\ \beta : \gamma &= p_2 : p_3 \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (II)$$

Из систем равенств (I) и (II), находим:

$$\begin{aligned} p_1 : p_2 &= (p - p_1) : (p_1 - p_2) \text{ или } p_1 (p_1 - p_2) = p_2 (p - p_1) \\ p_2 : p_3 &= (p_1 - p_2) : (p_2 - p_3) \text{ " } p_2 (p_2 - p_3) = p_3 (p_1 - p_2) \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

Откуда, по раскрытии скобок и по сокращении, имеем:

$$\begin{aligned} p^2_1 &= p \cdot p_2, \text{ т.е. } \frac{p}{p_1} = \frac{p_1}{p_2} \\ p^2_2 &= p_2 \cdot p_3 \text{ " } \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_2}{p_3} \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

Таким образом, получаем ряд равных геометрических отношений в виде

$$\frac{p}{p_1} = \frac{p_1}{p_2} = \frac{p_2}{p_3} = \dots = \frac{p_{n-1}}{p_n}; \text{ откуда следует } = p : p_1 : p_2 : p_3 : p_4 \dots \dots \dots (III)$$

Но ряд (III) представляет геометрическую убывающую прогрессию, так как ее члены  $p, p_1, p_2, \dots$  (см. черт. 191) идут, постепенно уменьшаясь с увеличением высоты слоев над уровнем моря. Поэтому можно сказать, что, если высоты  $s, \dots, 2s, 3s, 4s, \dots$  столбов воздуха над уровнем моря идут, увеличиваясь в арифметической прогрессии, давление остающихся над ними столбов атмосферы уменьшается в прогрессии геометрической. Давление измеряется высотой ртутного столба в барометре; поэтому, называя показания барометра, соответствующие давлениям  $p, p_1, p_2, \dots$  через  $B, B_1, B_2, \dots$  можно ряд (III) заменить следующим рядом:

$$\frac{B}{B_1} = \frac{B_1}{B_2} = \frac{B_2}{B_3} = \dots = \frac{B_{n-1}}{B_n} \text{ 1) } \dots \dots \dots (B)$$

Обозначая через  $\frac{1}{r}$ , где  $r > 1$ , неизвестный пока знаменатель этой убывающей прогрессии, получим:

$$B_1 = \frac{B}{r}, B_2 = \frac{B_1}{r} = \frac{B}{r^2}, B_3 = \frac{B_2}{r} = \frac{B}{r^3}, \dots B_n = \frac{B_{n-1}}{r} = \frac{B}{r^n}.$$

1) Так как вес  $P$  ртутного столба равен  $P = a \cdot B \cdot \Delta \cdot g$ , где  $a$  — площадь основания столба и  $B$  его высота, то  $P : P_1 = B : B_1$ .

Если число взятых слоев в столбе воздуха с высотой  $h$  есть  $n$ , то  $s \cdot n = h$  будет высотой поверхности уровня  $a_n b_n$  над уровнем *ар* океана, при чем давление на уровне океана равно  $B$ , а на уровне  $a_n b_n — B_n$ .

Так как  $r^n = \frac{B}{B_n}$ , то  $n \cdot \lg r = \lg \frac{B}{B_n}$ ;

откуда находим:  $n = \frac{1}{\lg r} \cdot \lg \frac{B}{B_n}$ ,

и, следовательно, искомая альтитуда  $h = ns$  будет:

$$h = s \frac{1}{\lg r} \cdot \lg \frac{B}{B_n} \dots \dots \dots (IV)$$

Здесь  $s \frac{1}{\lg r}$  есть величина постоянная; действительно, при всяком  $h$  и раз выбранном постоянном весьма малом  $s$  (высоте отдельного слоя воздуха), при гипотезе спокойного состояния атмосферы, величины  $B, B_1, B_2, \dots B_n$  на соответствующих высотах  $0, s, 2s, \dots h$  меняться не будут, а потому  $r$  в знаменателе геометрической прогрессии ( $B$ ) останется постоянным, полагая  $s \frac{1}{\lg r} = A$ , будем иметь:

$$h = A \cdot \lg \frac{B}{B_n} \dots \dots \dots (V)$$

Если теперь одновременно с первым столбом возьмем второй с абсолютную высоту (или иначе альтитудю  $h_1$ ), то найдем

$$h_1 = A \lg \frac{B}{B'_n};$$

относительная высота, т.-е. разность альтитуды  $h_1$  и  $h$  двух точек (напр., двух вершин гор), лежащих в различных слоях воздуха, будет:

$$h_1 - h = A \lg \frac{B_n}{B'_n}, \dots \dots \dots (VI)$$

предполагая, что  $h_1 > h$  и, следовательно  $B'_n < B_n$ .

§ 103. Определение постоянной величины  $A$  геометрической формулы. Если разность  $h_1 - h$  хорошо известна, например, из точного геометрического нивелирования, то постоянная  $A$  может быть найдена из равенства:

$$h_1 - h = A \lg \frac{B_n}{B'_n}, \text{ откуда } A = \frac{h_1 - h}{\lg B_n - \lg B'_n},$$

в котором  $B_n$  и  $B'_n$  представляют средние величины из целого ряда одновременных, надлежащим образом исправленных, показаний барометра на верхней и нижней точках.

Постоянное  $A$  может быть также найдено из отношения  $k$  плотности  $\Delta$  ртути и плотности  $\Delta$  воздуха при известных давлениях и температуре. По опытам это отношение, при давлении 760 мм и температуре 0°, равно 10463, т.-е.

$k = \frac{\Delta_1}{\Delta} = 10463$ ; по закону Мариотта, при постоянной температуре:

$$\frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{p_1}{p} = \frac{v}{v_1},$$

где  $v$  и  $v_1$  объемы столбов воздуха и ртути с одинаковыми основаниями; но при равных основаниях отношение объемов  $\frac{v}{v_1} = \frac{h}{H}$ , т.-е. равно отношению их высот

$h$  и  $H$ ; следовательно, полагая высоту  $H$  ртутного столба равной 1 мм, найдем  $10463 = h$ . Таким образом, чтобы ртуть в барометре понизилась на 1 мм, надо подняться на высоту 10463 мм или приблизительно на 10,5 м; вследствие чего  $10,5 \text{ м} = A (\lg 760 - \lg 759)$  и  $A = 18356 \text{ м}$ .

§ 104. Введение поправки за температуру. Формула Бабиня. Формулы (V) к (VI) выведены в предположении, что температура и напряжение силы тяжести во всех слоях воздушного столба, а следовательно, на обеих точках наблюдения, — одинаковы. В действительности же физические условия на них различны. Поэтому, в последнюю формулу нужно ввести поправки. Эти поправки вводятся в виде множителей, почему и называются поправочными множителями. Самый важный из них — поправка за температуру воздуха: он вводится на основании закона Гей-Люссака. Прежде всего остановим наше внимание на формуле Бабиня, где температурный множитель принят во внимание, а прочие — влажность и напряжение силы тяжести — отброшены.

Пусть  $B_0$  есть исправленное показание барометра на нижней, а  $b_0$  — на верхней станции, так что  $(B_0 - b_0)$  — высота ртутного столба, уравновешивающего вес воздушного столба между обеими станциями с высотой  $h$  и основанием, равным основанию ртутного столба барометра. Обозначая плотность ртути через  $q$  и среднюю плотность столба воздуха через  $\Delta$ , напишем веса столбов ртути и воздуха.

Вес, как известно, равен объему, умноженному на плотность и на напряжение силы тяжести, т.е.  $P = v \cdot \Delta \cdot g$ .

Так как барометр можно сравнить с весами, на одной чашке которых лежит столб воздуха, а на другой — уравновешивающий его столб ртути с одинаковым с ним основанием, например,  $a$ , то, приравнявая веса столбов воздуха и ртути, получаем:

$$a \cdot h \cdot \Delta \cdot g = a (B_0 - b_0) \cdot q \cdot g.$$

Здесь мы допускаем попрежнему, что влажность и напряжение силы тяжести с высотой не меняются, вследствие чего из последнего равенства находим:

$$h = \frac{q}{\Delta} (B_0 - b_0) \quad \dots \dots \dots \text{(VII)}$$

Если температуру воздуха будем считать на разных слоях различною, то по закону Мариотта-Гей-Люссака напишем равенство

$$\Delta = \Delta_0 \frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{1 + \varepsilon t};$$

при чем будем полагать, что  $\Delta_0$  есть плотность воздуха при давлении  $p_0 = 760 \text{ мм}$  и температуре  $t = 0^\circ$ , а  $\Delta$  — средняя плотность рассматриваемого столба воздуха при среднем давлении  $p = \frac{B_0 + b_0}{2}$  и средней температуре  $t = \frac{T + T'}{2}$ , на верхней и нижней станциях, или

$$\Delta = \Delta_0 \cdot \frac{B_0 + b_0}{2} \cdot \frac{1}{760 \text{ мм}} \cdot \frac{1}{1 + \varepsilon \cdot \frac{T + T'}{2}}.$$

Вставляя это выражение  $\Delta$  в формулу (VII), найдем:

$$h = 2,760 \text{ мм} \frac{q}{\Delta_0} \left( 1 + \varepsilon \frac{T + T'}{2} \right) \cdot \frac{B_0 - b_0}{B_0 + b_0}.$$

1) Эта же формула непосредственно вытекает из условия равновесия разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах: высоты столбов жидкостей обратно пропорциональны плотностям.

Принимая плотность ртути  $q = 13,6$ , плотность воздуха  $\Delta_0 = 0,0013$  и для коэффициента расширения воздуха, согласно Бабине  $\frac{\epsilon}{2} = 0,002$ , найдем  $h$  в метрах

$$h = 16010 [1 + 0,002 (T + T'')] \frac{B_0 - b_0}{B_0 + b_0}.$$

При обозначении  $16010 = C$  и  $0,002 = \delta$ , получим формулу Бабино в виде:

$$h = C [1 + \delta (T + T'')] \frac{B_0 - b_0}{B_0 + b_0} \dots \dots \dots \text{(VIII)}$$

Для превращения  $h$  из метров в сажени необходимо полученный результат умножить на 0,4687. Сравняя формулу Бабино с гипсометрической формулой  $h = A \lg \frac{B_0}{b_0}$ , покажем, что  $\frac{B_0 - b_0}{B_0 + b_0}$  можно привести к виду  $\lg \frac{B_0}{b_0}$ . Действительно положив  $B_0 - b_0 = r$  и  $B_0 + b_0 = s$ , заметим, что  $\lg \frac{B_0}{b_0}$ , взятый по системе Брига можно представить по системе Непера так:

$$\lg \frac{B_0}{b_0} = M \cdot \lg \frac{B_0}{b_0} = 0,4340 \cdot \lg \frac{B_0}{b_0};$$

но

$$\lg \frac{B_0}{b_0} = \lg \left(1 + \frac{B_0 - b_0}{B_0 + b_0}\right) - \lg \left(1 - \frac{B_0 - b_0}{B_0 + b_0}\right) = \lg \left(1 + \frac{r}{s}\right) - \lg \left(1 - \frac{r}{s}\right) \dots \dots \text{(1)}$$

Разлагая в ряды два последние выражения логарифмов, получим:

$$\begin{aligned} \lg \left(1 + \frac{r}{s}\right) &= \frac{r}{s} - \frac{r^2}{2s^2} + \frac{r^3}{3s^3} - \frac{r^4}{4s^4} + \dots \\ \lg \left(1 - \frac{r}{s}\right) &= -\frac{r}{s} - \frac{r^2}{2s^2} - \frac{r^3}{3s^3} - \frac{r^4}{4s^4} - \dots \end{aligned}$$

или, по вычитании, найдем

$$\lg \left(1 + \frac{r}{s}\right) - \lg \left(1 - \frac{r}{s}\right) = 2 \frac{r}{s} + 2 \frac{r^3}{3s^3} + \dots$$

Ограничиваясь здесь первым членом  $2 \frac{r}{s}$ , так как разность  $r$  показаний барометра значительно меньше их суммы  $s$ , имеем

$$\lg \left(1 + \frac{r}{s}\right) - \lg \left(1 - \frac{r}{s}\right) = 2 \frac{r}{s} = 2 \frac{B_0 - b_0}{B_0 + b_0}, \dots \dots \dots \text{(2)}$$

по первая часть (2) равенства, согласно (1), есть  $\lg \frac{B_0}{b_0}$ , а потому действительно видим, что

$$\frac{B_0 - b_0}{B_0 + b_0} = \frac{1}{2} \lg \frac{B_0}{b_0} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{0,43429} \lg \frac{B_0}{b_0}.$$

Постановка этого выражения в формулу Бабино приведет к основной гипсометрической формуле.

§ 105. Вывод сокращенной формулы барометрического нивелирования. Полная барометрическая формула редко употребляется при нивелировании: она заменяется такую формулою, которая, соответствуя определенной местности, представляется в более простом виде и дает результаты с точностью, достаточною для многих случаев практики. Полная формула может быть получена из известной нам гипсометрической формулы  $h = A \lg \frac{B_0}{b_0}$  через введение поправочных биномов множителей, а именно:

$$h = K (1 + Et) \left(1 + \gamma \frac{r}{B}\right) (1 + \beta \cdot \cos 2\varphi) \left(1 + \frac{2Hm}{R}\right) \lg \frac{B_0}{b_0} \dots \dots \text{(1)}$$

Чтобы судить о величине поправок — множителей, входящих в эту формулу, приведем их значение при  $H=1000$  м,  $t=+20^\circ$  и  $\frac{e}{B}=0,04$ ,  $\varphi=55^\circ$ .

Поправка за температуру, равная  $K \lg \frac{B_0}{b_0} Et$ , составляет около 7% высоты  $h$ , вычисленной по формуле  $h = K \lg \frac{B_0}{b_0}$ ; поправка за влажность, равная

$$K \lg \frac{B_0}{b_0} \cdot \gamma \cdot \frac{e}{B},$$

составляет 1,5% высоты  $h$ , поправка за среднюю широту мест наблюдения, равная  $K \lg \frac{B_0}{b_0} \beta \cdot \cos 2\varphi$ , составляет 0,1%; поправка от изменения ускорения силы тяжести с высотой места над уровнем океана, равная  $K \lg \frac{B_0}{b_0} \cdot \frac{2H}{R}$ , составляет 0,03% от  $h = K \lg \frac{B_0}{b_0}$ .

Так как три последние множителя мало влияют на результат, то для получения сокращенной формулы, соответствующей известной местности, подставим вместо множителей их средние числовые значения. Так, для Москвы средняя влажность и показание барометра за 10 лет (с 1868 по 1877 г.) суть:

$$e = 5,9 \text{ мм} \text{ и } B = 747,5 \text{ мм},$$

высота  $H$  обсерватории над морем = 142,9 м и широта  $\varphi = 55^\circ 46'$ .

Подставив эти величины, формулу (1) обратим в следующую:

$$h = M (1 + Et) \lg \frac{B_0}{b_0}, \dots \dots \dots (2)$$

где  $M$  постоянная величина, в которую входят и средние значения трех вышеуказанных множителей.

Эта формула (2), вполне согласная с формулою Бабине, может быть представлена в другом, более удобном, виде для расположения ее в таблицы. Напишем сначала формулу (2) в виде:

$$h = M (1 + Et_0) \frac{1 + Et}{1 + Et_0} \lg \frac{B_0}{b_0}.$$

где  $t_0$  есть произвольная температура; обыкновенно за нее принимают некоторую среднюю температуру, свойственную в известное время года данной местности.

Преобразуя теперь дробь, стоящую в правой части равенства, разлагая  $(1 + Et_0)$  по биному Ньютона, и ограничиваясь четвертым членом разложения, имеем:

$$\frac{1 + Et}{1 + Et_0} = (1 + Et) (1 + Et_0)^{-1} = (1 + Et) \cdot (1 - Et_0 + E^2 t_0^2 - E^3 t_0^3).$$

Сделав перемножение и собирая попарно члены, найдем:

$$1 + Et - Et_0 - E^2 t t_0 + E^2 t_0^2 + E t t_0^2 - E^3 t_0^3 - \dots = 1 + E(t - t_0) - E t^2 t_0 (t - t_0) + E^3 t_0^2 (t_0 - t) = 1 + (E - E^2 t_0 + E^3 t_0^2) (t - t_0).$$

Положив здесь  $E = 0,00365$  и  $t = +15^\circ$ , так как  $15^\circ$  есть средняя летняя температура, при которой обыкновенно и производится нивелирование, получим:

$$E - E^2 t_0 + E^3 t_0^2 = \lambda = 0,003475$$

$$\text{и } \frac{1 + Et}{1 + Et_0} = 1 + \lambda (t - 15^\circ), \text{ а потому:}$$

$$h = M (1 + E \cdot 15^\circ) [1 + \lambda (t - 15^\circ)] \lg \frac{B_0}{b_0}.$$

Обозначив  $M(1 + E \cdot 15^\circ)$  через  $K_1$ , будем иметь:

$$h = K_1 [1 + \lambda(t - 15^\circ)] \lg \frac{B_0}{b_0}, \dots \dots \dots (3)$$

где  $K_1 = 19454$ . Продолжая преобразование далее, пишем:

$$\lg \frac{B_0}{b_0} = \lg 762 \text{ мм} - \lg b_0 + \lg B_0 - \lg 762 \text{ мм}$$

$$\text{и } h = K [( \lg 762 \text{ мм} - \lg b_0 ) - \lg 762 \text{ мм} - \lg B_0] \cdot [1 + \lambda(t - 15^\circ)]$$

здесь 762 мм есть давление воздуха на уровне моря в средней Европе.

Вводя обозначение:

$$\begin{aligned} K_1 (\lg 762 \text{ мм} - \lg b_0) &= H_2, \\ K_1 (\lg 762 \text{ мм} - \lg B_0) &= H_1, \end{aligned}$$

получим сокращенную барометрическую формулу:

$$h = (H_2 - H_1) + \lambda (H_2 - H_1) \cdot (t - 15^\circ) \dots \dots \dots (4)$$

Величины  $H_2$  и  $H_1$  называются приближительными высотами<sup>1)</sup>, а последний член второй части  $\lambda(H_2 - H_1) \cdot (t - 15^\circ)$  — поправкой от температуры. Она получается при  $H_2 > H_1$  со знаком +, если  $t > 15^\circ$  и со знаком —, если  $t < 15^\circ$ . Для облегчения вычисления  $h$  по этой формуле составлены таблицы, из которых по наблюдаемым и исправленным показаниям  $b_0$  и  $B_0$  барометра непосредственно получаются  $H_2$  и  $H_1$ , а по аргументам средней на обеих станциях температуры  $t$  воздуха и  $(H_2 - H_1)$  берется из другой таблицы поправка от температуры. Приложив эту последнюю к разности  $H_2 - H_1$ , получим  $h$ . Такие таблицы имеются в изданной А. Биком брошюре („Таблицы для барометрического нивелирования“). В ней собраны и все другие таблицы, требующиеся при барометрическом нивелировании.

**Примечание 1.** Обыкновенный способ измерения температуры воздуха состоит в том, что термометр вешают в тени и делают отчет тогда, когда ртуть в трубке перестанет передвигаться. Но такой способ весьма продолжителен, вследствие чего поступают так: к термометру привязывают шнурок и заставляют термометр описывать в воздухе круги. Замечено, что около 50 таких оборотов достаточны для того, чтобы термометр показывал температуру окружающего воздуха.

**Примечание 2.** На русском языке еще имеются таблицы: напр., издание Русск. Геогр. Общ. Шаргорст — таблицы для вычисления высот из барометрических наблюдений 1837 г. Срезневский — Инструкция для определения высот помощью барометрических наблюдений 1891 г. Шевцов — о барометрическом нивелировании 1895 г.

§ 106. Числовые примеры на употребление таблиц. Употребление 8 и 9 таблиц А. Бик, служащих для вычисления разности высот по сокращенной барометрической формуле, основано на том, что первая из них дает  $H_2$  и  $H_1$ , т.е. приближенные высоты по аргументам  $B_0$  и  $b_0$  — наблюдаемым и исправленным показаниям барометра или по показанию  $A$  анероида, переведенному на показание барометра по формуле:  $B_0 = A + a + bt + c \cdot (N - A)$ , а вторая — температурную поправку  $= 0,003475 \cdot (H_2 - H_1) \cdot (t - 15^\circ)$ , по аргументу,  $t$ , равному среднему арифметическому из показаний наружного термометра на обеих станциях и по найденной разности  $H_2 - H_1$ .

Вычисление величины  $h$  ведется и располагается в нижеследующем порядке:

Показания анероида, переведенные на показание барометра.

Показания наружного термометра.

- |   |             |                                    |
|---|-------------|------------------------------------|
| 1. Верхняя станция $b_0 = 654,7$ мм . . . . . | $t = +15,3$ | } среднее $+18,0^\circ > 15^\circ$ |
| Нижняя „ $B_0 = 679,6$ „ . . . . .            | $t = +20,7$ |                                    |

<sup>1)</sup>  $H_2 = K_1 \lg \frac{762}{b_0}$  и  $H_1$  соответствуют гипсометрической формуле (V).



По таблице VIII для 654,7 приближенная альтитуда  $H_2$  . . . 1282,1 м.  
 „ 679,6 „ „ „  $H_1$  . . . 966,8 „

По таблице IX для  $H_2 - H_1 = 315,3$  и температуры . . . 18,0  $> 15^\circ$   
 поправка . . . . . + 3,3  
 Искомое . . .  $h = 318,6$  м.

2 Если средняя температура  $= +6,4$  т.е. менее  $15^\circ$ , то поправка будет  
 оо инаком минус; так при  $(H_2 - H_1) = 119,9$  находим ее  $-3,6$  м, а искомое  
 $h = 116,3$  м.

8. Верхняя станция баром.  $b_0 = 760,3$  мм . . . . .  $t = 31,7$  } среднее  
 Нижняя „ „ „  $B_0 = 765,8$  „  $> 762$  . . .  $t = 33,5$  }  $32,6$

$$\begin{array}{l|l} 760,3 \dots H_2 = +18,9 \text{ м} & \\ 765,8 \dots H_1 = -42,0 \text{ „} & \end{array} \left. \begin{array}{l} \\ \\ \hline 60,9 \text{ м} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \\ \\ \text{поправка } +3,7 \end{array} \quad h = 64,6 \text{ м.}$$

В таблице 9-й два крайних столбца, озаглавленные  $C^\circ$ , служат для нахождения аргумента  $t$ . Очевидно, что поправки для  $t = 14^\circ$  и  $t^0 = 16^\circ$  будут одинаковы по абсолютной величине, но противоположны по знаку. Сообразно с этим и расположена таблица, и в ней  $t$  сопровождается то знаком  $+$ , то знаком  $-$ .

Вместо того, чтобы помещать приближенные альтитуды в таблицах, за последнее время некоторые механики стали помещать их на шкале самого анероида; при этом альтитуды считаются от некоторого условного уровня, соответствующего максимальному давлению на шкале анероида. На таких анероидах имеется две шкалы: одна обыкновенная для показания давления воздуха в миллиметрах и другая, концентрическая с первой, показывающая приближенные альтитуды в гектометрах с точностью до 1 метра. Альтитуды вычисляются (для шкалы) для некоторой средней температуры воздуха, соответствующей данной местности, и для некоторой средней шпроты; в них введены поправки за температуру, при чем принят определенный закон убывания температуры с высотой, выведенный на основании метеорологических наблюдений. К числу таких анероидов принадлежит анероид французца Гулье. Для определения превышений таким анероидом достаточно сделать по одному отсчету на каждой станции по шкале альтитуд и составить их разность; так, напр., если на станциях прочтено  $B_0 = 722,5$  мм. . .  $H_2 = 1570$  м и  $b_0 = 698,3$  мм,  $H_1 = 1273$ , то искомая разность будет;  $H_2 - H_1 = 292$  м.

Замечание. Вычисляя приближенные альтитуды по таблицам, мы предполагали, что для обеих станций, незначительно удаленных друг от друга, напр., 10—15 и даже до 25 км, давление на уровне моря остается одно и то же, равное 762 мм. Случается же, что давление на уровне моря понижается до 700 мм и повышается выше 800 мм, колебания же на 20 миллиметров вверх и вниз довольно обыкновенны; между тем, ошибка в приближенных высотах от этих 20 мм дойдет до 200 м и более. Вследствие этого при больших расстояниях, доходящих до 50 км, желательно вводить поправку за изменения давления на уровне моря: нахождение давления на уровне моря может быть сделано по синоптическим картам с изобарами и (см. конец § 107).

**§ 107. Способы барометрического нивелирования.** Барометрические наблюдения, имеющие целью определение разности высот точек земной поверхности, зависят от количества анероидов и от расстояния между конечными точками. Они бывают соответствующие и абсолютные.

1. Соответствующие, когда наблюдения на обеих станциях (удаленных на 5, 10 и не свыше 25 км) производят по двум барометрам (или анероидам) одновременно (или почти одновременно) и затем выводится относительное превышение (или разность высот) обеих точек, или же когда на обеих станциях сделаны наблюдения в разное время, даже одним и тем же

барометром; однако, их возможно перевести на одновременные, т.-е. соответствующие. Таким образом, для соответствующих наблюдений сперва будем различать два случая:

а) в распоряжении имеется не менее двух экземпляров анероидов или барометров или вообще приборов для наблюдения давления и

б) в распоряжении имеется один экземпляр; а затем первый случай несколько осложним тем, что расстояние между конечными точками возьмем свыше 25 км.

2. Абсолютные наблюдения — когда наблюдают лишь величину давления  $b_0$  на одной точке и вычисляют затем прямо высоту этой точки над уровнем океана, пользуясь метеорологической картой, относящейся ко дню наблюдений, с которой беруг  $B_0$  — давление на уровне моря, соответствующее точке, находящейся на одной вертикали с наблюдаемой.

Способ соответствующих наблюдений. Пусть требуется определить разность высот двух точек  $A$  и  $B$ , удаленных друг от друга на сравнительно короткое расстояние, в 10—15 км, которое можно пройти или проехать в течение одного дня, и положим, что: а) работают два наблюдателя. Оба наблюдателя снабжены выверенными барометрами, термометрами и часами. В начальной точке наблюдатели № 1 и № 2 делают сравнение своих приборов, для чего записывают показания анероидов, внутренних и наружных термометров и часов; такие записи делают неоднократно и одновременно. Затем № 2 отправляется в точку  $B$  и производит там одно или несколько наблюдений, записывая по часам моменты наблюдений и возвращается снова в точку  $A$ , и здесь оба наблюдателя снова делают одновременно ряд отсчетов по своим приборам. В отсутствие № 2 оставшийся в начальной точке наблюдатель № 1 обязывается делать наблюдения, т.-е. записывать показания анероида, термометров и часов через определенные промежутки времени, по уговору с наблюдателем № 2, напр. через каждые 15 минут. При благоприятных условиях состояния атмосферы, а именно, в тихую и ясную погоду, отсчеты наблюдателя, остающегося на месте, меняются не значительно и в нравственной постепенности, так что простым интерполированием легко вычислить показания анероида, соответствующие моментам отсчетов наблюдателя в точке  $B$ ; при этом получаются как бы одновременные наблюдения на обеих точках. Результаты по исправлению подставляются в формулу. Если бы при этом требовалось определить относительные высоты нескольких точек  $A$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $B$ , в данном направлении, то по пути следования из  $A$  в  $B$  наблюдатель № 2 делает на анероиде, часах и термометрах наблюдения на всех тех точках  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,... земной поверхности, которые представляют значительные перегибы местности; на каждом из этих пунктов делает, по возможности, не одно наблюдение, а несколько.

б) Если за недостатком помощника или за неимением второго экземпляра анероида нивелирование нужно произвести одному лицу, то после ряда наблюдений в начальной точке  $A$  идут с анероидом по направлению  $AB$  и делают наблюдения в тех точках,  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,...  $B$ , разность уровней которых с начальной делают определять и через возможно непродолжительный промежуток времени возвращаются в начальную точку и вновь записывают здесь показания часов, анероида и термометров.

Если показание анероида при втором его нахождении в начальной точке не отличается от таковых же показаний, сделанных в начале работы, то приписывают, что давление воздуха в начальной точке не изменилось. Если же между этими показаниями окажется разница, то по ней вычисляют показания анероида для начальной точки, соответствующие тем моментам, когда наблюдения над анероидом делались в других точках  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,...  $B$ .

При этом предполагается, что показания анероида, если бы он не сдвигался с начальной точки, изменялись пропорционально времени. Чтобы иметь право сделать подобное предположение и вычислить изменение показания барометра за единицу времени, напр., за 10 минут, т.-е. чтобы подобное предположение возможно ближе соответствовало действительным изменениям давления атмосферы в природе, необходимо, чтобы промежуток времени между наблюдениями в  $a$  и  $A$ ,  $b$  и  $A$ ,  $c$  и  $A$  и т. д. был возможно меньше. Пусть в  $A$  сделано в первый раз наблюдение в момент  $t_1$  и показание анероида, перечисленное на показание барометра, было  $B_0'$ , в точке  $a$  — в момент  $t_2$ , в точке  $b$  —  $t_3$  и т. д. вновь в точке  $A$  записано  $B_0''$  в момент  $t_1$ , тогда изменение показания барометра за единицу времени будет:  $\Delta B = \frac{B_0'' - B_0'}{t_1 - t_1}$ . Образовав разности  $t_2 - t_1$ ,  $t_3 - t_1$  и придавая к  $B_0'$  поправки  $\Delta B (t_2 - t_1)$ ,  $\Delta B (t_3 - t_1)$  с их знаками, получим показания барометра в точке  $A$ , соответствующие показаниям барометра в точках  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ... в моменты  $t_2$ ,  $t_3$ ...

Такой прием с одним барометром или анероидом удобно применять при глазомерной съемке.

Пусть теперь расстояние от начальной точки  $A$  до конечной таково, что его нельзя проехать или пройти в один день. В этом случае избранное расстояние (при изысканиях путей сообщения, нивелировании горных долин) делят на участки такой длины (20—25 км), чтобы каждый участок можно было пройти или проехать в течение одного дня. Число приборов для наблюдения должно быть не менее двойного комплекта. В начальной точке  $A$  оба наблюдателя производят отсчеты своих приборов, затем первый наблюдатель отправляется в дорогу и на всех достойных определения высот точках  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ..., напр., на перевалах, в долинах, у рек, на мостах и т. п. производит отсчеты своих барометра, термометра и часов.

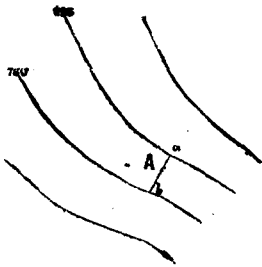
Приехав в точку  $B$ , первый наблюдатель останавливается здесь на два дня, при чем систематически отсчитывает приборы днем, напр., через каждые полчаса. Второй наблюдатель, оставаясь в точке  $A$  целые сутки, также отсчитывает и записывает показания своих приборов каждые полчаса и затем на следующий день отправляется по тому же маршруту в точку  $B$ , производя наблюдения на тех же точках  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ..., ранее намеченных (напр., по карте), как и первый наблюдатель. Приехав в  $B$ , второй наблюдатель остается здесь на ночь, сверяет свои приборы с приборами первого наблюдателя и на следующее утро едет дальше в  $C$ , т.-е. по направлению от  $B$  к  $C$  он играет роль 1-го наблюдателя. В точке  $C$  он останавливается на 2 дня, первый же наблюдатель переезжает из  $B$  в  $D$  с остановкою в  $C$  и т. д. Из таких наблюдений на каждом участке получается все, что нужно для двукратного вывода разности высот. При этом способе исключаются и личные ошибки наблюдений. Экспедицию полезно закончить в исходной точке  $A$ , приехав туда той же или иной дорогой, через это получается новая независимая проверка нивелирования по замкнутому полигону. При больших несомкнутых полигонах необходимо (если возможно) начальную и конечную, а где можно и промежуточные, точки привязать барометрическую нивелировку к точкам, высоты которых над уровнем моря известны (реперы или метеорологические станции).

Разделяя на участки весь путь от начальной до конечной точки, выгодно в концах участков сперва в  $A$  и  $B$ , потом  $B$  и  $C$ , наконец, в  $C$  и  $D$  иметь постоянно установленные барометры, а в промежутках между ними ездить с анероидом; тогда нужно для последовательной нивелировки участков иметь 3 наблюдателей.

Барометрическое нивелирование следует производить летом (с апреля по октябрь).

Способ абсолютных наблюдений. Отыскание абсолютных высот (альтитуд) производится так: на синоптическую (метеорологическую) карту для

наблюдений наносят избранную точку по ее широте и долготе, на этой карте проведены изобары и изотермы, т.-е. кривые одинакового давления и одной температуры (подобно тому, как проводятся изогипсы, т.-е. горизонтали по отметкам на плане). Тогда не трудно узнать показания барометра и термометра в точке, представляющей проекцию точки наблюдения на уровень моря.



Черт. 192.

Пусть точка наблюдения *A* (черт. 192) оказалась между изобарами 755 и 760; проведя через точку *A* линию *ab* приблизительно перпендикулярную к обеим названным изобарам, составляют отношение длин *Aa* в *ab*; пусть  $\frac{Aa}{ab} = \frac{2}{5}$ , показание барометра в точке *A* будет:

$$755 + \frac{2}{5} (760 - 755) = 757 \text{ мм.}$$

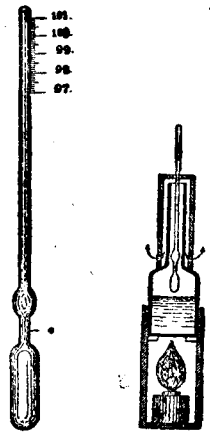
Таким же образом по изотермам получается соответствующее показание термометра. Действительные исправленные отсчеты на точке наблюдения по барометру  $b_0$  и термометру  $t_1$  и найденные по изобарам  $B_0$  и изотермам  $t_1$  для воображаемой проекции точки *A* на уровень моря вставляют в формулу и обрабатывают их, как соответствующие наблюдения.

§ 103. Гипсотермометры или гермобарометры. Для нивелировок высоких стран (выше 2000 метров) anerоиды не пригодны и их следует в таких странах заменять или ртутными барометрами, или так назыв. гипсотермометрами. В невысоких же местностях выгоднее употреблять anerопды, показывающие давление воздуха от 600 до 800 миллиметров. Устройство гипсотермометров основано на следующем. Атмосферное давление можно определить, помимо барометров, также и по температуре кипения воды. Это видно из сопоставления следующих чисел, добытых из опыта:

давление	темп. кипения
746,5	99,5
749,2	99,6
751,9	99,7
754,6	99,8
757,3	99,9
760,0	100,0

так что, с изменением давления на 2,7 мм, температура кипения изменяется на 0,1°, т.-е. при изменении на 0,27 мм температура изменится на 0,01°. А потому, чтобы по температуре кипения определить давление воздуха, нужно иметь термометр, дающий по крайней мере, сотые доли градуса. Для такого точного определения служит особый снаряд, состоящий из термометра и кипяточного аппарата. Снаряд этот называется термобарометром, а также гипсотермометром. Главная часть его есть термометр, шкала которого разделена до  $\frac{1}{50}$  и даже  $\frac{1}{100}$  доли градуса, которые оцениваются на-глаз и с тем большею точностью, чем более промежутки между отдельными штрихами. Такие термометры имеют большие шарики и очень узкие трубка с расширением по середине; на шкале обыкновенно ограничиваются назначением только 0° и делений от 97° до 101°, как это показано на черт. 193.

Кипятильный аппарат состоит из сосуда (черт. 194), в который вливается вода, а в цилиндрическую его трубку вставляется термометр так, чтобы шарик с ртутью помещался в парах кипящей воды, нагреваемой спиртовой лампой. Весь снаряд вкладывается в футляр и очень удобен для переноски.



Черт. 193. Черт. 194

Имея температуру кипения на низшей и высшей станциях, можно по таблице получить соответственные ей давления воздуха. Подставив их в барометрическую формулу, возможно найти относительную высоту обеих станций. При этом полезно также, хотя-бы и приближенно, знать температуру и влажность воздуха и широту станции. Сравнивая этот способ определения атмосферного давления с определением его барометром, необходимо отметить сравнительно меньшую его точность: опыт показал, что средняя ошибка определения давления посредством кипячения есть  $\pm 0,25$  мм, а по анеронду  $\pm 0,15$ — $0,20$  мм. Это происходит отчасти от того, что гипсотермометр дает температуру, зависящую не только от величины давления воздуха на данном пункте, но и от того давления, при котором назначены постоянные точки термометра  $0^{\circ}$  и  $100^{\circ}$ , а по ним уже нанесена и вся шкала гипсотермометра. С другой стороны, меньшие размеры и большая портативность гипсотермометра сравнительно с ртутным барометром говорят в его пользу. В исключительных случаях, а именно, при путешествиях, гипсотермометр вследствие постоянства своих показаний может служить также для определения коэффициентов анероидов или поверки их.

В заключение надо сказать, что: 1) для гипсотермометра необходимо брать воду чистую или дождевую; 2) защищать его при кипячении воды от движения воздуха; 3) необходимо следить за тем, чтобы в кипящий аппарат было налито достаточное количество воды, ибо при недостатке ее он может согреться настолько сильно, что термометр лопнет, а при избытке брызги воды при кипении будут попадать на шарик термометра; 4) в случае, если прибор не употреблялся несколько дней, то первый отсчет по термометру не принимается во внимание, а после охлаждения аппарата наблюдение повторяется еще раз; 5) до отсчета по термометру вода должна кипеть не менее 10 минут.

§ 109. Точность барометрического нивелирования. Среднюю ошибку барометрического нивелирования при употреблении анероидов считают в 1—2 метра для высот до 200 метров. Предельную же ошибку можно принять равную 3% определяемой разности уровней. Вообще же точность барометрических определений высот в разных случаях различна и зависит от обстоятельств, при которых оно производилось. Во всяком случае две соседние точки должны быть друг от друга не далее 25 км, а разность высот не должна превосходить 500 метров. Максимальное расстояние между конечными точками при железно-дорожных изысканиях не должно достигать 150 км, дабы состояние атмосферы было в них по возможности одинаково. Ветряная и пасмурная погода не благоприятна для барометрических наблюдений.

---

## ГЛАВА VIII.

### Перерисовка планов.

§ 110. Общие понятия. Если для составления карты была предпринята точная инструментальная, напр., мензульная съемка, то карта (или общий план) обыкновенно составляется в более мелком масштабе. Для этого сперва на общем плане в уменьшенном масштабе наносят точки сети, а затем уже каждый планшет перерисовывается в уменьшенном виде на свое место. Хотя вообще масштаб на карте меняется, но он может быть в той или иной части и сохранен поэтому перерисовка может быть произведена и с сохранением оригинального численного масштаба и с изменением его. При перерисовке с уменьшением масштаба работа сводится к выбрасыванию подробностей и обобщению контуров, т.-е. к сохранению их общего вида и удалению мелких изгибов. При перерисовке же с сохранением масштаба, очертания контуров не изменяются.

§ 111. Перерисовка без изменения масштаба или сводка чертежа крайне проста; она делается или с помощью прозрачного коленкора (сводка на кальку), или с помощью толстого стекла, которому придают вид наклонного стола—парты и нередко называют копировальным пультом, или с помощью копировальной иглы (наколки).

а) Перерисовка на кальку. На перерисовываемом плане распрямляют кальку и прикрепляют ее вместе с ним к столу кнопками; затем производят самую перерисовку, начиная ее с рамки планшета или границы общей фигуры плапа, при том прямо тушью и, если возможно, по линейке. После этого уже приступают к перерисовке деталей переходя постепенно от общих более крупных контуров к частным, т.е. к мелким, составляющим крупные, дабы в случае нечаянного передвижения кальки по плану, лучше можно было бы наложить ее на прежнее место и исправить происшедшую от этого неверность в копировании. Наконец, только по окончании перерисовки контуров делается их иллюминировка красками и подписывание тушью. Для лучшей видимости, при употреблении конии на кальке, под нее подкладывают белую бумагу.

б) Перерисовка посредством копировального пульта. Копировальный пульт состоит из толстого зеркального стекла, вставленного в раму и поворачивающегося вместе с этой последней около осей 2—3 шарниров. Снизу рамы делаются подпорки или ножки, посредством которых можно наклонять стекло по мере надобности. При копировании кладут на стекло оригинал, а на него бумагу, и производят перерисовку в том же порядке, как и в предыдущем способе. Для большей видимости рисунка оригинала пульт ставят у окна и спускают у окна штору, где закрывают верхнюю часть оконной рамы ставнями до верхнего края рамы пульта. Копировальным пультом можно пользоваться и вечером, при чем источник света (лампа) укрепляется у стола.

в) Перерисовка посредством копировальной иглы (наколки) состоит в том, что все вершины углов и поворотные точки криволинейных фигур контуров оригинала, переносятся помощью проколов, делаемых тонкою иглою, на бумагу, прикрепленную неподвижно под оригиналом. По окончании всего перенесения оригинал снимается и наколотые на копил точки соединяются прямыми или кривыми линиями в том порядке, как они идут на оригинале. При этом способе копирования должно держать наколку возможно перпендикулярнее к бумаге. Таким путем можно получить сразу несколько копий, но, однако, не более четырех, потому что в противном случае легко вкрадутся неверности в длинах линий вследствие неперпендикулярности иглы к плоскости бумаги. Этот способ перерисовки хуже двух предыдущих тем, что через накалывание портится оригинал.

§ 112. Перерисовка с изменением масштаба. Здесь различают два случая: изменение линейное и изменение по площади. В случае линейного изменения, все линии копии должны быть или более или менее (в определенное число раз) соответственных линий оригинала. Иногда же требуется, чтобы площадь копии была вдвое, втрое, или вообще в  $n$  раз более или менее площади оригинала. В обоих этих случаях, очевидно, можно считать оба масштаба, как масштаб оригинального плана, так и масштаб копии заранее известными, и если один из них не дан прямо, то он всегда может быть определен из условия задания; так, если масштаб оригинала есть  $\frac{1}{M}$  и если данное отношение длины линий копии к соответственным линиям оригинала будем обозначать всегда через  $\frac{k}{o}$ , то масштаб  $\frac{1}{m}$  копии определится из пропорции:

$$k : o = \frac{1}{m} : \frac{1}{M}, \quad \text{откуда: } \frac{1}{m} = \frac{1}{M} \cdot \frac{k}{o}; \quad \text{напр., при } \frac{1}{M} = \frac{1}{10000} \text{ и } \frac{k}{o} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{10000} \cdot \frac{1}{5} = \frac{1}{50000},$$

Очевидно, что случай перерисовки чертежа с изменением площади может быть всегда сведен на случай линейного изменения. Действительно, площади подобных фигур относятся между собою, как квадраты их сходственных сторон, а потому, обозначив площади фигур копии и оригинала через  $p$  и  $P$ , а сходственные их стороны—через  $a$  и  $A$ , имеем

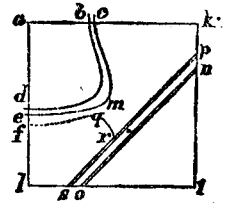
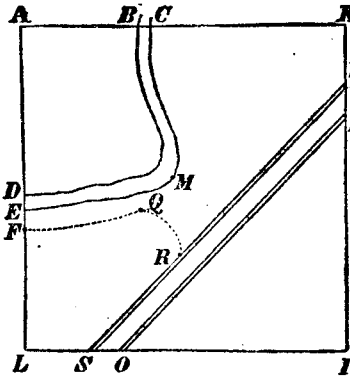
$$\frac{p}{P} = \frac{a^2}{A^2} = \left(\frac{k}{o}\right)^2$$

Откуда:  $\frac{k}{o} = \sqrt{\frac{p}{P}}$ ; напр., если дано  $\frac{p}{P} = \frac{1}{5}$ , то  $\frac{k}{o} = \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{1}{2.24}$ .

Перерисовка с изменением масштаба оригинала производится двумя способами: или геометрически, или механически (особыми приборами, назыв. пантографами).

В первом случае перерисовка делается разбивкою оригинала и копии или на квадраты, или на прямоугольники, отношение сторон которых равно данному отношению длин линий копий и оригинала. Длина сторон квадратов зависит от размеров контуров,

которые придется перерисовывать: чем они мельче, тем меньше и стороны квадратов: вообще же эти стороны должны быть так вы, чтобы чертежнику не трудно было делать перерисовку на-глаз, руководствуясь небольшим числом точно перенесенных на копию точек. Пусть, напр.,  $akli$  (черт. 195) есть квадрат копии,  $AKIL$  — квадрат оригинала; перерисовку начинают с того, что на сторонах квадрата копии откладываются расстояния:  $ab$ ,

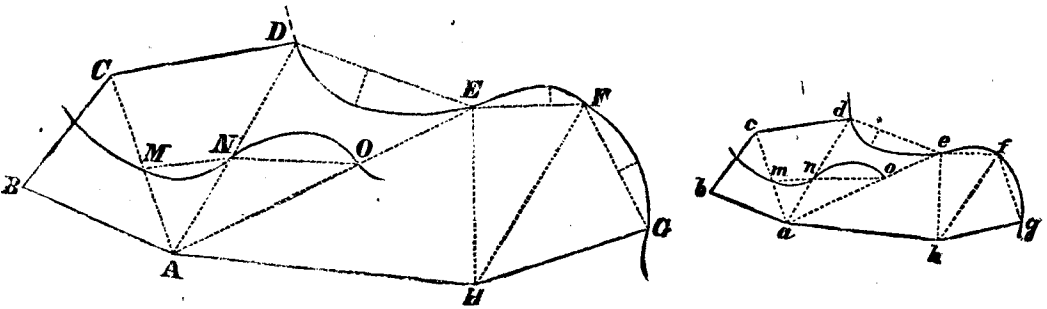


Черт. 195.

$ac... ad, ac, af... kp, kn... ls, lo...$ , представляющие на оригинале расстояния  $AB, AC... AD, AE, AF...$ ,  $KP, KN...$ ,  $LS, LO...$ , уменьшенные в заданное число раз: затем засечками с вершин квадрата или промерами по линиям контуров определяют на копии точки  $m, q, r...$  соответствующие точкам  $M, Q, R...$  поворотов контуров. Наконец, точки копии соединяют от руки в той последовательности, в какой соединены соответственные точки на оригинале. К следующему квадрату переходят не иначе, как окончив перенесение всех контуров предыдущего квадрата. Если нельзя портить оригинал построением на нем сети квадратов, то накладывают на него такую же сеть, построенную только на кальке, которую прикрепляют к оригиналу возможно падежнее. Когда перерисовке подлежит отдельный многоугольник или длинный, растянутый криволинейный контур, то его можно разбивать на треугольники. Положим, что надо перерисовать фигуру  $ABCDGH$  (черт. 196), часть которой между точками  $D$  и  $G$  ограничена кривою линиею. В этом случае на кривой оригинала выбирают две точки  $E$  и  $F$ , соединяют точки  $D, E, F$  и  $G$  прямыми линиями и разбивают данную фигуру диагоналями на треугольники. Перерисовка начинается с одного из средних треугольников, напр.,  $AEH$ , для того, чтобы уменьшить влияние накопления в одну сторону погрешностей построения.

Подобным же образом наносятся и подробности внутри треугольников оригинала, как, напр., линии  $MNO$ . При увеличении данного оригинала перерисовка может сопровождаться значительными неточностями, которые произойдут от увеличения неизбежных погрешностей перенесения и притом во столько раз, во сколько линии копии более линий оригинала. Поэтому при увеличения

плана рекомендуется не перерисовка, а новое составление по тем числовым данным, которые на нем имеются (для чего мензульный планшет, а следовательно, и мензульная съемка, не пригодны).

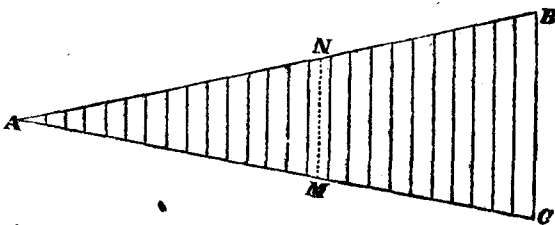


Черт. 196.

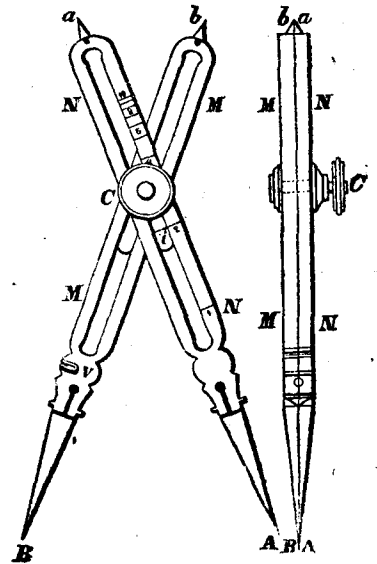
§ 113. Приспособления, употребляемые для перерисовки планов в данном линейном изменении, при геометрическом способе. Эти приспособления—диаграмма или пропорциональный циркуль.

а) Диаграмма состоит из треугольника  $ABC$  (черт. 197), стороны которого  $BC$  и  $AC$  находятся в отношении  $k : o$  (линии копии к линии оригинала). Сторона  $AC$  разбита на части линиями, параллельными стороне  $BC$  и отстоящими друг от друга примерно на миллиметр. Чтобы уменьшить линию оригинала в данном отношении  $k : o$ , берут линию оригинала в циркуль и ставят одну из его ножек в точку  $A$ ; тогда другая ножка, положив, поместится в точке  $M$ , после этого поворачивают циркуль около  $M$  и приближают другую ножку к  $M$  настолько, чтобы она остановилась в точке  $N$ , на линии  $MN$ , параллельной  $BC$ . Растворение  $MN$  ножек циркуля, очевидно, представит длину  $AM$ , уменьшенную в данное число раз, так как отношение

$$\frac{MN}{AM} = \frac{CB}{AC} = \frac{k}{o}.$$



Черт. 197.



Черт. 198.

б) Пропорциональный циркуль<sup>1)</sup> состоит из двух равных между собою ножек, в виде пластинок  $M$  и  $N$  (черт. 198) с продольными в них прорезами; ножки вращаются около общей оси  $C$ , снабженной навинчивающейся на нее гайкой и оканчиваются остриями  $A, B, a$  в  $b$ . Ось  $C$  может быть передвижима вдоль прорезов, если только предварительно сдвинуть вместе ножки и ослабить гайку  $C$  оси. Чтобы во время этого передвижения ножки циркуля не могли скользить одна вдоль другой, на ножке  $M$  сделан небольшой выступ  $V$ , а на ножке  $N$  соответственное углубление.

<sup>1)</sup> Пропорциональный циркуль изобретен Ю. Вьрги (род. в 1552 г., ум. в 1632 г.).



Устройство и употребление пропорционального циркуля основано на том геометрическом начале, что, если для двух пересекающихся линий  $Aa$  и  $Bb$  (черт. 199) имеем  $AC=BC$  и  $Ca=Cb$ , то  $CB:Cb=CA:Ca$ , а потому треугольники  $ABC$  и  $abC$  подобны и отчощение  $Ca:CA=ab:AB=k:o$ , т.е., если  $Ca$  составляет какую-нибудь определенную долю от  $CA$ , напр., если отношение  $Ca:CA$  равно данному отношению  $k:o$ , то ту же долю будет составлять линия  $ab$  от  $AB$ , т.е. отношение  $ab:AB$  тоже будет равно отношению  $k:o$ . Передвинув точку пересечения из  $C$  в  $C'$  так, чтобы  $C'a'=C'b'$ , будем иметь:

$$C'a':C'A'=a'b':A'B$$

и отношение  $a'b':A'B$  уже не будет равно предыдущему отношению  $k:o$ , а какому-нибудь другому  $k':o'$ .

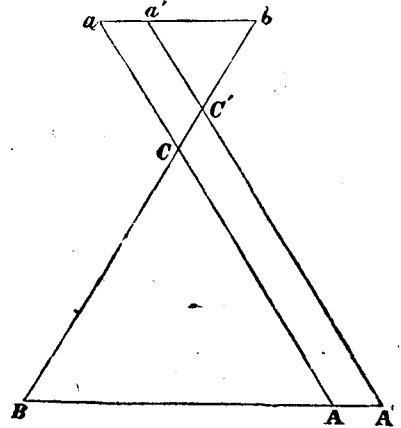
Так как отношение  $CA:Ca$  должно быть равно данному отношению  $k:o$ , то нужно знать то место на ножках циркуля, на которое следует установить его ось  $C$ , чтобы растворение  $AB$  относилось к растворению  $ab$ , как  $k:o$ . Это достигается тем, что на пластинке  $N$  с лицевой ее стороны делают штрихи, подписанные цифрами от 1 до 10 (а иногда и до 12), и вместе с осью  $C$  передвигается указатель  $i$ , который может быть приведен в совпадение с надлежащим штрихом (напр., на штрихе 3, если отношение  $ab:AB$  должно быть равно 1:3).

Назначение мест штрихов, служащих для установки циркуля при уменьшении линий, делается на основании следующего: обозначим длину всей ножки  $Aa$ , которую можно всегда измерить непосредственно, через  $d$ , а части ее  $Ca$  и  $CA$ , соответствующие заданному отношению  $k:o$ , через  $\alpha$  и  $\beta$ , тогда имеем:  $\alpha = d - \beta$  и

$$\frac{\alpha}{\beta} = \text{или} \frac{d - \beta}{\beta} = \frac{k}{o},$$

откуда:

$$\beta = d \frac{o}{o+k} = d \frac{1}{1+\frac{o}{k}}$$



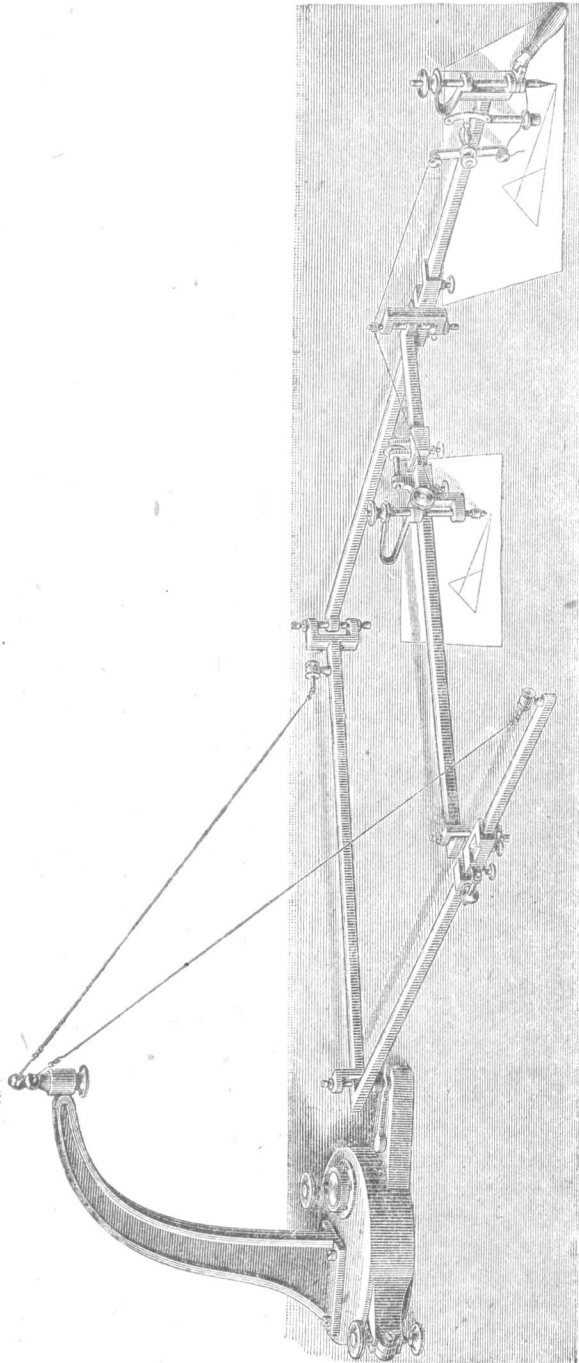
Черт. 199.

Если из  $\beta$  вычтем расстояние указателя  $i$  от центра  $C$ , которое тоже можно измерить непосредственно, то получим место для штриха, соответствующего данному уменьшению.

Иногда, кроме только что указанных штрихов по одну сторону прореза и подписанных словом „Линия“, по другую сторону того же прореза имеются еще штрихи, служащие для вписывания в окружность данного радиуса правильных многоугольников с 5, 7... сторонами и подписанные словом „Круг“. Употребление этих последних штрихов таково: положим, что в окружность данного радиуса надо вписать правильный семиугольник; ставят указатель  $i$  на штрих 7 и делают растворение  $AB$  равным данному радиусу, тогда растворение  $ab$  выразит длину стороны семиугольника.

§ 114. Механический прием перерисовки планов и карт. Пантограф. Более быстрое механическое перерисование фигур как прямолинейных, так и криволинейных, в измененном масштабе достигается крайне простым по устройству прибором—пантографом (всечертящим). Он изобретен иезуитом Христофором Шейнером в 1603 году. В простейшем виде пантограф представляет параллелограмм из четырех линеек (деревянных или металлических) с шарнирами в вершинах параллелограмма. Эти 4 вершины позволяют линейкам параллелограмма изменять взаимное положение, оставаясь неизменными по своей длине. Пантограф одного вида помещается на

роликах (на колесиках), катящихся по плану; в других видах пантографы подвешивают так, чтобы по оригиналу двигалась только одна точка (обводный шпиль), а по копии — другая точка (карандаш) пантографа (черт. 200).



Черт. 200.

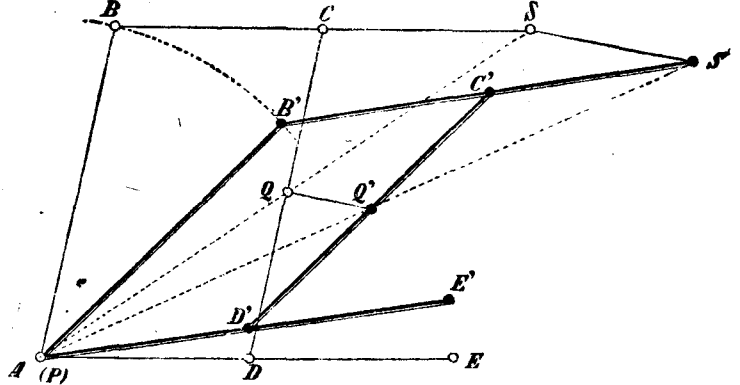
Достигается это тем, что все 4 рычага линейки подвешиваются при помощи двух струн-проволок к вершине изогнутого стержня тяжелой круглой подставки (к клюву журавля), снабженной двумя подъемными винтами и круглым уровнем для правильной установки пантографа. Внизу одной из четырех вершин параллелограмма (на чертеже левой) ввинчен конический стержень, оканчивающийся внизу шариком, вкладывающимся в углубление (место полюса) горизонтального выступа тяжести; стержень застегивается сверху выступа крючком и служит вертикальной осью вращения пантографа, шарик же остается во все время употребления на одном и том же месте, т.е. является неподвижной точкой, почему и называется полюсом. Собственно, осью вращения служит отвесная линия, соединяющая клюв журавля с центром шарика. Во время употребления пантографа верхние поверхности линеек (рычагов) параллелограмма должны быть горизонтальны. Установка рычагов в горизонтальное положение достигается помощью маленького цилиндрического уровня, накладываемого на рычаги, изменением длин проводов (на которых висит система линеек), оканчивающихся у поверхности рычагов особыми вращающимися горизонтальными крючками стерженьками с винтовыми нарезами и с закрепительными при них гаечками. Обводный шпиль, с грушевидною ручкою для передвижения по оригиналу шпиля, помещается на конце одной из двух более длинных линеек (на чертеже справа). На одной из поперечных линеек помещается трубочка с карандашом, под которой подкладывается бумага для копии (на чертеже карандаш находится посредине между полюсом и обводным шпилем). Для того, чтобы карандаш не проводил излиш-

них линий по копии, он двигается в трубочке и от низа карандаша к грушевидной ручке обводного шпиля, через горизонтальный ролик поверх линеек идет тонкая нить, натягивая которую, можно карандаш отнимать от бумаги. Острые

обводного шпилья не касается оргигпала, а подпирается более длинною, чем сам шпилья, гладкою тупою подставочкою (на чертеже левее шпилья), вращающеюся около него, как около вертикальной оси, по кругу небольшого радиуса. Шпилья, карандаш и полюс всегда должны лежать в одной отвесной плоскости.

§ 115. Теория пантографа. Пусть  $ABCSQDA(P)$  (черт. 143) есть горизонтальная проекция первоначального положения 4 линеек пантографа,  $A(P)$ —полюс,  $Q$ —карандаш и  $S$ —обводный шпилья: положим, что обводный шпилья  $S$  переместился по оригиналу из точки  $S$  в точку  $S'$ .<sup>1)</sup> Чтобы начертить расположение линеек пантографа при новом положении  $S$  обводного шпилья. Заметим: 1) что точка  $A(P)$ , как полюс, не меняет своего положения и 2) длины  $AB, BC, CD, BS, CS, CQ$  и  $QD$

не меняются, а потому для получения места вершины  $B'$  достаточно из точки  $A$  провести окружность радиуса  $AB$ , а из точки  $S'$  окружность радиуса  $SB$ . Пересечение окружностей даст точку  $B$ —новое положение шарнира  $B$ . Отложив по линии  $B'S'$  длину  $BC'$ , получим положение  $C'$  для шарнира  $C$ . Наконец, проводя из  $A$  и  $S'$  параллели к прямым  $AB'$  и  $B'C'$ , получим положение вершины  $D$  в точке  $D'$ . Для определения нового положения  $Q'$  карандаша  $Q$  на линии  $C'D'$  отложим от  $C'$  длину  $C'Q' = CQ$ . Вследствие параллельности линеек  $AB$  и  $DC'$ , треугольники  $ABS$  и  $QCS$  подобны, а потому



Черт. 201.

$$\frac{AB}{QC} = \frac{BC}{CS} = \frac{AS}{QS} \dots \dots \dots (I)$$

Заменяя в этой пропорции  $AB$  через  $AB'$

$$\begin{aligned} BS & \text{ " } B'S' \\ QC & \text{ " } Q'C' \\ CS & \text{ " } C'S', \end{aligned}$$

получим:

$$\frac{AB'}{Q'C'} = \frac{B'S'}{C'S'} = \frac{AS}{QS} \dots \dots \dots (II)$$

По условию линия  $AB'$  параллельна  $D'C'$ , т.-е. угол  $AB'S' =$  углу  $DC'S'$ . Вследствие этого можно сказать, что два треугольника  $AB'S'$  и  $Q'C'S'$  имеют по равному углу  $B'$  и  $C'$ , заключенному между пропорциональными сторонами, а потому они подобны, и третьи стороны  $AS'$  и  $Q'S'$ , составляя одну прямую линию  $AQ'S'$ , находятся в том же отношении, что и  $AB'$  с  $Q'C'$  или  $B'S'$  с  $C'S'$ , т.-е.  $A'S' : Q'S' = B'S' : C'S'$ . По равенствам (II) отношение этих последних сторон равно отношению  $AS : QS$  и, следовательно,  $AS' : Q'S'$  так же равно тому же отношению  $AS : QS$ , т.-е. существует пропорция:

$$\frac{AS'}{Q'S'} = \frac{AS}{QS}$$

<sup>1)</sup> На чертеже первоначальное положение линеек пантографа отмечено более тонкими линиями, а конечное—более жирными (двойными) линиями.

Таким образом, условие, что шпиль, карандаш и полюс всегда должны лежать в одной отвесной плоскости или в проекции на бумаге на одной прямой, выполняется и после передвижения шпиля  $S$ . Далее, по чертежу видно, что треугольники  $ASS'$  и  $AQQ'$  имеют по общему углу  $A$ , заключенному между пропорциональными сторонами, а потому они подобны. Из подобия следует, что  $SS'$  параллельна  $QQ'$  и  $SS' : QQ' = AS : SQ$ . Прямая  $SS'$  есть линия оригинала,  $QQ'$  — линия копии, и мы теперь можем сказать, что карандаш чертит линии, параллельные линиям оригинала, иначе говоря, дает фигуры, подобные данным на оригинале. Обозначим постоянные длины  $BS$  и  $AB$  через  $d$  и  $\delta$ , и переменные  $CS$  и  $CQ$ , зависящие от мест  $S$  шпиля и  $Q$  карандаша, через  $x$  и  $y$ . Зная отношение  $\frac{o}{k}$  линии оригинала к линии копии, напр., полагая его = 2, 3, ... или, что то же самое:

$$\frac{k}{o} = \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \dots,$$

можно написать:  $\frac{AQ}{AS} = \frac{k}{o}$  или

$$\frac{AS - QA}{AS} = \frac{QS}{AS} = \frac{o - k}{o}; \dots \dots \dots (III)$$

из равенств же (I) следует:  $\frac{\delta}{y} = \frac{d}{x} = \frac{AS}{QS}$ . (IV)

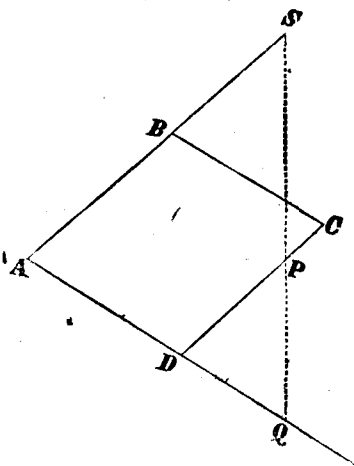
Из равенств (III) и (IV) находим:  $y = \delta \frac{o - k}{o}$  и  $x = d \cdot \frac{o - k}{o}$  (x) (y)

Пусть, напр., дано  $\frac{k}{o} = \frac{2}{3}$ , находим:

$$y = \delta \cdot \frac{3 - 2}{3} = \frac{1}{3} \delta \text{ и } x = \frac{1}{3} d.$$

Для удобства можно брать  $d = \delta$ , тогда  $SC$  и  $CQ$ , т.е.  $x$  и  $y$  также будут равны между собою.

На линейках  $CD$ ,  $AE$  и  $BS$  сделаны деления или круглые отверстия, подписываемые дробями  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{2}{3}$  и т. п., указывающими отношение  $\frac{k}{o}$  (копии к оригиналу).



Черт. 202.

Перед употреблением пантографа шарниры  $C$ ,  $D$  и  $Q$  устанавливают в отверстия с одинаковыми надписями. Если полюс  $P$ , карандаш  $Q$  и шпиль  $S$  поместить согласно чертежу 201, то, меняя места карандаша и шпиля, возможно копии получать в увеличенном виде.

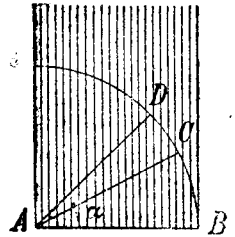
Употребление пантографа. Для самой перерисовки кладут оригинал под обводный шпиль и, прикрепив его к столу (сначала временно), чертят на бумаге копии рамку, стороны которой были бы в данном отношении со сторонами рамки оригинала. Затем передвигают бумагу копии (а иногда и оригинал) до тех пор, пока, при совпадении обводного шпиля с тремя вершинами рамки оригинала, карандаш будет помещаться на соответственных вершинах рамки копии. По совершении этого, оригинал и копия окончательно прикрепляются к столу кнопками настолько крепко, чтобы они не могли изменять положения во время перерисовки.

В этом убеждаются, от времени до времени помещая обводный шпиль опять в три вершины рамки оригинала. Тяжесть журавля бывает иногда недоста-

точно, тогда основание журавля прихватывается особыми скобками (струбцинками) к столу. Если оригинал настолько велик, что не может быть перерисован зараз, го копируют его по частям.

**Замечание.** В последнее время, благодаря тому, что при помощи объектива фотографической камеры легко достигается уменьшение размеров оригинала, для перерисовки карт получила большое применение фотография: при этом с оригинала в масштабе 250 м в сантиметре сперва делают снимок с линейным уменьшением в 3 раза, т.е.  $1\frac{1}{2}$  км в сантиметре, а затем с копии—еще в 2 раза, т.е. уже 3 км в сантиметре.

§ 116 0 выражении неровностей местности штрихами на картах и планах. Если на плане имеются уже горизонтали, то для большей наглядности рельефа местности Леман предложил вычерчивать промежутки между горизонталями штрихами. Главное основание способа Лемана состоит в следующем: Леман предполагает, что изображаемая местность освещена отвесными лучами; вследствие чего легко усмотреть из прилагаемого чертежа 203, что чем больше угол  $\alpha$  наклона линии AC местности, тем слабее она освещена, т.е. тем меньшее количество световых лучей падает на нее, а потому Леман требует, чтобы толщина штрихов или густота теци выражала крутизну ската, и направление штрихов — направление ската. Местности, имеющие углы наклонений в  $45^\circ$  и более, как недоступные для войск, Леман предложил сплошь покрывать тушью. Для местностей менее крутых, для того, чтобы толщина штрихов соответствовала углу наклонения, Леман ввел условие, что толщина штрихов должна относиться к промежутку между штрихами, как угол наклонения линии местности к дополнению его до  $45^\circ$ .

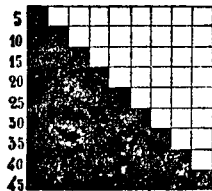


Черт. 203.

Кроме того, все углы наклонения до  $45^\circ$  Леман разделил на 8 разрядов, по  $5^\circ$  в каждом. На основании сказанного будем иметь:

для $5^\circ$ ,	толщина штрихов	относится к промеж. между ними,	как	$5 : 40 = 1 : 8$
" $10^\circ$ ,	"	"	"	$10 : 35 = 2 : 7$
" $15^\circ$ ,	"	"	"	$15 : 30 = 3 : 6$
" $20^\circ$ ,	"	"	"	$20 : 25 = 4 : 5$
" $25^\circ$ ,	"	"	"	$25 : 20 = 5 : 4$
" $30^\circ$ ,	"	"	"	$30 : 15 = 6 : 3$
" $35^\circ$ ,	"	"	"	$35 : 10 = 7 : 2$
" $40^\circ$ ,	"	"	"	$40 : 5 = 8 : 1$
" $45^\circ$ ,	"	"	"	$\frac{45}{0} = \infty$

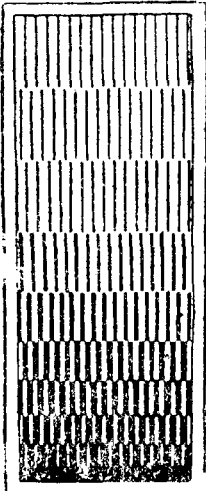
Из этой таблицы видно, что если на бумаге представим себе место шириною в девять каких-нибудь единиц, то, для покатостей  $5^\circ$ , одна единица должна быть покрыта тушью, а 8 единиц—непокрытыми (черт. 204); для покатости в  $20^\circ$  на том же месте бумаги 4 единицы должны быть покрыты тушью, а 5 единиц остаются непокрытыми и т. д., или иначе, для покатостей  $5^\circ$  промежуток между двумя штрихами = 8 пятиградусным штрихам, а толщина штриха одной единице. На этом начале и построена шкала штрихов Лемана. Она изображена на чертеже 205. Чтобы направление штрихов выражало направление скатов, для этого штрих должен ставиться перпендикулярно к горизонталям. Вследствие этого, если покатость представляет наклонную плоскость,



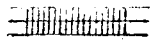
Черт. 204.

то горизонталями она изобразится в виде прямых параллельных линий и штрихами в виде прямых, перпендикулярных к горизонталям (черт. 206). Если покатость имеет форму выпуклую, как, напр., в горных хребтах, или

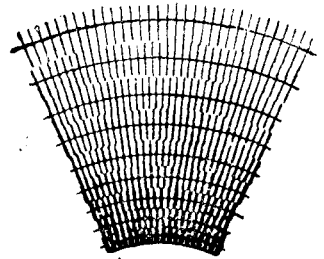
вогнутую как, напр., в лощинах, то штрихами эти формы неровностей земной поверхности представляются в виде кривых линий: для хребтов—расходящихся от верхних своих концов к нижним (черт. 207) а для лощин—сходящихся к нижним горизонталей (черт. 209 и 210). Седловина изображена штрихами на чертеже 211. При черчении карт штрихами принято было, при масштабе 50 саж. в дюйме, помещать на одном дюйме 15 штрихов пятиградусных, при масштабе 100 саж.—20 штрихов; при масштабе 150 саж.—30 штрихов, при масштабе 250 саж.—35 штрихов и при масштабе 500 саж.—40 штрихов.



Черт. 205.



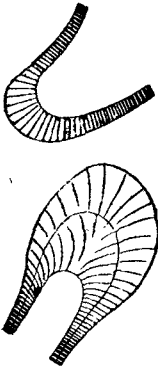
Черт. 206.



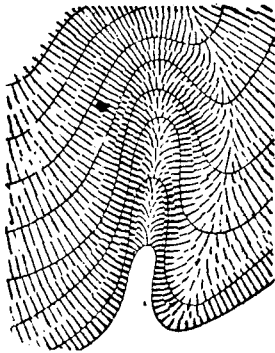
Черт. 207.

Шкала штрихов Военно-топографического Отдела Главного Штаба. Упрек, который можно сделать шкале Лемана, состоит в том, что в ней слишком много подразделений для покатостей крутых и мало для покатостей отлогих. Действительно, для покатостей до  $10^\circ$  только два отдела, между тем в СССР чаще встречаются покатости отлогие, до  $10^\circ$ .

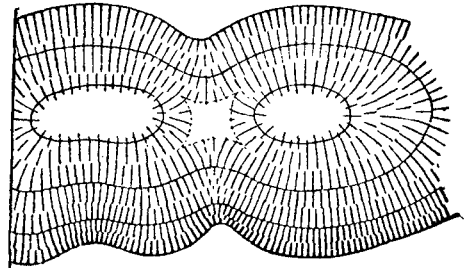
Лемана более пригодна для стран гористых, как, напр., для Саксонии, называемой немецкой Швейцарией. Глаз человека иначе различает покатости отлогие, чем крутые и недоступные. Отлогие покатости чаще встречаются и имеют большее влияние на передвижение отдельных лип как пешком так и в экипаже. Недостаток шкалы Лемана побудил сержанта Болотова,



Черт. 208 и 209.



Черт. 210.



Черт. 211.

а затем Военно-топографический Отдел Главного Штаба заменить шкалу Лемана такою новою шкалою, где было бы больше подразделений для отлогих покатостей. В основание шкалы штрихов Военно-топографическим Отделом принято следующее положение: трудность восхождения на какую-нибудь покатость пропорциональна  $\text{tg}$  угла наклона этой покатости. Так, если трудность восхождения на одну покатость обозначим через  $K$ , а трудность восхождения на другую через  $K'$ , то углы наклона должны быть определены так, чтобы они удовлетворяли пропорции:

$$K' : K = \text{tg } \alpha' : \text{tg } \alpha.$$

Наименьшая покатость, различаемая в шкале Военно-топографического Отдела, есть  $1^\circ$ , но  $\text{tg } 1^\circ = \frac{1}{57}$ , наибольший же угол наклона этой шкалы равен  $45^\circ$ ,

а  $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$ . Между этими пределами вставляются еще 8 разрядов, так что всех разрядов в шкале Военно-топографического Отдела Главного Штаба — десять. Десять разрядов этой шкалы должны быть таковы, чтобы  $\operatorname{tg}$ -ы их составили следующую геометрическую прогрессию:

$$\div \div \operatorname{tg} 1^\circ : a : b : c : d : e : f : g : h : \operatorname{tg} 45^\circ.$$

Определим теперь 8 разрядов шкалы, заключаясь между  $1^\circ$  и  $45^\circ$ , другими словами, определим знаменатель прогрессии, для чего обратимся к общей формуле последнего члена геометрической прогрессии. Если  $a$  — первый член прогрессии,  $\pi$  — последний,  $q$  — знаменатель,  $n$  — число членов, то имеем:

$$\pi = aq^{n-1},$$

откуда:

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{\pi}{a}};$$

делая здесь  $n = 10$ ,  $\pi = \operatorname{tg} 45^\circ$ ,  $a = \operatorname{tg} 1^\circ$ , и вычисляя  $q$ , получим:

$$q = 1,568.$$

Зная теперь знаменатель  $q$ , определим все промежуточные члены прогрессии:

$$\div \div \frac{1}{17} a : b : c : d : e : f : g : h : 1,$$

а по ним определим и соответствующие им углы наклоения. Вот значения величин этих углов:

Углы накл.:  $1^\circ$ ,  $1\frac{1}{2}^\circ$ ,  $2\frac{1}{2}^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $6^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $22^\circ$ ,  $33^\circ$ ,  $45^\circ$ .

В системе Болотова углы были даны произвольно: но они очень близко подходят к системе Главного Штаба; вот эти углы:  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $4^\circ$ ,  $7^\circ$ ,  $11^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $23^\circ$ ,  $32^\circ$ ,  $45^\circ$ . При сравнении ряда Болотова с рядом Лемана видим: 1) что он имеет тоже 9 разрядов и то же отношение между толщиной штрихов и промежутков между ними, а 2) что для покатости, чаще встречаемой в СССР, и именно, для покатости до  $10^\circ$ , в шкале Лемана 2 разряда, а в шкале Болотова — 5, в шкале же Военно-топографического Отдела их 6.

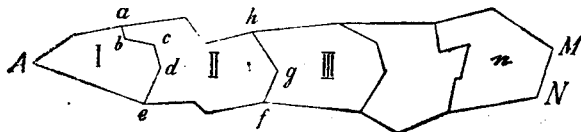
Относительно самого черчения штрихов по шкале В. Т. О. принимается следующее: 1) штрих ставится перпендикулярно к горизонталям; 2) все покатости до 6-й включительно вычерчиваются тонкими штрихами, с постепенно уменьшающимся расстоянием между ними и при том так, чтобы на каждые 5 штрихов высшего разряда приходилось 4 низшего разряда; 3) при покатости в  $10^\circ$  штрихи утолщаются и оставляется менее расстояния между штрихами, чем в предыдущей; 4) при покатостях в  $15^\circ$  толщина штриха равна промежутку между штрихами; 5) при покатостях в  $22^\circ$  толщина штрихов более ширины промежутков; 6) при покатостях в  $33^\circ$  толщина штрихов должна быть такова, чтобы на каждые 5 штрихов 22-й покатости приходилось 4 штриха 33-й покатости; 7) покатости выше  $45^\circ$ , как недоступные ни для одного рода оружия, покрываются сплошь тушью.

Из всего этого видно: 1) что шкала штрихов Военно-топографического Отдела, как имеющая больше подразделений для покатостей отлогих, более удобна для СССР, 2) по покатости, вычерченной этими штрихами, можно определить угол наклоения более точно, чем это возможно при шкале Лемана. К недостаткам шкалы Болотова и В. Т. О. Отдела надо отнести то, что они дают слишком большие тени для малых покатостей.

## ГЛАВА IX.

### Общее понятие о тригонометрической сети.

§ 117. Значение триангуляции для съемок. Если на местности приходится последовательно снимать один участок за другим, а затем накладывать их на бумагу для получения общего плана снимаемой местности, то при построении плана нельзя допустить приема прикладывания фигур участков одной к другой в том порядке, как они снимались и как они располагаются на местности, так как такой способ съемки и составления плана приведет нас к постепенному накоплению неизбежных погрешностей, получающихся как при измерении, так и при построении на бумаге линий и углов. Действительно, на общем плане линия  $abcde$  (черт. 212), общая двум участкам, I и II-му, заняла бы не истинное



Черт. 212.

свое положение, а то, которое получилось бы для нее после увязки вычисления и накладки фигуры I. Прикладывая к ошибочному положению линии  $abcde$  фигуру второго полигона, мы получаем положение линии  $hgf$ , содержащее не только ошибки

измерения II полигона и ошибки его построения на бумаге, но еще и ошибки I полигона. Другими словами, линия  $hgf$  отодвинется значительно далее от своего истинного положения, чем в том случае, когда II полигон обходится и строится на бумаге независимо от I. Переходя последовательно от второго полигона к III, от III к IV и т. д., все далее и далее от начальной точки  $A$ , мы с каждым полигоном все более и более уклоняемся от истинного положения и, наконец, когда достигнем стороны  $MN$  последнего  $n$ -ого полигона, то должны, конечно, признать, что расстояние  $AM$  и азимут его ( $AM$ ) будут сильно отличаться от истинной длины и истинного положения линии  $AM$  относительно стран света.

Между тем, нам могли бы предложить задачу, в которой вопрос о длине и азимуте линии имел бы первостепенное значение, как, напр., — проложить протек или туннель между двумя удаленными точками  $A$  и  $M$ , ведя работу с обоих концов линии.

Из сказанного можно заключить, что способ съемки постепенным переходом от частного к общему крайне несовершенен, и от него, при работах на большом пространстве, следует отказаться. Поэтому при съемках больших районов признают следующее правило: „работать постепенным переходом от общего к частному“. Для достижения этого необходимо на снимаемом пространстве сперва определить систему основных опорных точек съемки, равномерно размещенных по всей снимаемой местности на возможно большем расстоянии друг от друга, а затем производить детальную съемку между опорными точками. Намечая опорные точки, следует, однако, соблюдать условие, чтобы из каждой точки можно было видеть не менее двух, ей предшествующих, и хотя одну, ей последующую. При таком условии число определяемых основных точек сведется к  $\text{minimum}$ у, а следовательно, число всех измерений и связанных с ними неизбежных случайных ошибок (погрешностей) будет наименьшим.

Опорные пункты съемки стремятся с 1615 года (со времен голландского ученого геометра Виллеброта Снеллиуса) делать вершинами треугольников воображаемой сети, покрывающей все снимаемое пространство. Такой способ составления сети треугольников для основных точек, в целях будущей съемки подробностей на местности, принято называть триангуляцией. Сеть называют тригонометрической в том случае, если взаимное положение



основных точек определяется: 1) длиной одной, измеренной на местности, стороны какого-либо треугольника, 2) измерением градусной величины всех углов отдельных треугольников, входящих в сеть, и 3) вычислением по формулам тригонометрии длин сторон треугольников и их азимутов, а также и координат их вершин.

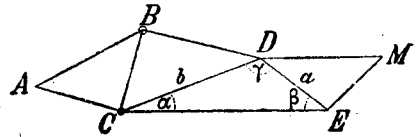
Тригонометрическая сеть составляется не только для более точной съемки подробностей, но обыкновенно и в тех случаях, когда идет речь о длине дуги меридиана или параллели земной поверхности, с целью определить общий вид земли.

Мы будем предполагать, что наша тригонометрическая сеть исключительно составляется для избежания накопления погрешностей при детальной съемке местности. В всех случаях, когда основные пункты не могут быть сделаны вершинами треугольников, их делают вершинами многоугольников (полигонов), и тогда сеть основных точек носит название полигонометрической сети.

Итак, если от точки  $A$  (черт. 213) мы желаем перейти к достаточно удаленной (на несколько верст) от нее точке  $M$ , то стараемся на местности выбрать ряд промежуточных между ними точек  $B, C, D, E, \dots$  так, чтобы образовалась сеть треугольников  $ABC, DBC, CDE \dots$

Число точек должно быть наименьшее, длины сторон должны быть наибольшими.

Поэтому, на практике, чтобы ускорить работу и удовлетворить требованиям наибольшей площади и равномерности распределения ошибок, наивыгодными треугольниками признаются равнорторонние.



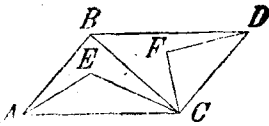
Черт. 213.

§ 118. Размеры треугольников сети, деление треугольников сети на разряды (классы) и перечень работ на триангуляции. Измерение углов треугольников сети требует, понятно, хорошей взаимной видимости вершин треугольников (точек сети). С увеличением же длины сторон треугольников увеличивается вредное влияние боковой рефракции на измерение горизонтальных углов, заключающееся в том, что линии визирования уклоняются от истинного направления в горизонтальной плоскости, претерпевая преломление в слоях воздуха, окружающих вершины треугольников (сигналы). Принимая во внимание не поддающееся точному определению влияние боковой рефракции на измерение горизонтальных углов, обыкновенно и не стараются доводить длины сторон треугольников до очень больших размеров. В среднем, величина стороны считается равной 25 километрам, наименьшая 3 км. В гористых местностях, где воздух чист, стороны достигают наибольшей длины. Иногда местные условия (лесные пространства, постройки, рельеф местности и т. п.) не позволяют строго держаться указанных норм, и отклонения могут быть как в углах, так и сторонах; однако, треугольники с углами, меньшими  $30^\circ$  и большими  $150^\circ$ , допускаются лишь в виде исключения.

Знаменитый русский геодезист В. Струве показал, между прочим, что достоинство треугольника складывается не только из возможно идеальной формы треугольника, но и из тщательности и точности измерения углов треугольника сети, и нередко треугольник, имея более идеальную теоретическую форму, страдает тем, что средняя ошибка измерения угла является у него большею, чем в разностороннем треугольнике. Поэтому, там, где по местным условиям нарушается идеальная форма треугольника, она должна быть восполнена точным измерением его углов.

Разделение точек сети на разряды. Так как для детальной съемки бывает недостаточно редко расставленных точек сети, то в целях съемки сеть пополняют и делают её гуще, а для этого на сторонах больших треугольников или, как их называют, первоклассных треугольников, со сторонами в 25 км

которые всего пролагаются при „градусных измерениях“ вдоль дуг меридианов и параллелей, стремятся построить второй ряд равнобедренных треугольников  $AEC$ ,  $DFC$  (черт. 214), со сторонами от 10 до 20 км; это второклассные треугольники. Соответственно этому, и точки  $E$  и  $F$  называют точками второго разряда. На сторонах треугольников второго разряда строят треугольники третьего разряда, со сторонами от 5 до 10 км и т. д. В треугольниках четвертого разряда стороны доходят до 3 км и новые точки определяются засечкам (вперед или назад), т. е. измерением только двух углов треугольника. С сетями низших разрядов III-го, IV-го и приходится чаще иметь дело в пределах действий Низшей Геодезии.



Черт. 214.

В СССР наиболее часто встречаемые стороны больших треугольников колеблются от 20 до 30 км. Наибольшая сторона имеется в закавказской триангуляции—сторона Годореби-Эльборус = 240 км.

**Перечень работ при составлении триангуляции.** Отдельными действиями при составлении сети являются:

- 1) осмотр (рекогносцировка) местности и выбор места для точек сети и для базиса;
- 2) обозначение точек сети под условием, чтобы из каждой точки были видны другие или, так назыв., постановка знаков (сигналов) сети;
- 3) измерение базиса;
- 4) измерение углов треугольников сети и приведение измеренных углов к центрам сигналов (центрировки и редукции);
- 5) ориентирование сторон сети относительно стран света или, иначе, определение азимута начальной стороны;
- 6) вычисление сети, т. е. решение треугольников, с целью нахождения длин сторон, вычисление азимутов остальных сторон сети и, наконец, вычисление координат пунктов (точек) сети.

**§ 119. Осмотр местности** делается с целью выбора места для точек сети и места для базиса; он производится с помощью зрительной трубы, буссоли и приближительной карты местности, на которой наносятся предполагаемые точки сети по измеренным буссолью углам. В случае отсутствия карты составляется предварительный чертеж, на котором длина предполагаемых сторон наносится или приблизительно на-глаз, или из расспросов местных жителей о приблизительном расстоянии от одной избранной точки местности до другой.

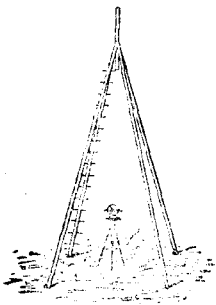
**§ 120. Сигналы.** Точки сети для видимости их на большом расстоянии друг от друга выбираются, по возможности, на возвышенных местах; они обозначаются или естественными сигналами (колокольни церквей, остроконечные башни, купола зданий и т. п.), или же искусственно построенными знаками, так назыв., тригонометрическими сигналами.

Эти сигналы, обыкновенно, строятся так, чтобы визирные линии проходили по возможности выше над почвою; они представляют из себя, с одной стороны, надземное сооружение, а с другой, закладываемый на почву центр, для сохранения точек навсегда. Надземный тригонометрический знак всегда имеет правильный симметричный вид, при чем осью симметрии служит вертикальная прямая, проходящая через вершину сигнала—вертикальное бревно (бабку).

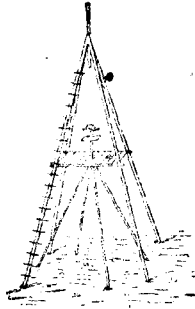
Центры закладываются из камня или кирпича на такой глубине, чтобы их не могли повредить посторонние люди. Для точек, определяемых засечкою вперед, ставят вехи (черт. 218), для других же точек на местности открытой достаточно построить простую пирамиду (черт. 215) и наблюдать с земли; если же горизонт закрыт,—ставят двойную пирамиду (черт. 216) или сигнал (черт. 217). Высота простой пирамиды колеблется от 4 до 8 метров, двойной—от 6 до 12 м, высота сигналов колеблется от 10 м и доходит до 45 м в многорядных сигналах,

Сбоку пирамиды нередко прибавляется лестница, по которой взбираются к вершине сигнала (визирному цилиндру—бабке) при постройке сигнала рабочие; во время наблюдений по ней поднимаются наблюдатель и инструмент; при высоких сигналах инструмент поднимается на верхнюю площадку сигнала на веревках по блоку.

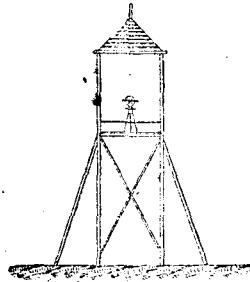
Угломерный инструмент во время наблюдений с простых пирамид, в тех случаях, когда он отличается большими своими размерами и тяжестью, помещается и устанавливается на каменном или массивном деревянном столбе, возводимом или под самой пирамидой, или же в недалеком от нее расстоянии. В последнем случае измеренные углы должны быть путем особого вычисления приведены к центру сигнала, т.-е. к измеренным углам нужно найти поправки



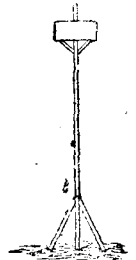
Черт. 215.



Черт. 216.



Черт. 217.



Черт. 218.

Для приведения углов к вершине сигнала нужно, хотя приблизительно, знать длины сторон треугольников. Поэтому, сперва (предварительно) вычисляют длины сторон по приближенным (измеренным) значениям углов.

§ 121 Измерение углов. Для измерения углов сети употребляются более совершенные угломерные инструменты, а именно—большие повторительные теодолиты и универсальные снаряды; точность отсчитывания по их верньерам равна  $10''$ . Нередко верньеры заменяются более совершенными приспособлениями—микроскоп-микрометрами: точность отсчета по ним достигает  $2''$  непосредственно и  $0,2''$ —при оценке на-глаз. Употребляемые для измерения углов тригонометрической сети инструменты имеют почти те же составные части, что и малые теодолиты, но, будучи изготовлены с большею тщательностью, имеют большую плавность и равномерность движений различных частей и отличаются, главным образом, от малых теодолитов более совершенным устройством всех частей: лимба, осей, зрительных труб, уровней, а особенно вертикального круга, снабженного уровнем на алидаде и имеющего 4 верньера, точность которых равна точности верньеров горизонтального лимба.

Углы треугольников 1-го разряда измеряются, напр., двенадцать раз каждый (находятся из 12-ти приемов), углы треугольников 2-го разряда—девятью приемами и т. д.

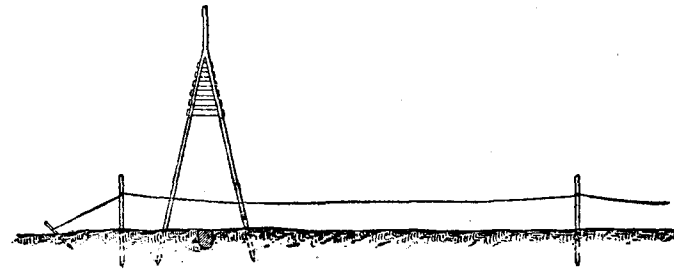
При наблюдении числовых величин углов в треугольниках высших (1-го и 2-го) разрядов для увеличения точности отсчитывания отдельных направлений употребляются универсальные снаряды и теодолиты, снабженные вместо верньеров микроскопами. В этих инструментах может вовсе не быть алидадного круга, а следовательно, и вредного трения краев алидады о лимб, от которого, при вращении алидады, обыкновенно и происходит увлечение алидадой за собою лимба.

• § 122. Измерение базиса обыкновенно производится особыми приборами со всевозможною тщательностью и со старанием свести ошибки измерения к возможному минимуму. Когда же этих приборов налицо нет, то довольствуются простейшим приемом определения вероятнейшей длины базиса, который заклю-

чается в многократном измерении его стальной лентой, для чего он предварительно провешивается, а длина ленты сличается с длиной нормальной ленты.

В триангуляциях, служащих для нужд съемок хозяйственных и технических, вполне можно довольствоваться способом измерения базиса деревянными жезлами по бичеве, предложенным в 1836 году В. Струве в впервые примененным при определении разности уровней Черного и Каспийского морей. Мерные деревянные жезлы имеют при этом металлические оковки по концам и по середине; длина жезла равна трем метрам.

**Способ Струве.** Он основан на измерении длины бичевы, натянутой вдоль базиса. На местности выбирают гладкую, по возможности ничем не пересеченную, открытую и горизонтальную полосу, и на ней намечают начало и конец базиса большими вежами или, еще лучше, пирамидками, с зарытыми под ними в землю камнями, незначительно выступающими над ее поверхностью, как это



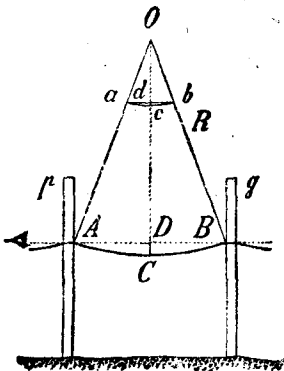
Черт. 219.

видно из черт. 219. Самый способ измерения слагается из следующих отдельных действий: 1) провешивания линии базиса, 2) натягивания бичевы и придания ей по возможности линии и того же наклона (выравнивание узлов), 3) измерения длины бичевы и 4) определения наклона линии базиса к горизонту.

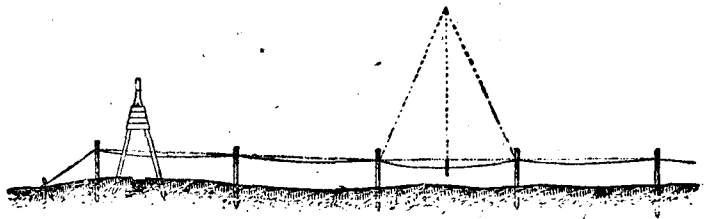
Вешение линии базиса начинают с дальнего конца с помощью бинокля или зрительной трубы.

Линию узлов устанавливают по одной прямой, хотя и наклонной к горизонту, но при том на такой высоте от земли, чтобы бичева была доступна для измерения с земли; самая установка узлов на одну прямую делается с помощью последовательного наведения горизонтальной нити зрительной трубы теодолита, установленного около одной из пирамид, на все вежи, начиная с дальней.

Вследствие веса бичевка займет в каждом створе двух веж положение  $ACB$  (черт. 220) некоторой кривой и в общем базисе примет вид, указанный на чертеже 221. Наклон линии базиса, смотря по местным условиям, иногда приходится менять в одной или двух точках



Черт. 220



Черт. 221.

базиса. Измерение базиса делается по дугам кривых, образуемых бичевкою, деревянным жезлом, длина которого предварительно определяется на компараторе по известной длине нормальной меры.

Когда измерение подойдет к концу базиса и на бичевку спроектируют теодолитом второй конец базиса, то расстояние между проекцией конца базиса и последнею нарезкою, сделанною на бичевке у конца жезла, переносят на жезл,

делая на нем соответствующие нарезки. Перенесенный на жезл промежуток носит название „остаток базиса“, и его измеряют штанген-циркулем.

Определив длину каждой кривой, измеряют стрелку  $CD$  каждой дуги.

Измерения делаются небольшою линейкою, разделенною на миллиметры. Один наблюдатель держит глаз у одной отметки  $A$  и смотрит по направлению к другой отметке  $B$  (смотрят иногда с узла на узел), а другой, став наглаз в середине  $C$  дуги  $AB$ , держит у  $C$  отвесно линейчку и подымает или опускает ее до тех пор, пока нуль ее, стоящий вверху, придется на линию  $AB$  что и удостоверяет смотрящий с узла на узел наблюдатель возгласом „есть“. В этот момент держащий линейчку прочтет длину стрелки  $CD = b$  и продиктует ее для занесения в журнал наблюдений.

§ 123. Вычисление длины базиса. Каждую дугу измеренной кривой считают за дугу  $a$  круга радиуса  $R = OB$ , и по длине  $a$  и размеру  $b$  стрелки вычисляют длину  $h$  хорды  $AB$ .

Если мы составим разность  $x$  между длиной дуги  $a$  и хордою  $h$ , то она будет

$$x = a - h = a - 2R \cdot \sin \frac{a}{2R} \dots \dots \dots (x)$$

Если затем величина  $x$  будет нами найдена, то, разумеется, вычитая ее из  $a$ , найдем  $h$ :

$$a - x = a - (a - h) = h.$$

Отсюда понятным становится, что вся длина  $l$  базиса найдется, если из суммы всех измеренных дуг  $a$  вычтем сумму поправок  $x$ , т.е.

$$l = \Sigma a - \Sigma x.$$

Окончательное значение поправки  $x$  имеет следующий вид:

$$x = \frac{8b^2}{3a} \text{ )} \dots \dots \dots (x'')$$

§ 124. Окончательное вычисление сети. Приведа углы к центру сигналом и получив окончательные значения для углов сети, по найденным углам вычисляются длины сторон, а затем и азимуты сторон треугольников сети. Здесь в начальной точке, в которой был определен азимут астрономически для одной из сторон, найдутся азимуты для остальных сторон, сходящихся в начальной точке, путем сложения или вычитания углов треугольников с найденным азимутом.

Азимуты остальных сторон найдутся по формуле:

$$a_n = a_{n-1} + 180 - \text{внутренний угол.}$$

§ 125. Вычисление координат точек сети. Имея азимуты  $a$  и длины  $d$  сторон сети, по формулам

$$\Delta x = d \cdot \cos a$$
$$\Delta y = d \cdot \sin a,$$

можно вычислить приращения координат для всех точек сети, а затем, приняв одну из точек за начало координат, вычислить и самые координаты точек сети, суммируя найденные приращения, а именно по формулам:

$$x_n = \Sigma \Delta x$$
$$y_n = \Sigma y \Delta.$$

Очевидно, что координаты каждой точки необходимо вычислить для контроля не менее, как по координатам двух с ней соседних точек.

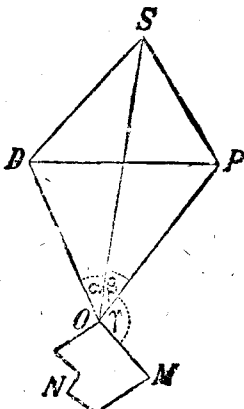
§ 26. Пользование тригонометрическою сетью для съемок. Пунктами тригонометрической сети пользуются как во время угломерной, так и при производстве мензульной съемки.

1) Выводится из уравнения цепной линии.

При мензульной съемке, основанной на тригонометрической сети, накладываются на отдельные мензульные листы точки сети по их координатам, расстояние между двумя нанесенными на планшет пунктами тригонометрической сети принимается за базис, по которому и составляется геометрическая сеть для съемки подробностей. Составляя геометрическую сеть и определяя ее пункты засечками (прямой и обратной) стараются, где это только возможно, прежде всего сделать засечки по тригонометрическим пунктам, положение которых уже имеется на мензуле, а затем уже пользоваться определенными точками геометрической сети. При съемке контуров, если точка стояния с мензулой (станция) не представляет собою опорной точки, т.е. пункта тригонометрической или геометрической сети, положение ее определяется или обратной засечкой, или по задаче Платона, при чем пользуются предпочтительно пунктами тригонометрической сети. Если станция взята по местным условиям вблизи пункта сети, то стремятся проверить положение станции промером стальной лентой до пункта сети.

Съемка участка угломерным инструментом будет основана на предварительно составленной тригонометрической сети, если работа начинается и оканчивается привязкою к пунктам сети точек окружной границы участка. Привязать точку окружной границы к сети значит найти ее координаты относительно осей координат сети. Координаты привязанных точек <sup>1)</sup> не подлежат изменению, координаты же всех промежуточных между ними точек окружной границы вычисляются в зависимости от координат привязанных.

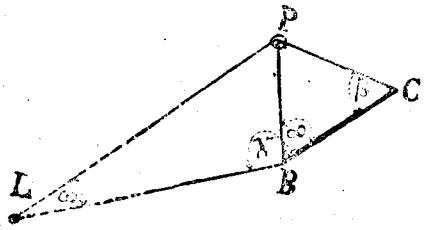
Привязка к пунктам тригонометрической сети делается или помощью простых промеров, если точка сети незначительно удалена от привязываемой, или на основании задач Платона и Ганзена.



Черт. 222.

Способ примеров состоит в том, что в пункте *O* (черт. 222) окружной границы участка *OMN* измеряют прямой угол  $\gamma$ , а в пункте *P* сети подобный же угол *OPS* или *OPD* и, кроме того, измеряют длину прямой *OP*. Если прямую положить невозможно, то прокладывают полигонный ход между точками *O* и *P* с вышеуказанными прямыми углами в точках *O* и *P*.

Если в пункт *P* сети встать нельзя, то близ него избирают вспомогательную точку *B* (черт. 223) и по координатам точек *P* и *L* сети, а также по измеренным



Черт. 223.

базису *BC* и углам  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  вычисляют координаты точки *B*. Такой прием носит иногда название перенесения или передачи координат с вершины сигнала на землю.

Пусть координаты точки *P* даны:  $x_p, y_p$

„  $x_p, y_p$

а координаты точки *B* ищутся:  $x_b, y_b$

Они будут:  $x_b = x_p + PB \cdot \cos (PB)$   
 $y_b = y_p + PB \cdot \sin (PB)$

<sup>1)</sup> Вычисленные из привязки.

Точка  $L$  предполагается видимой из точки  $B$ . Определим длину  $BP$  и азимут  $(LB)$ .

Углы  $\alpha$  и  $\beta$  измеряют при концах такого базиса  $BC$ , для которого они приблизительно равны  $60^\circ$ ; тогда из треугольника  $PBC$  находят искомое расстояние  $PB$ ; оно будет

$$PB = BC \cdot \frac{\sin \beta}{\sin (\alpha + \beta)}.$$

Азимут

$$(PB) = (PL) - LPB = (PL) - (180^\circ - (\gamma - \alpha) - \omega);$$

здесь азимут  $(PL)$  вычисляется по формуле:

$$\operatorname{tg} (PL) = \frac{y_l - y_p}{x_l - x_p},$$

а угол  $\omega$  найдется из треугольника  $BPL$ , в котором имеем

$$PB : PL = \sin \omega : \sin (\gamma - \alpha);$$

откуда

$$\sin : \omega = (PB : PL) \times \sin (\gamma - \alpha);$$

или, по малости  $PB$  сравнительно с  $PL$ , полагаем:

$$\sin \omega = \omega' \sin 1'$$

и находим:

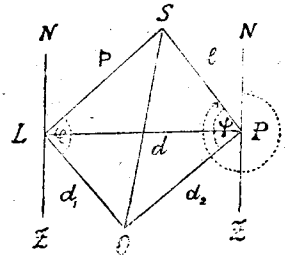
$$\omega' = (PB : PL) \times \frac{\sin (\gamma - \alpha)}{\sin 1'}.$$

Проверкой для вычисленных координат  $x_b$  и  $y_b$  служит  $(LB)$ , который вычислится по формуле:

$$\operatorname{tg} (LB) = \frac{y_b - y_l}{x_b - x_l}, \text{ при чем должно быть } (LB) - (LP) = \omega.$$

Когда с земли нельзя измерить угла  $\gamma$  или, все равно,  $(\gamma - \alpha)$ , а это иногда имеет место при съемке городов, то измеряют на окне колокольни угол и путем вычисления поправки приводят его к вершине  $P$  сигнала, а затем уже по приведенному углу  $LPB$  находят азимут:

$$(PB) = (PL) - LPB.$$



Черт. 224.

§ 127. Задача Патемота. (Аналитическое решение). Аналитическое решение задачи Патемота состоит в определении координат 4-й точки  $O$ , относительно тех же осей координат, относительно которых даны координаты трех данных точек  $S, L$  и  $P$  (черт. 224), после того как в четвертой точке местности тщательно измерены два угла  $\alpha$  и  $\beta$ , вполне определяющие положение точки  $O$  относительно трех данных. Обозначим координаты данных точек через  $x$  и  $y$  с соответственными указателями  $s, l$  и  $p$ . На основании того, что координаты последующей точки равны координатам точки предыдущей плюс приращение координат для последующей линии, можем написать:

$$x_0 = x_l + \Delta x_l = x_p + \Delta x_p \dots \dots \dots (1)$$

$$y_0 = y_l + \Delta y_l = y_p + \Delta y_p \dots \dots \dots (2)$$

где

$$\Delta x_l = LO \cdot \cos (LO) \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta y_l = LO \cdot \sin (LO) \dots \dots \dots (4)$$

$$\Delta x_p = PO \cdot \cos (PO) \dots \dots \dots (5)$$

$$\Delta y_p = PO \cdot \sin (PO) \dots \dots \dots (6)$$

Рассматривая выражение (3), (4), (5), (6), видим, что в них входят неизвестными длины линий  $PO$  и  $LO$  а азимуты  $(PO)$  и  $(LO)$  этих направлений; займемся определением величин этих неизвестных; для этого обозначим угол  $SLO$  через  $\varphi$  и угол  $SPO$  через  $\psi$ , а затем заметим, что азимут линии  $LO$  найдется по азимуту линии  $LS$  и по углу  $\varphi$ , а азимут линии  $PO$  — по азимуту линии  $PS$  и углу  $\psi$ . Действительно, принимая линию  $NS$  за направление меридиана, мы можем написать два равенства

$$(LO) = (LS) + \varphi \dots \dots \dots (7)$$

$$(PO) = (PS) - \psi \dots \dots \dots (8)$$

где  $\varphi$  и  $\psi$  пока неизвестны. Выведем формулы для определения расстояний  $LO$  и  $PO$ ; на черт. 22+ они обозначены через  $d_1$  и  $d_2$ ; для расстояний  $SO$ ,  $SL$  и  $SP$  введем обозначения  $SO = d$ ,  $LS = p$  и  $PS = l$ ; из треугольников  $OLS$  и  $SOP$  следует, что:

$$\frac{p}{d_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \varphi)}; \text{ откуда } d_1 = p \cdot \frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (9)$$

$$\frac{l}{d_2} = \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \psi)} \dots \dots \dots d_2 = l \cdot \frac{\sin(\beta + \psi)}{\sin \beta} \dots \dots \dots (10)$$

В выражениях (9) и (10) вошли измеренные на местности углы  $\alpha$  и  $\beta$  и опять неизвестные —  $\varphi$  и  $\psi$ . Что же касается до длины линий  $LS$  и  $P$  и азимутов  $(LS)$  и  $(PS)$ , то вычисление их производится по следующим формула

$$\text{tg}(LS) = \frac{y_s - y_l}{x_s - x_l}, \quad \text{tg}(PS) = \frac{y_s - y_p}{x_s - x_p} \dots \dots \dots (I)$$

$$LS = \frac{y_s - y_l}{\sin(LS)} = \frac{x_s - x_l}{\cos(LS)}; \quad PS = \frac{y_s - y_p}{\sin(PS)} = \frac{x_s - x_p}{\cos(PS)} \dots \dots \dots (II)$$

Углы  $\varphi$  и  $\psi$  находятся по их сумме и разности: сумма  $\varphi + \psi$  найдется из четырехугольника  $OLSP$ , в котором сумма углов равна  $360^\circ$ , а именно:

$$\alpha + \beta + \varphi + \psi + S = 360^\circ,$$

$$\text{где угол } S = LSP = (SL) - (SP) = (LS) - (PS) \dots \dots \dots (III)$$

и следовательно:  $\varphi + \psi = 360^\circ - (\alpha + \beta + S), \dots \dots \dots (IV)$

или, положив для краткости  $\alpha + \beta + S = 2\sigma$

$$\text{находим } \frac{1}{2}(\varphi + \psi) = 180^\circ - \sigma \dots \dots \dots (V)$$

Для отыскания разности тех же углов, возьмем из треугольников  $LSO$  и  $PSO$  следующие соотношения:

$$\frac{d}{p} = \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} \text{ и } \frac{d}{l} = \frac{\sin \psi}{\sin \beta}$$

или  $\sin \varphi = d \cdot \frac{\sin \alpha}{p} \dots \dots \dots (11)$

$$\sin \psi = d \cdot \frac{\sin \beta}{l} \dots \dots \dots (12)$$

Найдем теперь отношение  $\sin \psi$  к  $\sin \varphi$  и обозначим его через  $\text{tg } Q$ , так что:

$$\frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \text{tg } Q \dots \dots \dots (13)$$

Это обозначение всегда возможно, так как тангенс изменяется от  $-\infty$  до  $+\infty$ . Разделив выражение (12) на (11), получим:

$$\text{tg } Q = \frac{\sin \psi}{\sin \varphi} = \frac{p \cdot \sin \beta}{l \cdot \sin \alpha} \dots \dots \dots (14)$$



В полученном выражении  $p$ ,  $\beta$ ,  $l$  и  $\alpha$  известны; следовательно  $\operatorname{tg} Q$  может быть определен. Далее, согласно нашему обозначению, имеем:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin \psi} = \frac{1}{\operatorname{tg} Q}.$$

Напишем эту пропорцию в следующем виде:

$$\frac{\sin \varphi + \sin \psi}{\sin \varphi - \sin \psi} = \frac{1 + \operatorname{tg} Q}{1 - \operatorname{tg} Q}$$

и, заменив в первой части сумму и разность синусов произведением, а во второй части приняв единицу равной  $\operatorname{tg} 45^\circ$ , можно написать:

$$\frac{2 \sin \frac{\varphi + \psi}{2} \cdot \cos \frac{\varphi - \psi}{2}}{2 \sin \frac{\varphi - \psi}{2} \cdot \cos \frac{\varphi + \psi}{2}} = \frac{\operatorname{tg} 45^\circ + \operatorname{tg} Q}{1 - \operatorname{tg} 45^\circ \cdot \operatorname{tg} Q}$$

или  $\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi + \psi) \cdot \operatorname{cotg} \frac{1}{2}(\varphi - \psi) = \operatorname{tg}(45^\circ + Q),$

откуда:  $\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi - \psi) = \operatorname{tg} \frac{1}{2}(\varphi + \psi) \cdot \operatorname{cotg}(45^\circ + Q) \dots \dots \dots (15)$

В уравнении (15) нам известно  $\frac{\varphi + \psi}{2}$  и  $(45^\circ + Q)$ ; следовательно, из него можно найти  $\frac{\varphi - \psi}{2}$ , положив:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2}(\varphi + \psi) &= m \\ \frac{1}{2}(\varphi - \psi) &= n, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (16)$$

сложим, а ватем вычтем эти равенства почленно. тогда

и  $\left. \begin{aligned} \varphi &= m + n \\ \psi &= m - n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$

Вставляя найденные значения для  $\varphi$  и  $\psi$  в равенства (7), (8), (9) и (10), получим необходимые величины для вычисления приращений координат точки  $O$  по формулам (3), (4), (5) и (6).

Задача решается последовательным применением формул I, II, III, IV, V; 14, 15, 16, 17; 7, 8, 9, 10; 3—6; 1 и 2.

## Г Л А В А X.

### Приложение геодезии к вопросам землепользования.

**Привязка точек окружных границ участка к пунктам (тригонометрической) сети и к постоянным предметам местности.**

§ 128. Предварительные понятия. Желание сохранить по возможности на долгое время точки, принадлежащие окружной границе участка, снятого угломерным инструментом, заставляет не только на составленном на этот участок плане записать цифровые данные, определяющие взаимное положение точек окружной границы, как-то: румбы, астролябические углы, длины линий, углы их наклонения и т. п., но еще сверх того озаботиться:

1) о наложении на местности прочных, неизменных признаков в указанных точках, на подобие того, как это делается при точных работах с закладкою центров на пунктах тригонометрической сети, нивелир-теодолитного ряда и полигонных ходов, т.е. под землю зарывать знак в виде кирпича или бутылки, помимо признака, оставленного над землею; на границах отдельных

землепользований также накладываются, так называемые, межевые признаки: ставятся деревянные, каменные или чугунные столбы, пропахиваются межики, насыпаются курганы:

2) о составлении подробных описаний границ, заменяющих план (геодезический журнал, полевой журнал):

3) о привязке путем дополнительных измерений точек границ к близлежащим (или даже только видимым) предметам местности, на неизменное положение которых в течение весьма долгого промежутка времени можно было бы свободно положиться.

Остановимся еще раз на этом вопросе, имеющем огромное значение в съемочном (землемерном и особенно землеустроительном) деле.

§ 129. Привязка граничных линий к точкам сети: по задаче Потенота заключается в том, что, став в точку  $O$  (черт. 222) поворота границы полигона с угломерным инструментом, измеряют три угла  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ . Из них первые два определяют положение (координаты) точки  $O$  относительно трех данных точек сети  $L$ ,  $S$  и  $P$ , а третий примычный угол  $\gamma$  служит для вычисления азимута первой стороны  $OM$ , а по нему и всех последующих азимуты сторон границы участка  $OMN$ .

§ 130. Привязка способом промеров состоит в том, что: 1) в пункте  $O$  (черт. 222) привязываемой границы участка  $OMN$ , измеряют 1-й примычный угол  $MOP = \gamma$ , 2) промеряют длину прямой  $OP$  (или прокладывают ломаную линию), связывающую точку  $O$  с близлежащим пунктом  $P$  сети, и 3) в пункте  $P$  измеряют 2-й примычный угол  $OPS$  на видимый из точки  $P$  второй пункт  $S$  сети.

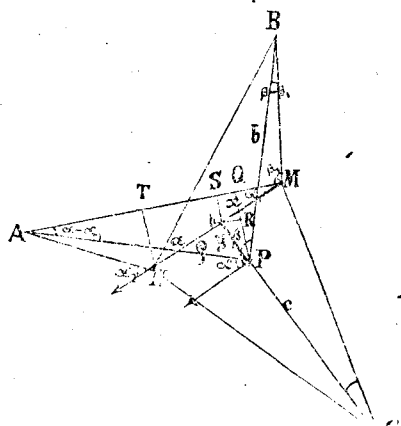
Цель привязки границ участка к пунктам сети заключается в том, чтобы можно было вычислить координаты точек поворота границ относительно тех же осей координат, относительно которых даны координаты пунктов сети.

Чтобы возможно надежнее привязать границу участка к пунктам сети, нужно избранную точку, сторону или диагональ привязывать не к трем, а к возможно большему числу пунктов сети, т. е. в избранном месте, кроме необходимых измерений, следует делать еще и избыточные или дополнительные, а также не довольствоваться одной привязанной точкой границы, а стараться привязать две, три и более точек границы, возможно удаленных друг от друга.

Конечная же цель привязки к пунктам основной сети состоит в том, чтобы впоследствии возможно было быстро разыскать точку или линию границы, наземные признаки на которой утратились от времени.

§ 131. Привязка к постоянным предметам местности делается с тою же целью, что и привязка к пунктам сети. Самый же прием привязки зависит как от числа постоянных точек, так и от формы самого предмета, к которому собираются сделать привязку, а равно и от взаимного расположения привязываемой точки и постоянных предметов.

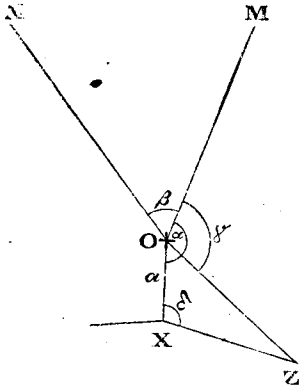
1. Если привязываемая точка  $P$  (черт. 225) лежит относительно трех постоянных предметов (точек)  $A$ ,  $B$  и  $C$  так, что возможно смерить два угла  $APB$  и  $BPC$  в привязываемой точке подобно тому, как это мы делали в случае при-



Черт. 225

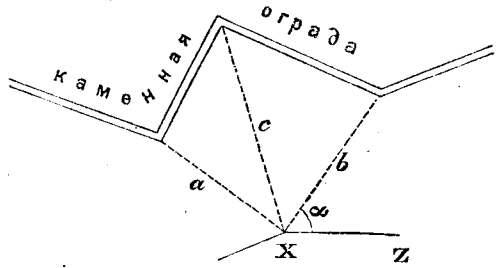
менения задачи Потенота, то, несмотря на то, что хотя взаимное положение трех данных постоянных точек нам и неизвестно, все-таки возможно будет (что нетрудно показать), разыскать с помощью углов  $APB$  и  $BPC$  привязанную точку  $M$ , способом, предложенным венским профессором Марекком.

2 Если же привязываемая точка лежит вблизи, напр., одиноко лежащего большого камня или, вообще, постоянного местного предмета  $O$  (черт. 226), над которым возможно стать с угломерным инструментом и смерить в точке  $O$  угол  $\alpha$  между другим постоянным предметом  $M$  и привязываемой точкой  $X$  стороны  $XZ$  полигона, то возможно, измерив еще в точке  $X$  примычный угол  $\delta = \angle OXZ$ , измерив еще в точке  $X$  промеров, для чего необходимо, однако, смерить еще и длину  $OX = a$ . В случае, если окажется возможным, делают, сверх необходимых, еще и избыточные измерения: углов  $\beta$  и  $\gamma$  и расстояния  $OZ$ .



Черт. 226.

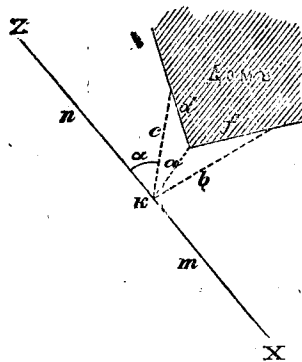
3. Если бы привязываемая линия  $XZ$  границы участка пришлось вблизи камен-



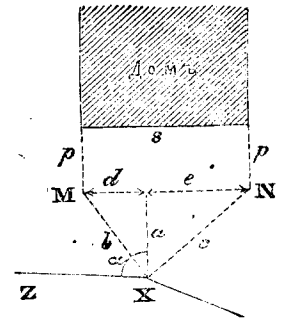
Черт. 227.

ной ограды (черт. 227), на которой возможно отметить три точки ее излома, то можно было бы положение точки  $X$  определить пересечением трех линий  $a$ ,  $c$  и  $b$ , идущих от точки  $X$  к трем упомянутым изломам ограды, для определения же положения линии  $XZ$  пришлось бы смерить еще и угол  $\alpha$ . Смеривши же, сверх указанных величин, еще два угла: между отрезками  $a$  и  $c$  и отрезками  $c$  и  $b$ , можно было бы применить способ Марека. Если бы ограда была достаточно низка или достаточно толста настолько, что можно было бы смерить угол в точке пересечения между отрезком, напр.,  $b$ , и направлением ограды, то оказалось бы возможным применить способ промеров.

4. Положим, что линия  $XZ$  идет мимо угла дома (черт. 228), тогда точку  $k$  линии  $XZ$  можно было бы привязать к углу дома и двум болтам (гвоздям), вбитым в стены дома в расстояниях  $d$  и  $f$  от угла. Промеры  $n = Zk$  и  $m = Xk$  определили бы положение самой точки  $k$  на линии  $XZ$ , а расстояния  $a$ ,  $b$  и  $c$  — положение той же точки относительно угла дома и болтов, вбитых в стены. Направление же линии  $XZ$  определилось бы углом  $\alpha$  в точке  $k$  между отрезками  $n$  и  $c$  (или  $m$  и  $b$ ).



Черт. 228.



Черт. 229.

5. Наконец, если бы дом расположился так, что стена его была бы приблизительно параллельна линии  $XZ$  (черт. 229) или точка  $X$  пришлось примерно против середины стены дома, то для определения точки  $X$  и линии  $XZ$  можно, напр., продолжить направления двух других сторон дома (протянуть), и на них отложить отрезки  $p$  и  $q$ , соединяя концы которых, получить прямую  $MN$ , а на нее из точки  $X$  опустить перпендикуляр.

Измерением отрезков  $p$ ,  $d$  и  $a$  определялась бы точка  $X$ , а измерением угла  $\alpha$  — и линия  $XZ$ . Для контроля и для избыточных (запасных) измерений  $s$ ,  $q$  и  $e$ , а также  $b$  и  $c$ .

Если  $p = q$ , то  $d + e = s$ .

Сделав в поле привязку, необходимо дома сделать сбоку плана в крупном масштабе чертёж привязки точки и линии границы участка, указав на нем в перспективе форму постоянного предмета, а также четко надписав результаты всех сделанных необходимых и избыточных измерений, т.-е. поступать совершенно так же, как это делалось при нивелировании, при заметке реперов.

### Задачи, решаемые по плану горизонтальной съёмки.

#### Разыскание и возобновление границ участка.

§ 132. Проведение просека через лес. Если между двумя данными на плане точками  $A$  и  $B$  (черт. 230) надо проложить просек  $AB$ , то решение задачи сведется к отысканию: 1) румба или азимута прямой  $AB$  и 2) ее длины.

Если план составлен накладкою полигона транспортиром по румбам его сторон, то с плана берут (по масштабу) как длину  $AB$ , так и ее румб (измеряют транспортиром) и перечисляют его на азимут. Зная азимуты  $(AB)$  и  $(AG)$ , вычисляют угол

$$CAB = (AB) - (AG).$$

Придя на местность и став на точку  $A$ , направляют визирный снаряд установленного для наблюдения угломерного инструмента на точку границы  $G$  и, сделав на лимбе отсчет, повертываются на угол  $GAB$ ; после чего по трубе вешат линию  $AB$  и, делая просек, отмеряют длину  $AB$ .

Если же на местности указаны только точки  $A$  и  $B$ , а границы участка  $AGFB$  не даны, то на местности прокладывают сомкнутый полигон  $AGFBEDCA$ , проходя через лес короткими линиями, по возможности избегая делать порубки; а затем, придя домой, накладывают обойденный полигон и определяют азимут  $(AB)$  и длину  $AB$  или по плану графически, или же вычисляют их по координатам точек  $A$  и  $B$ , вычислив сперва координаты всех вершин полигона  $AGFBEDCA$ .

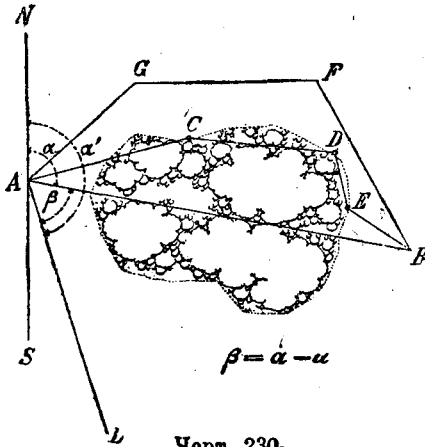
Если точки  $A$  и  $B$  заранее даны координатами и на местности имеется еще третья данная точка  $L$ , координаты которой также известны, то длину  $AB$  и азимут  $(AB)$ , как равно длину  $LA$  и азимут  $(AL)$ , находят вычислением по формулам, данным (I часть) для случая, когда по координатам концов прямой ищется азимут и ее длина, а именно:

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} (AB) = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \text{ и } AB = \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2}$$

$$\operatorname{tg} \alpha' = \operatorname{tg} (AL) = \frac{y_L - y_A}{x_L - x_A}.$$

Угол поворота линии  $AB$  от  $AL$  равен  $LAB = \beta = \alpha' - \alpha$ . Точно так же, если точка  $L$  не дана, то угол  $CAB = (AB)' - (AC)$ , при чем  $(AB)$  и  $(AC)$  вычисляются после обхода полигона  $AGFBEDCA$ , а именно.  $(AC)$ —по ходу, а  $(AB)$ —по координатам точек  $A$  и  $B$ .

§ 133. Разыскание точек границ, привязанных к пунктам сети, начинается с того, что становятся с угломерным инструментом примерно там, где, предполагается, была привязанная точка  $O$  (черт., 222), и в новой точке  $O'$  измеряются два угла  $\alpha'$  и  $\beta'$ , если привязка была сделана по задаче Цотенота.



$$\beta = \alpha' - \alpha$$

Черт. 230.

По этим измеренным углам и координатам точек сети вновь повторяют вычисление задачи Потенота.

Найдя координаты точки  $O'$ , находят расстояние  $O'O$  и азимут его, пользуясь при этом формулами:

$$\operatorname{tg}(O'O) = \frac{y_o - y_o'}{x_o - x_o'} \quad \text{и} \quad \overline{O'O} = \sqrt{(y_o - y_o')^2 + (x_o - x_o')^2}$$

или

$$\overline{O'O} = m = \frac{y_o - y_o'}{\sin(O'O)} = \frac{x_o - x_o'}{\cos(O'O)}.$$

По азимутам двух линий  $O'P$  и  $O'O$  получают угол  $PO'O$ , как разность этих азимутов. В точке  $O'$  отмеряют угол  $PO'O$ , а затем от точки  $O'$  до  $O$  расстояние  $m = O'O$  и разыскивают подземные признаки в точке  $O$ . Указанным путем может найтись привязанная точка  $O$  границы  $OMX$ . Перенеся в нее инструмент, отмеряют примычный угол  $\gamma_1$  и, найдя направление линии  $OM$  на местности, отмеряют длину  $\overline{OM}$ , после чего переносят инструмент в точку  $M$  и здесь по углу поворота и длине линии находят следующую точку границы и так далее.

При разыскании точки  $O$ , привязанной промером (черт. 222), поступают в обратном порядке тому, который велся при привязке, а именно: став в точку  $P$ , отмеряют 2-й примычный угол  $SPO$ , затем прямую (или ломаную)  $PO$  и, найдя точку  $O$ , отмеряют 1-й примычный угол  $\gamma$ , который дает направление линии  $OM$  границы участка.

При разыскании точек, привязанных к постоянным предметам местности, так же сперва находят положение на местности привязанной точки  $X$ , пользуясь сделанными при привязке промерами, а затем уже прокладывают, пользуясь примычным углом  $\alpha$ , и самое направление  $XZ$ .

§ 134. О разыскании пункта, привязанного к постоянным предметам, по способу Марека. Разыскание точки  $P$ , привязанной к трем постоянным предметам местности  $A$ ,  $B$  и  $C$  (черт. 225), начинается с того, что, став, сообразно с чертежом, сделанным на плане, вблизи точки  $P$ , измеряют в этой точке углы между направлениями на те же три предмета местности  $A$ ,  $B$  и  $C$ . Сравнивая вновь полученные углы с записанными на плане, можно сообразить, в какую сторону следует подвигаться от избранной точки для того, чтобы числовые величины привязочных углов возможно ближе подошли к записанным на плане.

Если вновь избранная точка даст желаемый результат, то ограничиваются двумя точками стояния, если же нет, то повторяется перемещение до тех пор, пока в точке  $N$  углы будут ближе подходить к записанным на плане, чем в ранее избранной точке  $M$ .

Итак, пусть  $MN$  то направление, по которому мы передвигались; оно указано на чертеже стрелкой. Обозначим расстояние  $MN$  через  $q$ , расстояние от  $P$  до  $A$  через  $\alpha$ , углы, считаемые от направления  $MN$  на точку  $A$  в точке  $M$ , через  $\alpha_1$ , на  $B$  —  $\beta_1$  и на  $C$  — через  $\gamma_1$ ; те же углы в точке  $N$  пусть будут соответственно  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_2$ , а в точке  $P$  —  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  (считая их от направления, параллельного  $MN$ ).

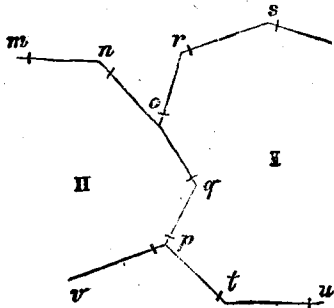
Примем точку  $M$  за начало координат, направление  $MN$  — за ось  $x$ -ов и из  $P$  опустим перпендикуляр  $Pp$  на  $MN$ , тогда координаты искомой точки  $M$  будут:  $Mp = x$  и  $pP = y$ .

Для отыскания  $x$  и  $y$  необходимо составить и решить два уравнения:

$$[(\beta - \alpha) - (\beta_1 - \alpha_1)] \cdot q = [(\beta_2 - \alpha_2) - (\beta_1 - \alpha_1)] x + [(\beta_2 - \beta_1) \operatorname{ctg} \beta_1 - (\alpha_2 - \alpha_1) \operatorname{ctg} \alpha] \cdot y$$

$$[(\gamma - \beta) - (\gamma_1 - \beta_1)] \cdot q = [(\gamma_2 - \beta_2) - (\gamma_1 - \beta_1)] x + [(\gamma_2 - \gamma_1) \operatorname{ctg} \beta_1 - (\beta_2 - \beta_1) \operatorname{ctg} \beta_1] \cdot y.$$

§ 135. Разыскивание границ на местности по межевым документам (по плану или межевой книге) и возобновление межевых признаков. На местности для обозначения границ землепользований, согласно существующих статей земледодека, полагаются в точках поворота межи ставить определенной высоты и формы деревянные столбы, насыпать в курганы, складывать каменные столбы, вдоль линий межи пропахивать узкие полосы земли (межники), а в лесу прорубать просеки. С течением времени межевые признаки (столбы, курганы, межники, просеки) утрачиваются: деревянные, обожженные снизу столбы, которыми обозначаются вершины углов между каждым двумя граничными линиями, гнивают от сырости и падают, курганы заплывают, особенно в низких луговых местах, и сглаживаются вровень с землею, межники также постепенно запахиваются, просеки в лесу зарастают. Нередко знаки утрачиваются так, что места их существования делаются неизвестными даже местным жителям; между тем, встречается надобность в разыскании границ (напр. при разделе земли) и в восстановлении (возобновлении) утратившихся признаков.



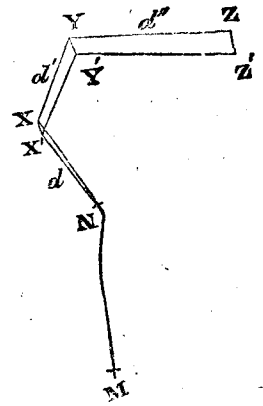
Черт. 21.

При разыскании места утратившегося столба всегда следует соображать с планом.

При разыскании границ какого-либо участка земли могут представиться следующие четыре случая:

- 1) на всей окружной меже, или в той ее части, в которой происходит возобновление границ, сохранились два знака, принадлежащие одной и той же линии;
- 2) на всей окружной меже сохранились два знака, не принадлежащие одной и той же линии, но веха поставленные при одном, видна из другого;
- 3) на меже сохранился один знак
- и 4) не сохранилось на меже ни одного признака.

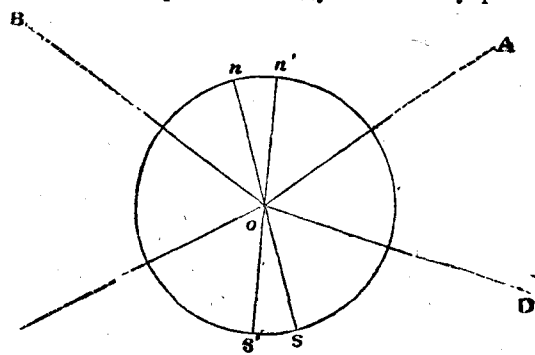
Первый случай. Пусть на местности сохранились два знака, напр., два кургана, по середине которых ставят вехи (черт. 232). Створ этих вех (в  $MN$ ) должен выразить направление межняка, а места вех—те точки, где стояли столбы; на место вехи  $M$  ставят инструмент с буссолью и определяют азимут (или румб) линии  $MN$  и измеряют ее длину; после чего на плане по указанному смежству отыскивают линию, имеющую ту же длину, а направление (румбический угол), по величине близко подходящее к измеренному; линия удовлетворяющая этим условиям, и будет искомая. Если по указанному смежству имеются несколько линий, румбы и длина которых близко подходят к измеренным, то выбирают ту из них, длина которой ближе всего подходит к измеренной на местности, ибо румб может меняться с изменением склонения стрелки. Если на плане в картуше значится, что план составлен по истинному меридиану, то разность между румбическими углами, показанным на плане и измеренным на местности, выразит склонение стрелки во время разыскания признаков; если же граница нанесена на план по магнитному меридиану, то эта разность покажет изменение склонения стрелки за время, протекшее со времени составления плана при первоначальном обмежевании дачи.



Черт. 232.

Здесь вообще отметим себе, что если бы, напр., во время межевания магнитная стрелка имела направление  $ns$  (черт. 233) и линия  $oA$  имела румб северовосток ( $NO: 60^{1/2}^\circ$ ), а во время разыскания магнитный румб той же линии оказался  $NO: 58^{3/4}^\circ$ , то разность  $60^{1/2} - 58^{3/4} = 1^{3/4}^\circ$  указала бы, что стрелка уклонилась северным концом к востоку на  $1^{3/4}^\circ$ , заняв положение  $n's'$  и, следовательно, все граничные линии также изменят числовые величины румбов против

записанных на плане на эту же величину в  $1^{\frac{3}{4}}^{\circ}$ , а именно: числовая величина румбов линий с названиями северо-восток (линия  $OA$ ) и юго-запад ( $SW$ ) — линия  $OC$ , при указанном уклонении стрелки северным концом к востоку, уменьшится, а числовая величина румбов линий с названиями  $NW$  и  $SO$ , т. е. линии  $OB$  и  $OD$ , — увеличится. Сделав каждый раз подобное соображение и перечислив все румбы плана, продолжают разыскание границ далее, для чего переносят инструмент в точку  $N$  и, направив трубку на  $M$ , делают отсчет  $a^{\circ}$  на лимбе, ватем, взяв величину внутреннего угла  $MNX$  с плана (или высчитав его не записанному астролябическому) и, имея в виду, что подпись делений на лимбе идет по ходу часовой стрелки, что междуемая земля лежит вправо по ходу и что внутренний угол  $MNX = a - b$ , где  $b$  отсчет, делаемый по лимбу при наведении зрительной трубы на  $X$ , определяют величину отсчета  $b^{\circ} = a - MNX$ <sup>1)</sup> и устанавливают на него верньер по лимбу, закрепив алидаду, получают по трубе направление линии  $NX$ . Убедившись, что магнитная стрелка показывает перечисленный румб линии  $NX$ , провешивают по направлению коллимационной плоскости трубы линию, по направлению которой отмеряют от  $N$  длину  $NX = d$ , записанную на плане и в конце ее забивают колышек.



Черт. 233.

Если линия идет по местности с значительными углами наклона (большими  $2^{\circ}$ ), то, воспользовавшись записью на плане величин этих углов, вводят (придают) поправки к записанным на плане горизонтальным продолжениям линии.

При конце отложной линии внимательно осматривают местность и смотрят, нет ли где вблизи признаков бывшего межевого знака, при разрывании земли в таком месте, на известной глубине, могут оказаться камни и уголья, что и подтвердит, что здесь действительно был столб и курган. По плану, сообразуясь с местом найденного знака, намечают место бывшего столба  $X$ , от которого назад провешивают линию  $XN$ ; а с точки  $X$  продолжают разыскание границ, расчистив в лесной местности просек к  $X$  на  $N$ . Если же вблизи точки  $X$ , замеченной (по промеру линии  $NX$ ) колышком, никаких межевых признаков не окажется, то в точке  $X$  устанавливают угломерный инструмент, центрируют над колышком и, приведя инструмент в горизонтальное положение, отмеряют ранее описанным приемом угол  $NXY$ , сверяют румб, отсчитанный по стрелке для линии  $XY$ , с перечисленным румбом плана, отмеривают вдоль провешенной линии  $XY$  ее длину  $d'$ . Если и в  $Y$  признаков не окажется, то по инструменту отмеряют угол  $XYZ$  и вешат линию  $YZ$ , на которой лентой отбивают ее длину  $d''$ . Допустим, что, идя от точки  $N$  по плану, т. е., по внутренним углам и мере линий, дошли, наконец, до точки  $Z$ , где вблизи нее нашелся курган и по нему назначили место столба  $Z'$ . Если невязка  $ZZ'$  незначительна, то продолжают разыскание далее, начиная с точки  $Z'$ , куда переносят инструмент. Если же расстояние  $ZZ'$  будет и значительно по величине, напр., 20 м, однако, не превысит  $1/200$  доли пройденного периметра  $d + d' + d''$ , то прежде, чем продолжать разыскание далее, делают разыскание признаков между  $Z$  и  $N$  обратным ходом, при чем поступают двояким образом.

1) Через  $Z'$  проводят линию  $Z'Y'$ , параллельную  $ZY$ , и, по промеру по ней ее длины  $d''$ , ищут в  $Y'$  место межевых признаков, надеясь на то, что  $Y'$  ближе ляжет к бывшему межевому столбу, чем  $Y$ , так как неверное положение  $Y$  зависит

<sup>1)</sup> Напр.:  $a = 20^{\circ}12'$  и  $MNX = 240^{\circ}8'$ , то  $b = 20^{\circ}12' - 240^{\circ}8' = 140^{\circ}4'$ .

от большого числа и совокупности погрешностей проложенных линий от  $N$  до  $Y$ , чем от  $Z'$  до  $Y'$  при обратном ходе, почему и считают, что обратный ход может лучше указать места бывших межевых признаков. При обратном ходе нередко и находят утерянные знаки. После этого от  $Y'$ , руководствуясь внутренними углами, проходят остальные линии до  $N$ .

2) Измерив румб и длину невязки  $ZZ'$ , уничтожают ее параллельными линиями, подобно тому, как это делалось на плане, т.е. через  $Y$  и  $X$  прокладывают линии, параллельные  $ZZ'$ , и на  $YY'$  и на  $XX'$  откладывают величины, вычисленные из пропорций:

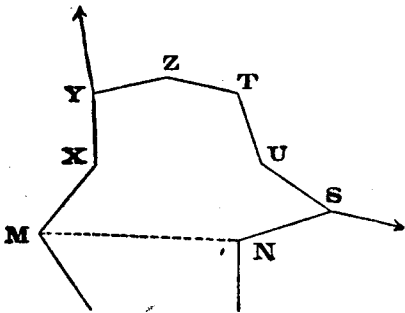
$$YY' : ZZ' = (d + d') : (d + d' + d'')$$

$$XX' : ZZ' = d : (d + d' + d'')$$

Таким образом, если выходят при разыскании нескольких линий на место  $Z$  сохранившегося знака, то признаки возобновляются в тех местах  $Y$  и  $X$ , где стоял инструмент при прямом ходе с  $N$  на  $Z$ . Если же получается невязка  $ZZ'$ , то знаки ставятся в точках  $Y'$  и  $X'$ , согласно разверстки невязки.

Второй случай. Пусть на меже сохранились только точки, определяющие места  $M$  и  $N$  (черт. 234) межевых столбов при них, при чем вежа, поставленная в точке  $N$ , видна из точки  $M$  или обратно.

При определении, — какие именно точки плана соответствуют существующим на местности  $M$  и  $N$ , обращаются с расспросами к местным жителям о смежных границах и об указании места, где сходятся три или более землепользования, т.е. стараются определить расстояние сохранившегося знака до так называемого трехземельного пункта, как, напр., пункта  $Y$ , а равно о расстоянии до существующих на меже и обозначенных на плане естественных предметов, как-то: оврагов, ручейков, дорог, каменных построек и т. п., или углов, образуемых направлениями на колокольни церкви и близ лежащих заводских труб, флагштоков зданий, отдельных деревьев, а равно о приблизительном направлении межников при точке стояния.



Черт. 234.

Собрав все эти сведения и сделав все нужные измерения в натуре, включительно до измерения румба и длины линии  $MN$ , а также румба линии  $MX$ , землемер определяет по плану, какие именно точки плана надо принять за сохранившиеся и, измерив

по транспортиру румб линии  $MN$  и высчитав по румбам  $MN$  а  $XM$  угол  $XMN$ , а по масштабу длину линии  $MN$ , устанавливает в точке  $M$  угломерный инструмент и начинает от линии  $MN$  вести разыскание признаков так же, как это делается в первом, только что рассмотренном нами случае.

Третий случай. На окружной меже сохранился один знак. Подобно предыдущему случаю стараются определить из расспросов местных жителей и из собственных соображений, — какая точка на плане соответствует данной местности. Дальнейшие же действия сообразуются с тем, как составлен план, т.е. а) нанесена ли окружная межа на план по истинному меридиану, б) окружная межа хотя и наложена по магнитному меридиану, но в картуше плана записано склонение магнитной стрелки, бывшее во время размежевания и составления плана межуемой дачи, и в) план составлен по магнитным румбам, взятым во время межевания, но склонение стрелки не указано ни в картуше плана, ни в межевой книге.

а) Пусть точка  $M$  (черт. 235) есть место столба. Придя в нее с угломерным инструментом, определяют направление  $NS$  истинного меридиана, ориентируют лимб нулевым диаметром по меридиану и отсчитывают склонение  $a$  маг-

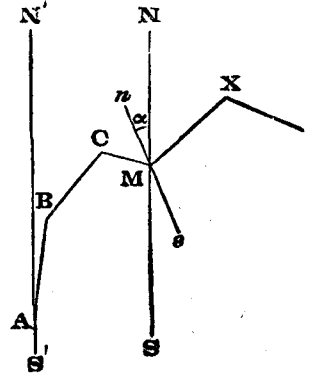


нитной стрелки. Затем, пользуясь записанным истинным румбом линии  $MX$  повертывают алидаду, а следовательно, и коллимационную плоскость трубы на угол  $NMX$ . Провешив по трубе линию  $MX$  и отложив записанную на плане ее длину, получают первую линию разыскиваемой границы.

Далее поступают по ранее описанному.

При отсчитывании по стрелке и сличении записанных истинных румбов с измеренными не следует упускать из вида, что они будут различаться на величину определенного склонения стрелки.

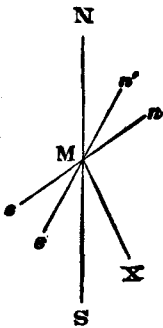
Если бы по местным условиям оказалось, что необходимые наблюдения в точке  $M$  сделать затруднительно, а более удобно определить направление истинного меридиана  $N'S'$  возможно в точке  $A$ , которую легко соединить полигоном  $ABCM$  с точкою  $M$ , то, определив азимут линии  $AB$  по углам поворотов  $B$  к  $C$ , легко высчитать азимут линии  $CM$ . Разность азимутов  $(MC) - (MX) = CMX$ , очевидно, дает угол поворота  $CMX$  в точке  $M$ .



Черт. 235.

б) Если окружная межа нанесена по магнитному меридиану и известно склонение стрелки для времени размежевания дачи, то известны (ибо их легко высчитать) истинные азимуты (или румбы) всех линий межи, и, следовательно, этот случай вполне аналогичен предыдущему, а потому, определив направление истинного меридиана  $NS$  в точке  $M$  и склонение  $\alpha$  стрелки  $ns$ , т.е. угол  $\alpha = NMn$ , и взяв из картуша плана величину склонения  $NMn'$  для времени размежевания, получают угол  $n'Mn$ , равный разности склонений или, иначе, изменение склонения стрелки  $n's'$  со времени размежевания до времени разыскания границ; на величину склонения легко исправить все записанные румбы на плане и сличать их с получаемыми по стрелке при возобновлении границ.

в) Если бы оказалось, что склонение стрелки не было записано только в межевых документах I-ой дачи, для которой разыскиваются межи, то тогда стараются найти его по межевым документам смежных дач, одновременно размежеванных с той дачей, для которой разыскиваются признаки.



Черт. 236.

Если же и в документах смежных дач склонение стрелки не найдено, то берут в смежной даче линию с двумя сохранившимися признаками и измеряют ее румб. Сличая измеренный румб с записанным на плане для той же линии, легко найти (черт. 236)  $n'Mn = n'MX - nMX$ , т.е. изменение склонения стрелки <sup>1)</sup>, на величину которого можно исправить все магнитные румбы той дачи, для которой возобновляются границы; вследствие сего первую линию разыскиваемой межи придется проложить, пользуясь магнитной стрелкой, чтобы она, при вращении алидады, показала перечисленный магнитный румб; напр., во время межевания записано, что румб линии  $MX$ , т.е.  $n'MX$ , равен  $NW: 54\frac{1}{4}^\circ$ ; изменение склонения оказалось к востоку на  $6\frac{3}{4}^\circ$ . Перечисляемый румб будет  $NW (54\frac{1}{4} - 6\frac{3}{4}) = NW: 47\frac{3}{4}^\circ$ , пользуясь им, и прокладывают первую линию разыскиваемой границы.

Четвертый случай. Когда на всей окружной границе не сохранилось ни одного знака, тогда приходится начинать разыскание и возобновление границ от сохранившихся знаков одной из смежных дач и вести его до трехземельного пункта рассматриваемой дачи. Если же на границах смежных дач нет признаков,

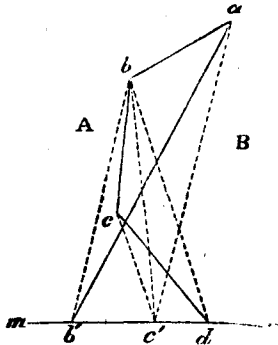
<sup>1)</sup> Лучше, если таких линий будет взято не одна, а несколько, и изменение склонения определится несколько раз. Среднее арифметическое из определенных величин принимается за окончательное.

тогда ищут на границах смежных со смежными или, иначе, на границах дач, так назыв., следующего циркуля.

Разыскание признаков иногда делается по магнитной стрелке, но возобновление направления границ между разысканными признаками следует делать по внутренним углам между линиями межи.

### Выпрямление границ участка и деление площадей фигур по заданным условиям <sup>1)</sup>).

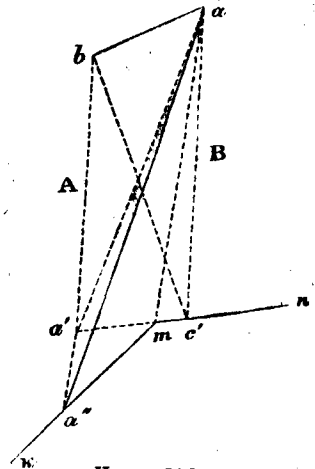
§ 136. Выпрямление границ. Вопрос о выпрямлении границы между двумя равноценными участками возникает иногда ради удобств, сопряженных с пользованием этими участками в хозяйственном отношении, а иногда и ради простоты формы самой границы и легкости ее возобновления в случае ее утраты на местности. Пусть, напр, ломаная линия  $abcd$  (черт. 237), разделяющая два землепользования, или два поля,  $A$  и  $B$ , упирается в прямую линию  $mn$  и намечается к замене ее одною прямою, выходящею из точки  $a$ . Задача разрешается сперва дома, на плане, чисто геометрическим путем а именно: соединив две вершины  $d$  и  $b$  полигона  $dcba$ , через пропущенную точку  $c$  проводят параллель  $cc'$ , прямая  $bc'$ , соединяющая точку  $c'$  с  $b$ , заменит ломаную  $bcd$ . С ломаную линиею  $adc'$  поступают совершенно так же, как и с  $bca$ , т.-е. соединяя  $c'$  с  $a$ , проводят сперва  $bb' \parallel ac'$ , а затем соединяют  $b'$  с  $a$ . Прямая  $ab'$  и будет новою спрямленною границею, вместо ранее существовавшей ломаной  $abcd$ . В поле придется лишь



Черт. 237.

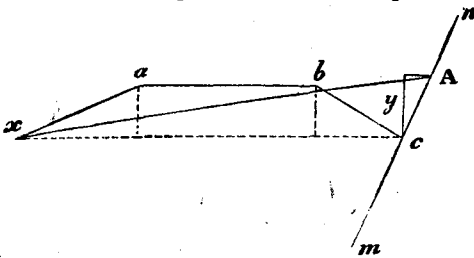
отмерить от точки  $d$  взятой с плана длину  $db'$  вдоль данной прямой  $ndm$  и провесить прямую  $ab'$  пользуясь углом  $db'a$  при точке  $b$ , в том случае, если местность закрытая, и высчитывая его по румбам линии  $nm$  и линии  $b'a$ , измеренным также по плану.

В том случае, когда прямая  $nm$  меняет в точке  $m$  свое направление и переходит в прямую  $mk$  (черт. 238), может оказаться, что при замене ломаной  $abc'$



Черт. 238.

прямой, параллель к  $ac'$  пересечь прямую  $nm$  не может, так как точка  $m$  остается вправо от этой параллели, тогда следует  $mn$  продолжить и сперва найти точку  $a'$ . Линия  $aa'$  заменит ломаную  $abc'$ , а граница примет вид ломаной линии  $aa'm$ ; после чего останется эту ломаную линию  $aa'm$  заменить прямой  $aa''$ , проведя предварительно  $d'a''$  параллельно  $am$ . При решении этой простой задачи, как известно, площади отрезков от участка  $A$  равняются площадям прирезков к площади участка  $B$ .



Черт. 239.

Если же при решении той же задачи желали бы избежать графического решения, зависящего от точности масштаба плана, то следовало бы ломаную границу  $xabc$  (черт. 239) снять в поле методом координат относительно прямой  $xz$

<sup>1)</sup> П. М. Орлов: „Деление площадей (земельных участков)“. 3-е изд.

(принимая ее за ось абсцисс) и, пользуясь промерами, занесенными в абрис, вычислить площадь  $p$  фигуры  $exabc$ . Пусть измеренная диагональ  $xc = d$ ; тогда, полагая, что  $xA$  есть искомая прямая, разрешающая нашу задачу, т.-е. дающая площадь  $\Delta cxA = p$ , при основании  $xc = d$ , нам останется найти высоту  $y$  этого треугольника из равенства:

$$\frac{1}{2} dy = p, \text{ т.-е. } y = \frac{2p}{d},$$

после чего, восстановив перпендикуляр к  $xc$  в точке  $c$ , отложить на нем длину  $y$  и через конец его провести параллель к  $cx$  до встречи ее в точке  $A$  с прямой  $mn$ .

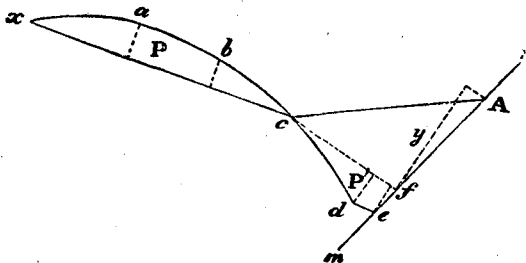
Подобным же образом можно криволинейную границу  $xabcde$  (черт. 240) заменить ломаной  $xcA$ , для чего необходимо снять кривую  $xabc$  относительно прямой  $xc$  и вычислить площадь  $P$  фигуры  $xabc$ , а часть кривой  $cde$  снять относительно прямой  $cf$ , найдя также площадь  $P' = cdefc$ .

Действительно, так как площадь  $P$ , отрезанная от владения, лежащего вниз от кривой  $xabc$ , не равна площади  $P'$  прирезаемой к тому же владению от соседа, лежащего выше кривой  $cde$ , то этому последнему надлежит прирезать разницу  $(P - P')$  напр., прямой  $cA$ , приняв  $cf = d$  за основание  $\Delta$ -ка  $cfa$ , равного по площади  $P - P'$ , и определяя высоту его  $y$  из равенства

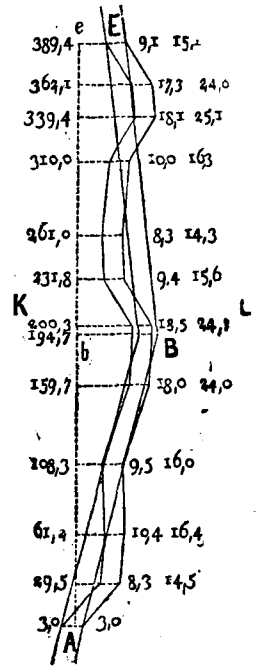
$$y = \frac{2(P - P')}{d}.$$

Применим только что изложенное к следующим двум примерам:

а) Границей между двумя участками  $K$  и  $L$  (черт. 241) служит кривая дорога  $AE$ , шириною в 6 м. ее нужно спрямить так, чтобы начальная ее точка  $A$  и конечная  $E$  остались без изменения; излом можно



Черт. 240.



Черт. 241.

допустить только по середине ее, в точке  $B$ ; при чем новое направление дороги не только не должно нарушить обоих участков по площади, но и избыток, полученный от спрямления дороги должен быть поровну разделен между ними.

Пусть взаимное положение обеих сторон дороги заснято ординатами относительно оси абсцисс  $Ae$ , при чем числовые значения координат  $x$  и  $y$  показаны на чертеже; точка  $A$  принята за начало координат.

Вычислим площадь  $F$  между прямой  $Ae$  и серединою дороги, пользуясь известной нам формулой:

$$2F = \sum(x_{n+1} - x_{n-1}) y_n:$$

при чем, подставляя сюда вместо  $y$  полусуммы двух ординат, взятых к обоим краям дороги относительно одной и той же абсциссы, напр.:

$$y_1 = \frac{14,5 + 8,3}{2}$$

мы делитель 2 отнесем к левой части равенства, так что, после суммирования соответствующих произведений, получим площадь  $4F$ .

$$\begin{aligned}
 y_1 (x_2 - x_0) &= 22,8 \times 61,2 = 1395,36. \\
 y_2 (x_3 - x_1) &= 26,8 \times (108,3 - 29,5) = 26,8 \times 78,8 = 2111,84. \\
 &\dots \dots \dots 25,5 \times 98,5 = 2511,75. \\
 &\dots \dots \dots 42,0 \times 92,0 = 3864,00. \\
 y_5 (x_6 - x_4) &= 43,2 \times 72,1 = 3114,72. \\
 y_6 (x_7 - x_5) &= 25,0 \times 60,7 = 1517,50. \\
 &\dots \dots \dots 22,6 \times 78,2 = 1767,32. \\
 &\dots \dots \dots 26,3 \times 78,4 = 2061,92. \\
 &\dots \dots \dots 43,2 \times 52,1 = 2250,72. \\
 &\dots \dots \dots 41,3 \times 50,0 = 2065,00. \\
 y_{11} (x_{12} - x_{10}) &= 2^2 \times 27,3 = 660,66.
 \end{aligned}$$

$$F = 23320,79$$

$$l = 11660,40.$$

Согласно заданному условию, поворот в точке  $B$  должен быть по середине между точками  $A$  и  $E$ , т.е. абсцисса точки  $B$  будет  $\frac{389,4}{2} = 194,7$ ; площадь же

$F$  между  $Ae$  и серединою новой дороги выразится суммою 2-х площадей:  $\triangle AbB$  и трапеции  $BEeb$  или, что то же самое, суммой площадей двух треугольников  $ABe$  и  $eBE$ , т.е.

$$Ae \cdot bB + eB \cdot be = 2F.$$

Откуда, заменяя  $2F$  через 11660,40,  $eE$  через 12,1,  $be$  через 194,7 и, наконец,  $Ae$  — через 389,4 найдем:

$$bB = \frac{11660,40 - 12,1 \times 194,7}{389,4} = 23,895.$$

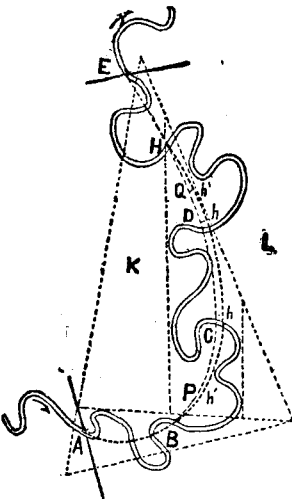
Отложив ординату  $bB$ , получим середину  $B$  новой дороги, отмерив в обе стороны от нее по 3 м, проведем к линиям  $AB$  и  $BE$  параллели, которые и дадут искомое положение выпрямленной дороги, решающее нашу задачу.

б) Если бы от  $A$  до  $E$  (черт. 242) границю между участками  $K$  и  $L$  была середина довольно извилистой ручья и нужно было выправить ложе ручья, уничтожив излучины и придав оси ручья вид плавной кривой, при том не только не нарушающей площадей владений, но и делящей

получающийся избыток в площади от замены старого ложа ручья новым пополам, то задачу приходится решать путем последовательных приближений, а именно:

На местности, применяясь к существующим обстоятельствам (неровностям почвы, имеющимся налицо зданиям и т. п.), намечают примерное приблизительное положение оси нового ложа ручья и производят съемку как существующих обоих берегов ручья, так и проектной кривой линии. Но составленному в крупном масштабе чертежу вычисляют две площади:  $F_1$  — между проектной линией и левым берегом ручья и  $F_2$  — проектной линией и правым берегом. Если  $F_1$  не равно  $F_2$ , то проектная линия намечена неудачно: ее следует передвинуть, чтобы уравнять обе площади. С этой целью составляют полусумму  $F_0 = \frac{F_1 + F_2}{2}$  и определяют, к которому из участков приварезано проектной линией

больше против следуемой нормы. Допустим, что к правому участку  $L$  нарезано линией  $ABCDHE$  больше на величину  $F_1 - F_0 = f$ . Тогда подвинем эту кривую в сторону  $K$  так, чтобы ее точки  $B$  и  $H$  остались на месте, а вновь намечаемая



Черт. 242.

проектная линия, направляясь от  $D$  к  $C$ , отошла от прежней на одну и ту же величину  $h$ , а от  $D$  к  $H$  и от  $C$  к  $B$  пошла бы постепенно приближаясь к первоначальной проектной линии.

Величину  $h$  приближенно найдем из равенства:

$$2f = BC \cdot h + 2CD \cdot h + DH \cdot h,$$

т.-е.

$$h = \frac{2f}{BC + 2CD + DH}.$$

Найденную ширину  $h$  откладывают полностью в любой точке вдоль всей кривой  $DC$ , и на нее передвигают первоначально намеченную проектную линию между точками  $D$  и  $C$ ; для постепенного же приближения новой кривой к старой, между  $C$  и  $B$ , в любой ее точке  $P$  кривой  $BC$ , а также между  $D$  и  $H$ , в любой точке  $Q$  кривой  $DH$ , высчитывают величину  $h'$  из пропорций:

$$h' : h = BP : BC$$

$$h' : h = HQ : HD.$$

Если бы из вычислений оказалось, что  $h$  значительно передвигает намеченную кривую, то, исправив ее вновь, проверяют площади  $F_1$  и  $F_2$ , отсекаемые проектной линией от каждого из участков, дабы путем последовательных приближений наметить кривую, дающую незначительную величину  $f$ , а следовательно, и  $h$ , а также и  $h'$ .

### Деление площадей.

§ 137. Деление площадей совершается обыкновенно по заданным условиям, при этом обыкновенно принимается во внимание ценность отдельных угодий (пашни, луга, леса, выгона и т. п.). Ценность (иначе, качество) угодия может быть дана абсолютная в виде стоимости одной квадратной единицы, напр., десятины или гектара, или в виде дохода, получаемого с нее, в денежных знаках (в рублях), в урожае зерна, в укосе сена и т. п., или качество дается относительное в единицах площади другого угодья, напр., 3 гектара пашни равняются, по своей стоимости, одному гектару леса, т.-е. качество пашни равно  $\frac{1}{3}$  качества леса.

Простейший случай деления площади состоит в разделе данной площади одного какого-либо угодья в заданном геометрическом отношении и, следовательно, в этом случае деление совершается, не принимая во внимание качеств угодий.

Условия раздела могут быть весьма разнообразны и выдвигаются при землеустройстве; то же самое следует сказать и относительно качеств угодий, хотя эти последние и могли бы быть назначены по правилам таксации.

Мы остановимся на примере, чаще всего встречающемся на практике, выполняя его по плану, приведенному нами в главе об угломерной съемке, а именно, рассмотрим деление пустоши Адамовки (черт. 243), состоящей из 16,93 га пашни, 14,52 га выгона, 6,27 га лиственного леса, 2,21 га луга и имеющей под проселочной дорогой 0,3 га и полурекую 0,17 га, всего же 40,40 га, в отношении 5:4:1 с соблюдением следующих условий.

Третьему землепользователю требуется отделить участок в южной части дачи пустоши Адамовки одной линией, параллельной оси  $y$ -ов, т.-е. идущей с запада на восток.

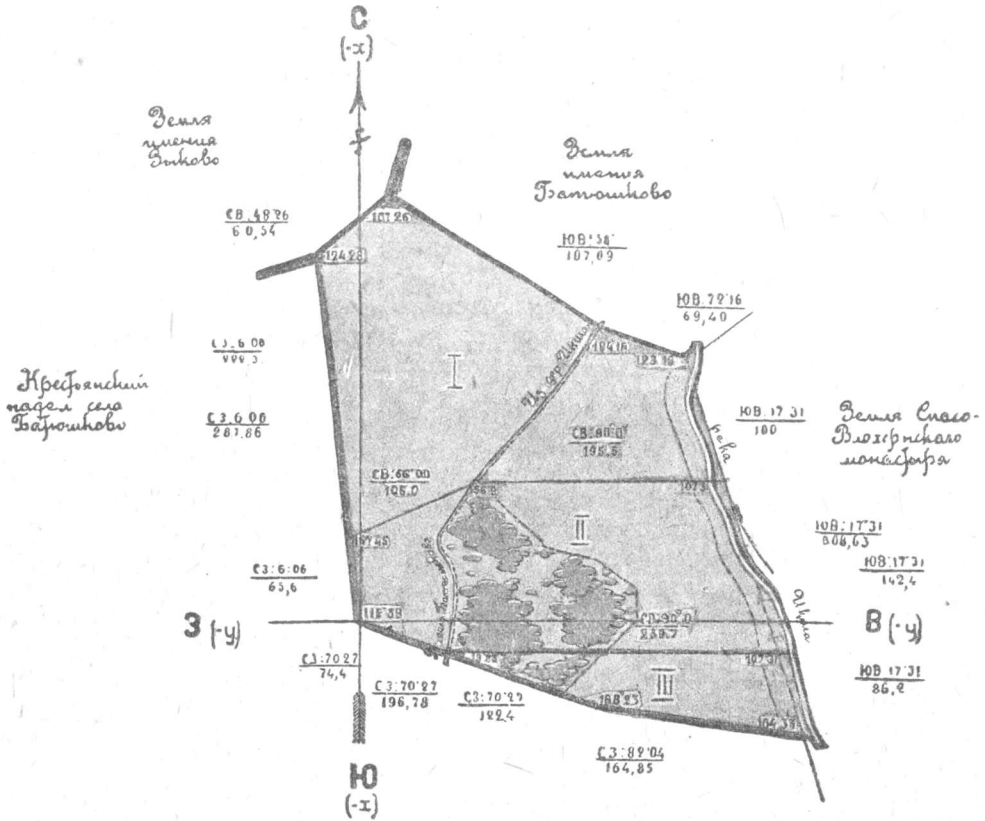
Между вторым и первым участками граница может идти в виде ломаной линии. Качества угодий заявлены следующие:

1 га	леса	стоит	45 руб.
1 "	пашни	"	30 "
1 "	луга	"	40 "
1 "	выгона	"	20 "

Задача решается рядом попыток или графически по плану, или путем вычисления координат точек раздельных меж.

Самая операция деления может вестись по абсолютным или по относительным качествам угодий.

Остановимся сперва на делении дачи графически по плану, по абсолютным качествам.



Черт. 243.

Прежде всего, высчитаем стоимость всей дачи пустоши Адамовки; она будет слагаться из стоимостей:

пашни	16,93 га	× 30 руб.	= 507 руб. 81 коп.
выгона	14,52 "	× 20 "	= 290 " 78 "
леса	6,27 "	× 45 "	= 282 " 51 "
луга	2,22 "	× 40 "	= 88 " 88 "

Всего . . . 1169 руб. 98 коп.

Из этого числа на долю третьего участника раздела при-			
ходитя 0,1, т.-е. участок стоимостью . . . . .	=	117 р. — к.	
на долю второго 0,4, т.-е. уч. стоимостью . . . . .	=	467 " 99 "	
" " первого 0,5, " " " . . . . .	=	584 " 99 "	

Отношение владений 1:4:5

Сумма . 1169 р. 98 к.

Раздел начнем с проведения северной границы (в виде прямой) для третьего владения. Участок будет состоять из выгона, леса и луга. Средняя ценность для одного гектара их  $= \frac{45 + 40 + 20}{3} = 35$  руб. Общая же стоимость участка высчитана в 117 р., а потому приблизительная его площадь будет  $117 : 35 = 3,343$  га.

Проведя на-глаз от конца дороги прямую, параллельную оси  $y$ -ов, допустим, что она отсекла следующие площади, вычисленные планиметром: выгона — 2,60 га, леса — 0,70 га и лугу — 0,50 га, а всего на сумму  $(2,60 \times 20$  руб.  $+ 0,70 \times 45 + 0,50 \times 40) = 103$  руб. 50 коп. Недостает на (117 р. — 103 р. 50 к.) = 13 р. 50 к., приблизительно площади, равной  $(13$  р. 50 к. : 35) = 0,386 га. Приходится проектированную линию подвинуть параллельно самой себе так, чтобы отсеченная площадь трапеции равнялась 0,39 га.

Вследствие незначительности самой площади трапеции, западная и восточная стороны будут также малы, и мы примем эту трапецию за параллелограм; тогда, измерив по плану длину первоначально намеченной линии, оказавшейся равной 255 саж., высчитываем высоту параллелограмма  $= 0,386$  га : 255 м = 14 м.

Взяв ее по масштабу и отложив на перпендикуляре к первоначально намеченной граничной линии, проводим параллель к этой последней и вновь вычисляем отсеченные площади; пусть оказалось, что теперь отсечено:

леса . . . . .	— 0,780 га	по 45 р. ва гектар	на сумму 35,10 руб.
выгона . . . . .	— 2,885 " "	20 " " " "	57,70 "
луга . . . . .	— 0,604 " "	40 " " " "	24,16 "
			116,96 руб.
			недостает на 4 коп.

Такой нехваткой обыкновенно пренебрегают.

Для раздела оставшейся части между вторым и первым участками мы также сперва проведем линию, параллельную оси  $y$ -ов, до встречи ее с западной граничной линией (СЗ : 6° 06', длиной 287,86), чтобы она примерно отделила второму участку площадь стоимостью в 467 р. 99 к., при среднем качестве в 35 руб. или 467 руб. 99 к. : 35 = 13,346 гектара.

Пусть оказалось, что второму участку проектной линией отсечено:

луга . . . . .	— 0,90 га	$\times 40$ руб. =	36 руб.
выгона . . . . .	— 6,55 " "	$\times 20$ " =	131 "
пашни . . . . .	— 3,58 " "	$\times 30$ " =	107 " 40 к.
леса . . . . .	— 5,48 " "	$\times 45$ " =	246 " 60 "

Всего на . . . 521 руб. — к.

Следовало же отрезать на . . . 467 " 99 "

Излишне отрезано на . . . 53 руб. 01 к.

Этот избыток выключим из пашни.

По площади он будет 53 руб. 01 к. : 30 = 1,77 га, сделав излом границы в точке встречи проектной линии с дорогой, находим, что отсекаемый треугольник будет иметь площадь:  $p = 1,77$  га и по плану основание  $a$ , равное 100 м, и следовательно, его высота  $y$  будет определяться формулою:

$$2p = a \cdot y \text{ или } y = 2p : a,$$

т.-е.

$$2 \times 1,77 \text{ га} : 100 = 357 \text{ м.}$$

Построив эту высоту, через точку отложения проводим линию, параллельную основанию до встречи ее с линией СЗ : 6° 06'; точка встречи и будет искомой вершиной отсекаемого треугольника.

Проверив, затем, площадь, оставшуюся на долю первого участка, т.-е.

пашни . . .	15,14	×	30	=	454 р.	20 к.
выгону . . .	5,10	×	20	=	102 " — "	
лугу . . .	0,72	×	40	=	28 " 80 "	
					585 р.	— к.

убеждаемся, что раздел сделан правильно.

Сделаем деление той же дачи пустоши Адамовки, принимая во внимание относительные качества угодий, и примем за единицу не рубль, а гектар аемли лучшего качества, т.-е. леса. Относительные качества угодий будут:

для леса — 1, для пашни —  $\frac{30}{40} = \frac{2}{3}$ , для луга —  $\frac{40}{45} = \frac{8}{9}$  и для выгона —  $\frac{20}{45} = \frac{8}{9}$ .

Пересчитаем теперь площадь каждого угодья, выражая его эквивалентным количеством гектар лучшей земли (леса):

пашни . . . . .	16,927 га	×	$\frac{2}{3}$	=	11,285 га
выгона . . . . .	14,539 "	×	$\frac{4}{9}$	=	6,462 "
луга . . . . .	2,222 "	×	$\frac{8}{9}$	=	1,975 "
леса . . . . .	6,278 "	×	1	=	6,278 "
					Всего . . . 39,966 га . . . . . 26,000 га.

Итак, 39,966 га земли разного качества можно считать соответствующим 26,000 га лучшей земли.

Раздел совершается в отношении 5 : 4 : 1; следовательно:

на долю 3-го участка приходится	2,600 га		лучшей	земли.
" " 2-го "	" " 10,400 "	" "	" "	" "
" " 1-го "	" " 13,000 "	" "	" "	" "
26,000 га				

Третьему участку отсекаем площадь из расчета, что в состав его войдут аемли трех качеств: 1,  $\frac{8}{9}$  и  $\frac{4}{9}$ , дающие землю среднего качества в

$$(1 + \frac{8}{9} + \frac{4}{9}) : 3 = \frac{21}{9} : 3 = \frac{7}{9}.$$

Такой земли среднего качества надо нарезать:

$$(2,600 : \frac{7}{9} = 3,343)$$

гектар. Проведя на-глаз (приблизительно) прямую, параллельную оси *y*-ов и отделяющую площадь в 3,343 га, вычисляем планиметром точно, сколько именно отрезала проектная линия; пусть оказалось, что выгона отделено 2,60 га, леса — 0,7 га и луга — 0,50 га. Перечислив их в гектары лучшего качества, находим:

выгона . . . . .	2,60	×	$\frac{4}{9}$	=	1,156 га	леса
леса . . . . .	0,70	×	1	=	0,700 " "	
луга . . . . .	0,50	×	$\frac{8}{9}$	=	0,444 " "	
					Всего . . . 2,300 га	леса.
					Следовало отрезать . . . . . 2,600 "	"

Недостаёт 0,300 га лучшей земли или земли среднего  $\frac{7}{9}$  качества недостаёт 0,386 га.

Далее поступают так же, как и при делении дачи по абсолютным качествам. т.-е. находят высоту *y* параллелограмма с площадью в 0,386 га и с основанием в 255 м (длина первоначальной проведенной проектной линии), т.-е. в 14 м.



Найдя высоту  $y$ , построив ее и проведя новую проектную линию, параллельную первой, повторяют снова вычисление отрезанных ею площадей планиметром, после чего перечисляют их на землю лучшего качества.

Пусть при вторичной попытке отсечено:

леса . . . . .	0,780 га	$\times$	$1 =$	0,780 га леса
выгона . . . . .	2,885 "	$\times$	$\frac{4}{9} =$	1,282 " "
луга . . . . .	0,604 "	$\times$	$\frac{8}{9} =$	0,537 " "
				2,599 га леса
Следовало . . . . .				2,600 " "
Недостает . . . . .				0,001 га леса.

Такой нехваткой пренебрегаем.

Пусть далее для раздела оставшейся земли между вторым и первым участком мы провели также линию с востока на запад и ею отделили земли:

луга . . . . .	0,90 га	$\times$	$\frac{8}{9} =$	0,80 га леса
выгона . . . . .	6,55 "	$\times$	$\frac{4}{9} =$	2,91 " "
пашни . . . . .	3,58 "	$\times$	$\frac{2}{3} =$	1,39 " "
леса . . . . .	5,48 "	$\times$	$1 =$	5,48 " "
				Всего . . 11,58 га леса
Следует отрезать . . . . .				10,40 " "
Излишне отрезано . . . . .				1,18 га лучшей земли.

Так как излишек можно отделить от пашни, сделав при дороге излом границы, то 1,18 га лучшей земли равны  $(1,18 : \frac{2}{3}) = 1,77$  десятины пашни, так как качество одного гектара  $= \frac{2}{3}$  га качества леса. Приравняв 1,77 га, равной площади треугольника, который следует отсечь от второго участка, и, смежив по плану основание (от дороги до западной границы) и найдя его равным 100 м, находим высоту  $y$  треугольника равной  $(2 \times 1,77 \text{ га}) : 100 = 357 \text{ м}$ . Построив  $y$ , проводим вторую граничную линию между вторым и первым владельцем.

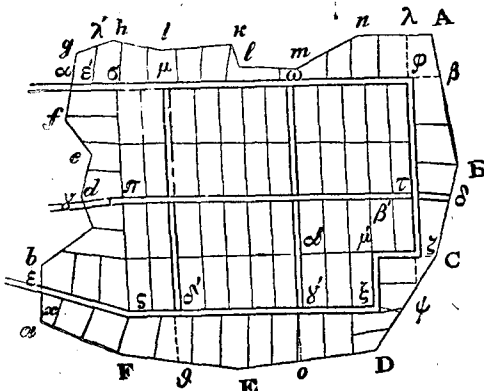
Проверив число гектаров, оставшееся на долю первого участка, находим:

пашни . . . . .	15,14	$\times$	$\frac{2}{3} =$	10,093 га лучшей земли
выгону . . . . .	5,10	$\times$	$\frac{4}{9} =$	2,267 " " "
лугу . . . . .	0,72	$\times$	$\frac{8}{9} =$	0,640 " " "
				13,000 га лучшей земли,

что и убеждает нас в верности произведенного раздела.

§ 138. Разбивка поля на гектары. Сняв в натуре данное поле, накладывают его в крупном масштабе на бумагу. Проект разбивки составляется по плану, на котором также должны быть обозначены направления главнейших скатов или, еще лучше, нанесены горизонталы. По направлению главнейших скатов наметим диагонали отдельных гектаров для уменьшения быстроты стока воды и уменьшения размыва полей от дождя. Сообразно с рельефом наметим и направление дорог, отделяющих друг от друга так назыв. кварталы, т.е. прямоугольники, содержащие два ряда по 5 или 6 гектар. Дороги намечаются шириною в 2 м, межники между гектарами в 1 м. Размер гектара 100 м на 100 саж., или  $200 \times 50 \text{ м}$ , или  $250 \times 40 \text{ м}$ , вараннее указывается самим землевладельцем. При съемке должны быть определены углы наклона для введения поправки в длины линий за наклон.

Пусть снято поле  $abghA\beta BDFa$  (черт. 244), которое разбивается на гектары размером  $200 \times 50$  м по 10 га в квартале. На плане наметим прямую  $a\beta$  вблизи северной извилистой границы поля по возможности так, чтобы целое число неправильной формы гектар. вдоль нее было наименьшее. Отсекая это



Черт. 244.

число, не забудем прибавить к нему то количество квадратных метров, которое необходимо для межинок между гектарами, исходя при этом из расчета, что на каждый гектар в квартале, состоящем из 10—12 га, требуется 50—60 кв. м. Затем, под прямым углом к  $a\beta$  проведем на восток другую прямую линию  $\phi\phi$ . Относительно этих линий сперва наметим дороги и кварталы, а затем уже перейдем к разбивке отдельных гектаров.

На местности разбивая проект, начинают с назначения в поле дорог. Взяв с плана промеры  $A\beta$  и  $ga$  от вершин  $A$  и  $g$ , проводят дорогу  $a\beta$ , связав два плуга на расстоянии 2 м или проведши

линию  $a\beta$  и проведя плугом одну борозду, параллельную с ней на расстоянии 2 м, и пропахивают вторую борозду. По линии  $a\beta$  путем промера намечают точки:  $\omega$ ,  $\mu$ ,  $\theta$  и  $a$ .

Подобным же образом по промерам  $Fb$ ,  $Eo$ ,  $Bd$  и  $\alpha\gamma$ ,  $C\omega$  . . . намечаются точки:  $\theta$ ,  $o$ ,  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\gamma$  . . . . .

Все нужные для проведения дорог и межинок данные необходимо предварительно подписать на плане.

В точках:  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $\phi$ ,  $\tau$ ,  $\mu'$ ,  $\delta'$  . . . . . можно было бы воспользоваться экером: проведши и проведя, напр., линию  $\delta'\theta$ , можно было бы затем промерить для контроля линию  $E\theta$  и  $\theta F$ .

## Г Л А В А XI.

### О неизбежных погрешностях измерений <sup>1)</sup>.

§ 139. Общее понятие о погрешностях измерений. В геодезии приходится измерять длины сторон (линий) и величины углов. Измерить какую-либо величину—значит сравнить ее с другою однородною с нею, принятою за единицу. Результат сравнения может выражаться числом соизмеримым и несоизмеримым, смотря по тому, укладывается ли избранная единица в измеряемой величине целое число раз или нет. В большинстве случаев избранная единица не содержится целое число раз и результат сравнения выражается приблизительно с неизбежным отклонением от истинного значения измеряемой величины. Хотя теоретически отклонение это может быть сделано менее всякой данной величины, но практически вследствие несовершенства наших чувств, а также и несовершенства инструментов, употребляемых при измерении и вследствие влияния некоторых обстоятельств, сопровождающих измерение, отклонение это может быть более или менее значительно.

Опыт показывает, что производя несколько раз со всевозможною тщательностью и при одинаковых условиях измерения одной и той же неизвестной нам величины, помощью одних и тех же измерительных приборов,

<sup>1)</sup> Помещается с целью более свободно разбираться в существующих инструментах о работах.

мы, говоря вообще, никогда не можем получить все результаты измерения одинаковыми. Случайно некоторые из них могут быть одинаковы, но вообще же они будут различны. Это явление приводит нас к заключению, что все измерения сопровождаются отклонением результата измерения от истинной величины, которую мы подвергаем измерениям. Эти отклонения принято называть истинными ошибками или погрешностями измерения. Так как все результаты измерения различаются между собою, в каком бы огромном количестве они ни были произведены, то заранее можно сказать, что истинное значение измеряемой величины останется навсегда для нас неизвестным, а следовательно, и истинные значения ошибок измерений также будут оставаться неизвестными. В частном случае, когда измеряемая величина известна, тогда и истинные ошибки измерения будут также нам известны. Несмотря, однако, на видимую невозможность найти истинные ошибки измерения (а следовательно, и измеряемую величину), они все-таки могут подлежать нашему изучению. Так, ошибки измерения могут быть более или менее значительны по абсолютной величине, смотря по тому, употреблялись ли при измерениях более или менее совершенные инструменты и более или менее совершенные приемы. Ошибку каждого измерения можно считать происходящею от целого ряда причин и рассматривать ее, как соединенно нескольких ошибок, из которых каждая имеет свою причину. Все же ошибки можно разделить на три главных группы: 1) грубые, 2) постоянные или систематические, и 3) случайные или неправильные. Грубыми ошибками называются те, которые происходят от недосмотра; например, при измерении линии пропущена в счете одна или несколько целых лент, обсчитались на 1, 2, 3, 5 м, при измерении угла ошиблись на 10, на 5, на 1 градус, на одно деление в 30 минут и т. п. Все измерения обыкновенно располагаются так, чтобы грубые ошибки, как промахи, могли быть бесспорно обнаружены, а самые измерения отброшены и заменены новыми, не содержащими таких ошибок. Указания на то, как располагать измерения, чтобы обнаружить эти грубые ошибки, излагаются во всех опытных науках (в том числе и в геодезии), а потому в последующем (в этой главе) этих ошибок мы касаться не станем.

За постоянные или систематические ошибки принимаются те, которые, при одинаковых обстоятельствах, одинаково влияют на результаты измерения; они всегда или увеличивают, или уменьшают результат измерения. Вследствие определенности характера их влияния на результаты измерения, систематические ошибки делятся еще на следующие виды: инструментальные, личные и от внешних условий.

Инструментальные — появляющиеся вследствие несовершенства приборов, употребляемых при измерении, каковы, например, ошибки делений лимба, наклон горизонтальной оси трубы, коллимация ее визирной оси и т. п.

Личные, которые зависят от особенностей наблюдателя, замечаящего, например, прохождение звезды через нить инструмента ранее или позднее на постоянную величину, или делающего отсчет на лимбе теодолита, всегда больший или меньший. Такие ошибки возможны во всякого рода точных измерениях; они тщательно исследуются, и с целью их устранения наблюдатели сравнивают свои наблюдения и составляют, так называемые, личные уравнения.

Ошибки от внешних условий. К ним относятся влияния температуры, рефракции, абберации и т. п. действия природы на результаты измерений.

Систематические ошибки должны быть удалены из результатов наблюдения. Это достигается или расположением самих наблюдений так, чтобы ошибки в окончательном результате исключались из полученных измерений, или введением соответственных поправок в результаты отдельных измерений, вследствие чего мы также не будем рассматривать здесь и этого рода ошибки.

Наконец, случайные ошибки; причины их происхождения для нас мало известны; они могут иногда увеличить, а иногда уменьшить истинное значение

неизвестной наблюдаемой (измеряемой) нами величины. Так, например, случайные ошибки могут происходить от несовершенства верньеров, не позволяющих отмечать секунды или их доли, от сотрясения трубы ветром при измерении угла теодолитом, от неправильного освещения предмета (от фазы предмета), от неравномерного изменения температуры лимба, от состояния атмосферы (колебание изображений), а более всего от несовершенства наших чувств (зрения — при определении малых протяжений, слуха — при оценке малых промежутков времени, осязания — при обхождении с инструментом).

Нашему ознакомлению подлежат исключительно случайные или неизбежные погрешности.

Впрочем, в действительности всегда остается в результатах измерения доля влияния ошибок систематических, так как невозможно совершенно освободить от них результаты измерений.

Задача теории ошибок наблюдений или, иначе, уравнивания ошибок состоит только в том, чтобы устранить по возможности влияние этих ошибок на окончательные результаты, но и установить критерий о степени точности как полученного результата, так и величин, связанных с ним путем вычисления.

Случайные ошибки познаются, как уже выше было упомянуто, из ряда повторных наблюдений одной и той же величины, произведенных при одинаковых условиях, а именно, вследствие различия (противоречия) между собою результатов измерения. Повторные наблюдения явились задолго до самого способа уравнивания погрешностей, как контроль над ранее произведенными измерениями.

Таким образом, теория ошибок ставит своею целью более умеренную задачу, а именно, если нельзя найти истинное значение неизвестной величины, то ограничиться нахождением ее вероятнейшего значения, влияние на которое неизбежных ошибок сведено к возможному *minimum*'у. Природа случайных погрешностей близко подходит к природе бесконечно малых величин, они стремятся к нулю, но в нуль никогда не обращаются, и их можно рассматривать как дифференциалы измеряемых величин.

Наблюдения могут производиться при одинаковых и при различных условиях. Первые из них, как произведенные одним и тем же лицом, при посредстве одного и того же инструмента, при одинаковых средствах и предосторожностях, будем называть равноточными наблюдениями, в отличие от вторых, которые назовем наблюдениями неравноточными.

§ 140. Свойства случайных ошибок равноточных наблюдений. Так как измерения производятся с возможною тщательностью, то относительно случайных ошибок можно сказать, что: 1) меньшие по абсолютной величине ошибки будут встречаться чаще; 2) одинаковые по величине положительные и отрицательные ошибки будут встречаться одинаково часто и 3) все вообще ошибки будут лежать в некоторых тесных пределах. Относительно первого свойства следует заметить, что так как случайная ошибка может быть рассматриваема, как комбинация целого ряда ошибок или как следствие взаимодействия нескольких причин, то вероятность того, что все причины произвели на результат наибольшее действие в одну какую-либо сторону (положительную или отрицательную), весьма мала. Напротив, действия разных причин в большинстве случаев производят ошибки незначительные, так как они взаимно компенсируются. Но по поводу второго свойства можно сделать такое разъяснение: так как наблюдения производятся одним и тем же наблюдателем, одним и тем же инструментом, при одних и тех же условиях, то для каждой из причин, производящих ошибку, нет повода действовать чаще в одну, чем в другую сторону, а потому положительные и отрицательные ошибки одной и той же измеряемой величины одинаково вероятны, и при бесконечно большом числе измерений одной и той же величины, можно утверждать, что в таком ряде наблюдений каждой положительной

ошибке соответствует равная ей по абсолютной величине отрицательная ошибка. Следовательно, при числе  $n$  измерений, стремящемся к бесконечности, алгебраическая сумма первых степеней истинных ошибок измерения одной и той же величины равна нулю. Если истинное, а следовательно, неизвестное нам, значение измеряемой величины обозначим через  $X$ , а результаты бесконечно большого числа наблюдений — через

$$a_1, a_2, a_3, \dots, a_n,$$

то истинные ошибки измерения будут:

$$\Delta_1 = X - a_1, \Delta_2 = X - a_2, \Delta_3 = X - a_3, \dots, \Delta_n = X - a_n;$$

при чем:

$$\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n = (X - a_1) + (X - a_2) + (X - a_3) + \dots + (X - a_n) = 0 \dots \dots \dots (1)$$

или, употребляя Гауссово обозначение для знака суммы:

$$\Sigma \Delta = [\Delta] = 0 \dots \dots \dots (2)$$

Подтверждением для третьего свойства отчасти может служить то, что случайная ошибка не может превышать той наименьшей величины, которая выражает точность употребленного снаряда; например, если точность верньера теодолита есть 1 минута, то случайная ошибка в оценке по лимбу точности отсчитываемого направления на предмет не должна быть в этом случае более + 1 или — 1 минуты; точно так же, если линия местности измеряется двадцатиметровой лентой (т.е. с делениями в 0,1 м), то случайная ошибка в оценке на глав десятых долей деления при последнем наложении ленты на линию, не может превышать 0,01 доли метра.

§ 141. Арифметическая середина равноточных наблюдений и ее свойства. На основании второго свойства случайных ошибок вытекает, что  $[\Delta] = 0$  или  $\lim_{n \rightarrow \infty} [\Delta] = 0$  что то же самое:

$$(X - a_1) + (X - a_2) + (X - a_3) + \dots + (X - a_n) = 0$$

или

$$nX = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n.$$

Откуда:

$$X = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}, \dots \dots \dots (3)$$

т.е. истинное значение неизвестной, при бесконечно большом числе наблюдений, равно арифметическому среднему из результатов измерения.

Этот принцип известен под именем начала арифметической середины; его принято распространять и на конечное число наблюдений, т.е. в том случае, когда  $n$  не равно  $\infty$ , все-таки полагают:

$$x_0 = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}{n}, \dots \dots \dots (4)$$

при чем разность:

$$X - x_0 = M \dots \dots \dots (5)$$

принято называть ошибкою арифметической середины.

Если  $x_0$  есть вероятнейшее значение измеряемой величины, то разности:

$$\left. \begin{array}{l} x_0 - a_1 = v_1 \\ x_0 - a_2 = v_2 \\ x_0 - a_3 = v_3 \\ \dots \dots \dots \\ x_0 - a_n = v_n \end{array} \right\}, \dots \dots \dots (6)$$

выражающие отклонения результатов измерения от арифметической середины принято называть вероятнейшими ошибками данного ряда наблюдений.

Взяв сумму равенств (6), найдем:  $nx_0 = [a] + [v]$ .

Откуда:  $x_0 = \frac{[a]}{n} = \frac{[v]}{n}$ . Принимая же во внимание равенство (4) и имея в виду, что  $n$  не равно  $\infty$ , необходимо принять:

$$[v] = 0 \dots \dots \dots (7)$$

Это есть первое свойство арифметической середины, выговаривающееся так: сумма всех отклонений данного ряда наблюдений от арифметической их середины равна нулю.

Возводя же равенства (6) почленно в квадрат и складывая их, получим:

$$[v^2] = nx_0^2 - 2[a]x_0 + [a^2],$$

но  $x_0 = \frac{[a]}{n}$ ,

а потому:  $[v^2] = \frac{[a]^2}{n} - 2 \frac{[a]^2}{n} + [a^2] = [a^2] - \frac{[a]^2}{n} \dots \dots \dots (8)$

Предположив теперь, что не  $x_0$ , а какая-либо другая величина вероятнейшее значение, найдем:

$$\left. \begin{aligned} x_1 a_1 &= u_1 \\ x_1 - a_2 &= u_2 \\ x_1 - a_3 &= u_3 \\ \dots &\dots \\ x_1 - a_n &= u_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (9)$$

Поступая с равенством (9) так же, как и с (6), найдем:

$$[u^2] = nx_1^2 - 2[a]x_1^2 + [a^2] \dots \dots \dots (10)$$

Но так как из равенства (8) следует, что

$$[a^2] = [v^2] = \frac{[a]^2}{n} \dots \dots \dots (11)$$

то, заменяя в равенстве (10) сумму  $[a^2]$  ее значением из равенства (11), получаем:

$$\begin{aligned} [u^2] &= nx_1^2 - 2[a]x_1 + [v^2] + \frac{[a]^2}{n} = [v^2] + n \left\{ x_1^2 - 2 \frac{[a]}{n} x_1 + \frac{[a]^2}{n^2} \right\} = \\ &= [v^2] + n \{ x_1^2 - 2x_0x_1 + x_0^2 \} = [v^2] + n(x_0 - x_1)^2 \dots \dots (12) \end{aligned}$$

И так как  $n$  всегда положительно (число наблюдений), то  $n(x_0 - x_1)^2 > 0$ , а потому получаем 2-е свойство арифметической середины  $[v^2] < [u^2]$ , которое читается так: для арифметической середины сумма квадратов погрешностей есть minimum.

Справедливо будет и обратное положение, что когда сумма квадратов ошибок результатов отдельных наблюдений будет minimum, то значение неизвестного должно быть равно арифметической середине. Действительно, чтобы сумма:

$$(x - a_1)^2 + (x - a_2)^2 + (x - a_3)^2 + \dots + (x - a_n)^2$$

была minimum, необходимо, чтобы первая производная была 0, а вторая — положительная. Первая производная, приравненная нулю, дает:

$$2(x - a_1) + 2(x - a_2) + \dots + 2(x - a_n) = 0$$

или  $x = \frac{[a]}{n} = x_0, \dots \dots \dots (13)$

а вторая производная  $= 2n > 0$ , так как число наблюдений  $n$  всегда положительно.

§ 142. Абсолютная и относительная погрешность. Погрешность  $\Delta = x - a$ , приходящуюся на всю измеряемую величину  $x$ , как представляющую вследствие тщательности наблюдений весьма малую величину, принято обозначать через  $dx$  и называть абсолютной погрешностью, погрешность же  $\frac{dx}{x}$ , т.е. приходящуюся на единицу измеряемой величины, называют относительной погрешностью. Вместо  $\Delta$  можно брать  $v_i = x_0 - a_i$ , где  $i$  обозначает номер наблюдения данного ряда.

Если желательно сличить измерения двух различных рядов каждый состоящий из равноточных между собою наблюдений, но первый ряд отличен от второго по отношению к инструменту, наблюдателю и внешним условиям, то приходится составлять и сравнивать относительные их ошибки; так, напр., измерялась линия длиной в 125 м, и первый ряд наблюдений дает числовые значения ошибок

$$v_1 = -0,05 \text{ м}; v_2 = +0,07 \text{ м} \text{ и } v_3 = -0,01 \text{ м}.$$

Для второго ряда длина линии 315 м и ошибки:

$$v' = -0,07 \text{ м}; v'' = +0,01 \text{ м} \text{ и } v''' = +0,05 \text{ м}.$$

Найдем относительные ошибки для третьих наблюдений обоих рядов, они будут:

$$O' = \frac{1}{12500} \text{ и } O'' = \frac{3}{31500} = \frac{1}{6300}.$$

И так как  $O' < O''$ , то третье наблюдение первого ряда более надежно, чем третье наблюдение второго ряда.

§ 143. Середина ошибок и средняя квадратическая ошибка. Если бы мы стали применять начало арифметической середины к данному ряду ошибок, то, напр., из двух рядов измерений двух линий нашли бы, что середины ошибок были бы:

$$v_0^I = \frac{-0,09 + 0,11 - 0,02}{3} = 0,00$$

$$v_0^{II} = \frac{-0,07 + 0,01 + 0,05}{3} = -\frac{0,01}{3} = -0,003 \dots,$$

т.е., что первый ряд наблюдений оказался лучше второго ряда; между тем, абсолютные ошибки второго ряда менее абсолютных ошибок первого ряда и на первый взгляд скорее кажется, что второй ряд лучше первого. Очевидно, что здесь знаки ошибок сыграли большую роль.

Чтобы избежать влияния знаков абсолютных ошибок наблюдений на среднюю величину ошибки, т.е. величину ошибки, средним числом приходящуюся на одно наблюдение целого ряда  $n$  наблюдений, называемую „срединою ошибок“, можно было бы взять среднее арифметическое из абсолютных величин ошибок, тогда для первого ряда было бы:  $\frac{22}{3} = 7,33$ , а для второго ряда:  $-\frac{13}{3} = 4,33$ , а теперь ясно, что второй ряд имеет более благоприятные результаты наблюдений; но еще ярче выявится средняя ошибка ряда, когда введем понятие о средней квадратической ошибке. Она даст возможность установить связь между средней ошибкой арифметической середины и средней ошибкой одного данного ряда.

Определение средней ошибки равноточных наблюдений. Выражение:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \dots \dots \dots (14)$$

т.е. квадратный корень из среднего арифметического квадратов абсолютных ошибок наблюдений, принято называть средною (квадратической) ошибкою данного ряда наблюдения.

Для предыдущего примера:

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{0,081 + 0,0121 + 0,0004}{3}} = \pm \sqrt{0,0069}$$

$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{0,0049 + 0,0001 + 0,0025}{3}} = \pm \sqrt{0,0025}$$

$$m_1 = \pm 0,08$$

$$m_2 = \pm 0,05.$$

Средняя квадратическая ошибка второго ряда менее средней ошибки первого ряда, т.-е. второй ряд более точен, чем первый.

Средняя ошибка (квадратическая) не допускает взаимно уничтожаться величинам случайных ошибок, встречающимся с разными знаками в наблюдениях; а потому, при вычислении ее, больше по абсолютной величине случайные ошибки сильнее отражаются на ее величине  $m$ .

Таким образом, по величине средней ошибки  $m$  можно судить о точности наблюдений, произведенных над искомой величиной: чем меньше ошибка  $m$ , тем точнее ряд произведенных наблюдений. Число  $h$  обратное  $m$ , т. е.  $h = \frac{1}{m}$  принято называть мерою точности данного ряда наблюдений.

§ 144. Вычисление средней ошибки из наблюдений. В случае, когда при наблюдениях над величиною  $x$ , получается ряд ее приближенных значений  $a_1, a_2, \dots, a_n$ , сама же величина  $x$  как и истинные случайные ошибки этого ряда, неизвестна, а потому

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= x - a_1 \\ \Delta_2 &= x - a_2 \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta_n &= x - a_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

и средняя квадратическая ошибка  $m$  ряда  $a_1, a_2, \dots, a_n$  также не может быть точно найдена, ибо (по формуле 14):

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$$

Но так как вместо  $x$  мы довольствуемся вероятнейшим его значением:

$$x_0 = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n} \dots (4) \text{ или } x_0 = \frac{[a]}{n}, \dots \dots \dots (13)$$

то, вместо истинных ошибок  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ , можно рассматривать вероятнейшие ошибки (уклонения величин  $a_1, a_2, \dots, a_n$  от  $x_0$ ), т.-е.

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= x_0 - a_1 \\ v_2 &= x_0 - a_2 \\ &\dots \dots \dots \\ v_n &= x_0 - a_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

Найдем  $m$  в зависимости от  $v_1, v_2, \dots, v_n$ .  
Равенства (6) дают:

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= x_0 - v_1 \\ a_2 &= x_0 - v_2 \\ &\dots \dots \dots \\ a_n &= x_0 - v_n \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (15)$$





Откуда: 
$$M = \pm \sqrt{\frac{m^2}{n} \dots} \quad (20) \quad \text{или} \quad M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \dots \quad (21)$$

и окончательно: 
$$M = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}} \dots \quad (22)$$

Число  $H = \frac{1}{M}$  будем называть мерю точности арифметической середины.

Очевидно, что  $H = \frac{1}{M} = \frac{\sqrt{n}}{m} = \sqrt{n \cdot h}$  или  $\frac{H}{h} = \sqrt{n}$ , . . . . . (22 bis)

т.е. мера точности арифметической середины более меры точности одного наблюдения из целого ряда наблюдений. А потому, если желаем, чтобы арифметическая середина была в  $n$  раз точнее одного наблюдения, нужно произвести  $n^2$  таких наблюдений.

§ 146. Понятие о вероятной ошибке. Иногда вместо средней ошибки  $m$  вводят понятие о вероятной ошибке  $r$  данного ряда наблюдений.

Связь между  $r$  и  $m$  выражается формулой  $r = 0,6745 m$ , или приближенно  $r = \frac{2}{3} m$ .

§ 147. Предельная или максимальная ошибка наблюдения есть наибольшая числовая величина ошибки, которую можно допустить в данном ряде наблюдений. Эта ошибка имеет значение для всех инструкций по измерениям, а следовательно, и для геодезии.

Понятие о предельной (максимальной) ошибке измерений можно получить на основании следующего соображения: допустим, что сделан очень большой ряд наблюдений одной и той же величины, напр., не менее тысячи (1000) наблюдений. Найдем арифметическую середину  $x_0$  и числовые величины ошибок  $x_0 - x_1 = v_1, x_0 - x_2 = v_2 \dots x_0 - x_{1000} = v_{1000}$ . Расположив все ошибки в ряд по абсолютной величине, подсчитаем число разных по абсолютной величине ошибок, а затем найдем среднюю ошибку  $m$ ; после этого будем определять вероятность <sup>1)</sup> того, что в данном ряде наблюдений встречается ошибка, равная по величине  $3m$ . Опыт неоднократно показал, что ошибок, меньших  $3m$ , будет из 1000 разных однородных ошибок 997, а ошибок, больших  $3m$ , только три, и вероятность появления в данном ряде в тысячу ошибок тройной средней ошибки будет, следовательно,  $p = 0,003$  (ибо благоприятных случаев будет 3, а всевозможных тысяча). Точно таким же образом можно найти, что вероятность существования в данном ряде (в 1000 ошибок) ошибки, равной четверенной средней, равна 0,001; а это показывает, что почти невероятно встретить такую ошибку в тщательных наблюдениях. Поэтому-то при составлении инструкций для геодезических измерений часто можно встретить указание, что ошибка произведенного измерения должна быть менее тройной средней ошибки, так как в тщательных наблюдениях такая ошибка почти невозможна, ибо она встречается средним числом не более трех раз на тысячу измерений. Поэтому предельною (наибольшею) ошибкою принято считать утроенную среднюю ошибку.

§ 148. Общая арифметическая середина о понятии и весе наблюдений. Пусть  $x_1, x_2 \dots x_n$  — наблюдения неодинаковой между собою точности над величиною  $x$ , напр., угла, последовательно измеренного инструментами с различной точностью верньеров, различными по опытности наблюдателями. Начало арифметической середины имело место в случае наблюдений одинаковой точности. теперь же у нас наблюденные величины  $x_1, x_2 \dots x_n$  имеют различные точности; чтобы образовать из них среднее арифметическое, представим себе, что  $x_1$  можно счи-

<sup>1)</sup> Т.е. дробь, числитель которой равен числу благоприятных данному событию случаев, а знаменатель число возможных случаев.



дений обратно пропорциональными числу секунд в точности верньеров, т.-е. положив  $p_1 = \frac{q}{60}$  и  $p_2 = \frac{q}{10}$ , и где  $q$  — коэффициент пропорциональности, можно написать:

$$x_0 = \frac{10^\circ 15' 60'' \cdot \frac{q}{60} + 10^\circ 15' 40'' \cdot \frac{q}{10}}{\frac{q}{60} + \frac{q}{10}} = \frac{q (10^\circ 15' 40'' \cdot \frac{1}{60} + 10^\circ 15' 40'' \cdot \frac{1}{10})}{q (\frac{1}{60} + \frac{1}{10})} =$$

$$= \frac{10^\circ 15' 60'' + (10^\circ 15' 40'') \cdot 6}{1 + 6} = 10^\circ 15' + \frac{60'' + 40'' \cdot 6}{7} = 10^\circ 15' 43''.$$

*Примечание.* Среднее арифметическое, как показывает предыдущий пример, достаточно брать только из числа секунд, а общее обоем измерениям число  $10^\circ 15'$  войдет без перемены в окончательный результат.

Так как вес  $p$  есть число наблюдений, то для каждого результата наблюдения в ряде  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  можно допустить, как для арифметической середины, некоторую среднюю ошибку. Пусть для  $x_1$  она будет  $m_1$ , для  $x_2$  —  $m_2$ , и т. д. Тогда на основании формулы:  $M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}}$  для средней ошибки простой арифметической середины будем иметь:

$$m_1 = \frac{f_1}{\sqrt{p_1}}, m_2 = \frac{f_2}{\sqrt{p_2}}, \dots, m_n = \frac{f_n}{\sqrt{p_n}},$$

вдесь  $f_1$  есть средняя ошибка первого ряда фиктивных наблюдений  $l_1', l_1'', l_1''', \dots, l_1^{(p_1)}$ ,  $f_2$  — второго ряда, и т. д.

Если допустим, что  $f_1 = f_2 = \dots = f_n = f$ , т.-е., что средняя ошибка одного фиктивного наблюдения в каждом ряде одна и та же  $f$ , то:

$$m_1^2 = \frac{f^2}{p_1}, m_2^2 = \frac{f^2}{p_2}, \dots, m_n^2 = \frac{f^2}{p_n}.$$

Отсюда получим  $m_1^2 : m_2^2 = p_2 : p_1$ , т.-е. веса обратно пропорциональны квадратам средних ошибок, а потому всегда можно принять:

$$p_1 = \frac{k}{m_1^2} \text{ или } p_1 = \frac{1}{m_1^2} \text{ и } p_2 = \frac{k}{m_2^2} \text{ или } p_2 = \frac{1}{m_2^2} \text{ } ^1).$$

За единицу веса можно брать и наблюдение более точное. Если вес 2-го наблюдения принять за единицу, то вес 1-го будет  $= \frac{10}{60} = \frac{1}{6}$  и

$$x_0 = 10^\circ 15' + \frac{60 \cdot \frac{1}{6} + 40 \cdot 1}{\frac{1}{6} + 1} = 10^\circ 15' 43''.$$

**§ 149.** Средние ошибки функций непосредственных наблюдений. I. Пусть дано, что  $X = kx$ . Наблюдается  $x$ , т.-е. некоторая часть  $X$ ; из наблюдений известна средняя ошибка  $m$  наблюдаемой величины  $x$ ; требуется найти ошибку  $M$  всей величины  $X$ .

Пусть наблюдения над  $x$  дали результаты  $l_1, l_2, l_3, l_4, \dots, l_n$ , тогда, обозначая истинные ошибки наблюдений через  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ , найдем:

$$\delta_1 = x - l_1, \delta_2 = x - l_2, \text{ и т. д.}$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n}}.$$

<sup>1)</sup> Коэффициент  $k$ , принятый в только-что рассмотренном примере равным  $q$ , при вычислении  $x$ , исчезает.

Умножая каждое  $\delta$  на  $k$ , находим:

$$k\delta_1 = kx - kl_1, \quad k\delta_2 = kx - kl_2, \quad \text{и т. д.}$$

Так как  $kx = X$ , то, положив  $kl_1 = X_1$ ,  $kl_2 = X_2$ , . . . . . видим, что  $k\delta_1 = X - X_1$ ,  $k\delta_2 = X - X_2$ , и т. д.

Если ошибки величин  $X_1, X_2, \dots$  обозначим через  $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ , то они будут:

$$\Delta_1 = X - X_1 = k\delta_1 \\ \Delta_2 = X - X_2 = k\delta_2.$$

По формуле средней ошибки  $m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$  найдем для  $M$  следующее значение:

$$M = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[k^2\delta^2]}{n}} = \pm k \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n}}.$$

Но  $\pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} = m$ , следовательно:  $M = \pm km$ . Формула  $M = km$  показывает, что величина  $M$  будет при одном и том же  $m$  тем более, чем более  $k$ , и так как  $k$  показывает, какую именно долю  $x$  от  $X$  мы измеряли, то заключаем, что, чем мельче будет доля  $x$  всей искомого величины  $X$ , тем значительнее будет средняя ошибка  $M$  результата  $X$ .

Если, например, для отыскания линии  $AB = X$  (черт. 245) взяты на местности линии  $AC$  и  $BC$  и, по измерении их, от точки  $C$  отложены:

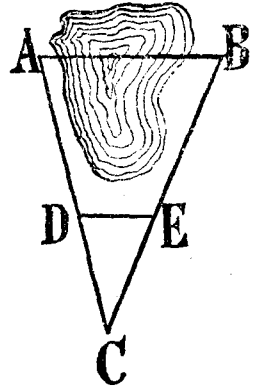
$$DC = \frac{1}{k} AC \quad \text{и} \quad CE = \frac{1}{k} CB,$$

а затем найдена из  $n$  кратких измерений:

$$DE = x_0 = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

с среднюю ошибку

$$m = \pm \sqrt{\frac{[(x_0 - x_i)^2]}{n-1}},$$



Черт. 245.

то  $M = \pm km$  будет среднюю ошибку длины  $X$ .

Эта формула применима и к ошибке в расстоянии  $D$ , определяемом дальномером по формуле  $D = kl$ .

Точно так же, если длина ленты  $x$  вместо 20 метров имела бы длину  $20 \text{ м} \pm m$ , где  $m$  есть средняя ошибка истинной длины ленты и, при измерении такой лентой линии  $X$ , длина ленты  $x$  уложилась бы  $k$  раз вдоль измеряемой линии  $X$ , при чем каждое отложение было бы безошибочно, то мы нашли бы ошибку в „мере линии“ в виде  $M = \pm km$ , т.е. вместо  $X$  получилось бы в результате  $(X \pm M)$ .

II. Даны две величины  $x_1$  и  $x_2$ , при чем  $x_1 + x_2 = X$ , каждая из этих величин может быть независимо от другой измерена. Допустим, что над каждой величиной сделано одинаковое число наблюдений, т.е. наблюдения дали следующие результаты:

для  $x_1$   $l'_1, l'_2, l'_3, l'_4, \dots, l'_n$  и  $m_1 = \pm \sqrt{\frac{[(x_1 - l'_k)^2]}{n}}$ ,

для  $x_2$   $l''_1, l''_2, l''_3, l''_4, \dots, l''_n$  и  $m_2 = \pm \sqrt{\frac{[(x_2 - l''_k)^2]}{n}}$ .

Требуется найти среднюю ошибку  $M$  суммы  $X$  двух определяемых из наблюдений слагаемых  $x_1$  и  $x_2$ .

Так как по условию  $x_1 + x_2 = X$ , то  $n$  наблюдений дают:

$$\left. \begin{array}{l} X_1 = l'_1 + l''_1 \\ X_2 = l'_2 + l''_2 \\ X_3 = l'_3 + l''_3 \\ \dots \\ X_n = l'_n + l''_n \end{array} \right\} \text{ и соответственно: } \left\{ \begin{array}{l} \Delta_1 = X - X_1 = x_1 + x_2 - \\ - (l'_1 + l''_1) = (x_1 - l'_1) + \\ + (x_2 - l''_1) = \delta'_1 + \delta''_1 \\ \Delta_2 = \delta'_2 + \delta''_2 \\ \dots \\ \Delta_n = \delta'_n + \delta''_n \end{array} \right.$$

Составляя квадраты ошибок  $x$ , найдем:

$$\begin{aligned} \Delta_1^2 &= (\delta'_1)^2 + (\delta''_1)^2 + 2 \delta'_1 \delta''_1 \\ \Delta_2^2 &= (\delta'_2)^2 + (\delta''_2)^2 + 2 \delta'_2 \delta''_2 \\ &\dots \\ \Delta_n^2 &= (\delta'_n)^2 + (\delta''_n)^2 + 2 \delta'_n \delta''_n \end{aligned}$$

Складывая эти равенства и имея в виду, что сумма  $2 [\delta' \delta'']$  при  $n$  достаточно большом стремится к нулю, получим:

$$[\Delta^2] = [(\delta')^2] + [(\delta'')^2] = [(x_1 - l'_1)^2] + [(x_2 - l''_1)^2],$$

а следовательно:

$$M^2 = \frac{[\Delta^2]}{n} = m_1^2 + m_2^2.$$

Па. Подобным же приемом нашли бы для функции  $X = x_1 = x_2$ :

$$[\Delta^2] = [(\delta')^2] + [(\delta'')^2] + 2 [\delta' \delta''],$$

а так как  $[\delta' \delta'']$  при  $n$  достаточно большом равна нулю, то формула  $M^2 = m_1^2 + m_2^2$  будет пригодна для функции  $X = x_1 \pm x_2$ .

В частном случае при  $m_1 = m_2 = m$ , найдем:  $M = \pm m \sqrt{2}$ .

Пб. Если  $X = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n$ , то, обозначая  $x_2 + x_3 + \dots + x_n$  через  $y$ , пришли бы к виду:  $X = x_1 + y$  и нашли бы:  $M^2 = m_1^2 + m_y^2$ .

Заменяя  $y$  через  $x_2 + z$ , найдем:  $y = x_2 + z$  и  $m_y^2 = m_2^2 + m_z^2$ , а потому:

$$M^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_z^2.$$

Последовательная замена  $y$  через  $x_2 + z$ ,  $z$  через  $x_3 + u$ , и т. д., приведет нас к формуле.  $M^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2$ . При  $m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$ , получим:  $M^2 = \pm m \sqrt{n}$ .

На простом теодолите угол  $X$  получается, как разность двух отсчетов, делаемых при наведении на левый и правый предметы,  $X = x_2 - x_1$ . Если допустить, что средняя ошибка каждого отсчета (не превышает) равна точности  $t$  веньера, а других ошибок (от неточной центрировки, от наклона вех, неточности наведения трубой и т. п.) не существует, то средняя ошибка измеренного угла будет:  $M = \pm t \sqrt{2}$ . Точно так же, если  $t$  есть точность отсчитывания по рейке, то средняя ошибка в превышении одной точки над другой, определенном нивелированием, из середины, для каждой станции будет:  $\pm t \sqrt{2}$ . Если в полигоне  $n$  углов и каждый угол измерен с средней ошибкой  $M$ , то средняя ошибка суммы  $S$  углов полигона:  $M_s = \pm M \sqrt{n}$  и так как  $M = \pm t \sqrt{2}$ , то  $M_s = \pm t \sqrt{2n}$ . Предельная же ошибка равна  $3M_s$ , а потому считают, что наивысшая разница  $R$  между суммой  $S_s$  измеренных углов полигона и теоретической суммой  $S_t$  углов полигона  $S_t = 2d (n - 2)$ , т.е.  $S_s - S_t$  не должна превышать утроенной точности веньера угломерного инструмента, умноженной на корень квадратный из двойного числа  $n$  углов полигона. Измерены углы восьмиугольника теодолитом с точностью веньера

в 10". Разность  $R = S_p - S_z = \pm 3 \cdot 10'' \cdot \sqrt{2 \cdot 8} = \pm 3 \cdot 40'' = 120'' = 2'$ , т.е. в самом неблагоприятном случае мы должны получить  $R$  не более двух минут, если допускаем, что в каждом угле средняя ошибка равна  $10'' \sqrt{2}$ . Имея же в виду, что ошибка в угле при тщательных измерениях не превысит точность верньера, а будет менее ее, при чем ошибки могут взаимно уничтожаться, встречаясь с разными знаками, в строгих инструкциях допускается  $R$  допускать не более  $t \sqrt{2n}$ , т.е. только средней ошибки суммы, но не предельной. На том же основании средняя ошибка в превышении одной точки над другой, определенном сложным нивелированием, будет  $t \sqrt{2n}$ , где  $t$  — точность отсчитывания по рейке и  $n$  — число пройденных с нивелиром станций.

III. Если бы данная функция имела вид  $X = a_1 x_1 \pm a_2 x_2 \pm a_3 x_3 \pm \dots \pm a_n x_n$ , то доказательством, подобным предыдущему, найдем:

$$M = \sqrt{a_1^2 m_1^2 + a_2^2 m_2^2 + \dots + a_n^2 m_n^2}.$$

Эту формулу можно применить к общей арифметической середине:

$$x_0 = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \dots + p_n x_n}{[p]}$$

если будем ее писать в виде:

$$x_0 = \frac{p_1}{[p]} x_1 + \frac{p_2}{[p]} x_2 + \dots + \frac{p_n}{[p]} x_n;$$

коэффициенты  $a_1, a_2, \dots$  общей формулы будут иметь вид:

$$\frac{p_1}{[p]} = a_1, \frac{p_2}{[p]} = a_2, \dots, \frac{p_n}{[p]} = a_n,$$

а искомая ошибка  $M$  определяется по формуле:

$$M = \sqrt{\frac{[e^2 p]}{[p] (n-1)}}.$$

IV. Если данная функция не имеет линейного вида и зависит от нескольких непосредственно наблюдаемых величин  $x, y, z, \dots$ , то вообще она представляется формулою:

$$u = f(x, y, z, \dots).$$

Полагая, что  $x_0, y_0, z_0, \dots$  суть приближенные значения аргументов, найденные из наблюдений, найдем приближенное значение  $u_0$  функции  $u$ :

$$u_0 = f(x_0, y_0, z_0, \dots),$$

значение  $x - x_0 = \Delta x_0, y - y_0 = \Delta y_0, z - z_0 = \Delta z_0$  будут истинные ошибки аргумента, а  $u - u_0 = \Delta u$  ошибка (истинная) функции  $u$ . Пользуясь строкой Тейлора, найдем:

$$\Delta u = \Delta x_0 \frac{df}{dx} + \Delta y_0 \frac{df}{dy} + \Delta z_0 \frac{df}{dz}.$$

Таким образом, зная  $dx$  истинные ошибки аргументов, можно найти истинную ошибку функции. Применим этот прием к отысканию средней ошибки функции  $u = f(x, y, z, \dots)$ .

Положим  $x_1 = x_0 + p, y = y_0 + q, z = z_0 + r, \dots$ . Величины  $x_0, y_0, z_0$  весьма близки к  $x, y, z$ , а  $p, q, r$  — малые поправки.

Если  $x_0, y_0, z_0$  сопровождаются средними ошибками  $m_1, m_2, m_3$ , то приближенные значения всегда имеют средние ошибки = 0, а поправки  $p, q, r$  получают средние ошибки  $m_1, m_2, m_3$ . И если  $f(x, y, z) = f(x_0 + p, y_0 + q, z_0 + r, \dots)$ , то пользуясь строкой Тейлора, будем иметь:  $f(x, y, z, \dots) = f(x_0, y_0, z_0, \dots) + \frac{df}{dx} p + \frac{df}{dy} q + \frac{df}{dz} r + \dots$  или  $u = C + c_1 p + c_2 q + c_3 r + \dots$ , где  $C$  безошибочно, так как оно равно  $f(x_0, y_0, z_0, \dots)$ .

Применительно к III случаю, найдем:  $m_n = \sqrt{c_3^2 m_p^2 + c_2^2 m_q^2 + c_3^2 m_r^2 + \dots}$

$$\text{или } m_n = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 m_z^2 + \dots}$$

§ 150. Определение средней ошибки по разностям двойных измерений.

Часто приходится одному и тому же наблюдателю, одним и тем же инструментом и одним и тем же методом измерять разные величины (напр., линии полигона), но мерить их по два раза, как ради контроля, так и для того, чтобы судить о точности сделанных измерений.

Пусть  $n$  величин дали два ряда измерений:

$$\left. \begin{matrix} l_1, l_2, l_3, \dots, l_n \\ l'_1, l'_2, l'_3, \dots, l'_n \end{matrix} \right\} \text{ и разности } \begin{cases} d_1 = l_1 - l'_1 \\ d_2 = l_2 - l'_2 \\ \dots \\ d_n = l_n - l'_n \end{cases}$$

Истинное значение каждой разности есть нуль, а следовательно, разность суть истинные ошибки.

Из них средняя квадратическая разность будет:

$$m_d' = \pm \sqrt{\frac{[d d]}{n}}$$

Но функция  $X = x_1 - x_2$  дает среднюю ошибку:

$$M_x = \sqrt{m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2}$$

Если  $m_{x_1} = m_{x_2} = m_x$ , то  $M_x = m_x \sqrt{2}$ .

В данном случае

$$X = d = l_i - l'_i$$

и

$$M_1 = m \sqrt{2}$$

Очевидно, что здесь  $M_x$  и  $m_d$  имеют одно и то же значение, и

$$M_x = m_d,$$

а потому

$$m \sqrt{2} = \pm \sqrt{\frac{[d d]}{n}}$$

или

$$m = \pm \sqrt{\frac{[d d]}{2n}}$$

В случае, если разности  $d$  содержат систематическую разность, что обнаружится тем, что в разностях преобладает один знак и  $[d d]$  не равна 0, то вероятнейшая величина систематической ошибки разности двух измерений будет  $\frac{[d]}{n} = q$  и для вывода средней ошибки измерения надо составить  $d_1 - q$ ,  $d_2 - q$ ,  $d_3 - q$ , ...,  $d_n - q$ .

При чем

$$[d - q] = 0$$

и

$$m_d = \sqrt{\frac{[(d - q)(d - q)]}{n - 1}}$$

$$am = \sqrt{\frac{[(d - q)(d - q)]}{2(n - 1)}}$$



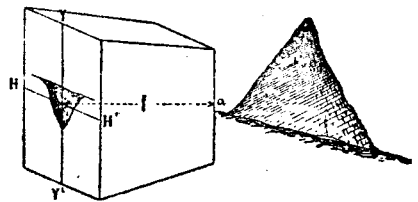
## ГЛАВА XII.

### Фотограмметрия и стереофотограмметрия.

(Общие понятия).

§ 151. А. Фотограмметрия. Определение и общее понятие. В горных странах, когда обычные способы съемки становятся затруднительными, во время изысканий рекомендуется применять фото- и стереофотограмметрию. Фотограмметрия есть не иное что, как применение фотографии к основному вопросу низшей геодезии,—к составлению плана местности в горизонталях. Этот прием составления нивелирного плана сводит всю детальную полевую работу по съемке местности к поразительному минимуму, так как требует от съемщика, главным образом, умения пользоваться фотографической камерой; он состоит в том, что прежде всего с помощью фотографической камеры получают обычные вертикальные перспективные снимки с той местности, для которой требуется составить план в горизонталях, а затем путем обмера с этих снимков получают все необходимые данные к тому, чтобы иметь возможность: 1) применить способ засечек для составления горизонтальной проекции снятой местности и 2) собрать цифровые данные об относительной высоте точек местности над центром объектива фотографической камеры. Очевидно, что этот способ съемки местности основан на теории перспективы, и так как он не дает непосредственно результатов в виде цифровых данных, как, например, угломерная, тахеометрическая съемка, нивелировка, то он ближе всего подходит к графическому приему съемки местности мецзулою, а это последнее обстоятельство справедливо подало повод к тому, чтобы этот способ называть фото-топографией. Точные перспективные изображения, которые так легко получаются в настоящее время при помощи фотографии, почти тотчас по изобретении фотографии вызвали мысль о возможности построения горизонтального плана местности по двум снятым с нее фотографиям.

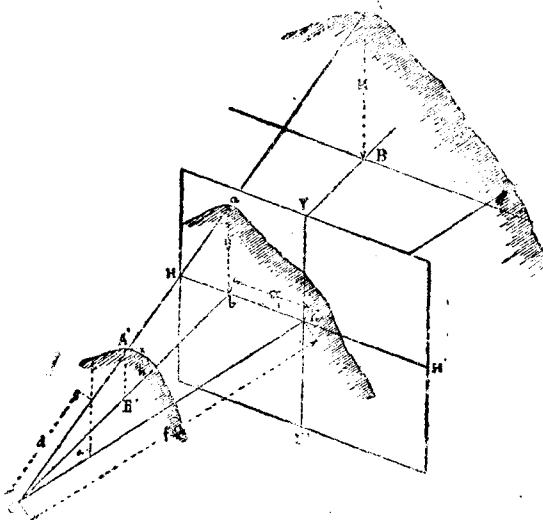
§ 152. Геометрические основания фотограмметрии 1). Объектив фотографической камеры дает на ее матовом стекле (черт. 246), на расстоянии, равном главному его фокусному расстоянию  $f$ , обратное перспективное изображение предметов местности. Условимся отмечать, при горизонтальном положении оптической оси объектива, на матовом стекле, следы вертикальной и горизонтальной плоскостей, проходящих через центр объектива, в виде прямых  $VV'$  и  $HH'$  и называть их главной вертикалью и главной горизонталью. Если представим себе, что глаз  $C$  (черт. 247) наблюдателя совмещен с центром  $a$  объектива камеры (черт. 246), а перспективное изображение в прямом виде перенесено и установлено в точку  $K$  с переди камеры, параллельно матовому стеклу, на расстоянии  $CK$ , равном фокусному расстоянию  $f$  объектива, при том так, чтобы главная вертикаль и главная горизонталь находились в соответствующих им плоскостях, проходящих через центр объектива, то наблюдателю картинная



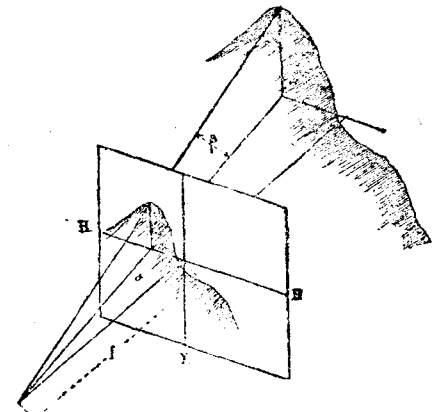
Черт. 246.

1) Более подробно см. 1) Ed. Dolezal. — Die Anwendung der Photographie in der praktischen Messkunst. Halle a S, 1896. 2) Н. И. Щуров. — Применение фото-топографии к изысканиям путей сообщения. Записки Кавказского Отделения Русского Технического Общества. Том XXIV, 1898. Выпуск VII. 3) Г. Н. Шебуов и Н. Н. Веселовский. — Геометрические основания фотограмметрии. Москва, 1899. 4) Е. Девиль. — Фотографическая съемка со включением оснований начертательной геометрии и перспективы. Перевод с английского Шталь, изд. Гл. Гидрографическ. Управл., редакц. Вязоков. СПб. 1897. 5) Р. Чилле. Практическая фото-топография. Журналы М. И. С. 1897. Кн. 4—6. 6) G. Lion Towne. — Astronomi geodésie, topographie pratique. Paris. 1896.

плоскость, т.е. фотографический снимок, заменит собою снятую на него местность. Если теперь спроектируем на главную горизонталь  $HH'$  изображение  $a$  точки  $A$  местности (на чертеже 247 вершину горы) в точку  $b$ , и примем  $HH'$  за ось абсцисс,  $VV'$  — за ось ординат, а точку  $K$ , лежащую на главной горизонтали  $HH'$  картинной плоскости и являющуюся проекцией на нее глаза наблюдателя и называемую главной точкой или главным



Черт. 247.



Черт. 248.

пунктом картинной плоскости, — за начало координат, то положение точки  $a$  на плоскости перспективы будут определяться прямоугольными координатами:

$$x = Kb \text{ и } y = ba \dots \dots \dots (1)$$

Соединяя затем точку  $b$  с глазом  $C$  наблюдателя, мы получим два угла: 1)  $bcK = \alpha$ , лежащий в горизонтальной плоскости и определяющий собою проекцию  $Cb$  направления  $AC$  на данную точку  $A$  местности (горизонтальное проложение  $Cb$  луча зрения  $CA$  и называемый углом направления, а 2) вертикальный угол  $\beta = aCb$  (черт. 248) или иначе угол высот. По этим углам и по  $CK = f$ , равенства (1) можно представить в виде:  $x = f \cdot \operatorname{tg} \alpha$  и  $y = Cb \cdot \operatorname{tg} \beta$ , но так как  $CK = f = Cb \cdot \cos \alpha$  или  $Cb = f : \cos \alpha$ , то

$$x = f \operatorname{tg} \alpha \text{ и } y = \frac{f}{\cos \alpha} \cdot \operatorname{tg} \beta \dots \dots \dots (2)$$

Эти два уравнения и являют собою закон плоских перспективных изображений.

§ 153. Построение плана местности по двум фотографиям и определение высот точек местности. Положим, что на местности с концов некоторого базиса сняты две фотографии с башни, имеющей вид призматонама, на вершине которой имеется флагшток. Далее допустим, что на бумаге в масштабе, напр.: 1:10000, нанесен этот базис в виде прямой  $o_1o_2$  (черт. 249) и относительно него (пользуясь величиною фокусного расстояния  $f$  и горизонтальными углами  $\alpha$ ) ориентированы обе фотографии. Предположим также, что на обеих фотографиях отмечена главная горизонталь: на первой (на чертеже верхней) в виде прямой  $H_1H_1$ , а на второй (на чертеже см. слева) в виде  $H_2H_2$ . Сама же башня на первой фотографии дает изображение  $abcd\dots$ , а на второй —  $cda\dots$ . Пусть  $A_1$  и  $A_2$  — главные точки картинных плоскостей. Найдем на каждой фотографии изображение одной и той же точки, напр., точку  $d$ , и из нее опустим перпенди-

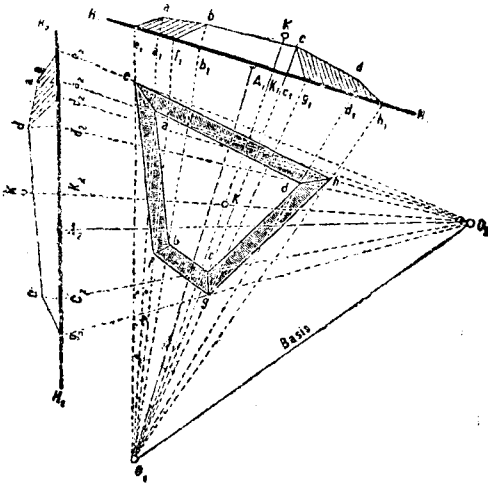
куляры  $dd_1$  и  $dd_2$  на горизонты  $H_1A_1H_1$  и  $H_2A_2H_2$ , заметив эти точки  $d_1$  и  $d_2$  на фотографиях (белую или красную краскою), проведем лучи  $o_1d_1$  и  $o_2d_2$ . В пересечении их на плане получим точку  $d^1$ .

Точно так же определится точка  $g$ , если проведем прямые  $o_1g_1$  и  $o_2g_2$ .

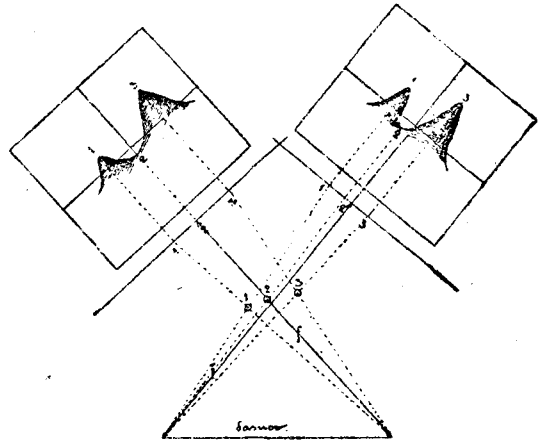
Продолжая далее указанным приемом работу, мы в плане построим наклонные ребра башни  $cg$ ,  $dh$ ,  $ae$ , вполне видимые со станций  $o_1$  и  $o_2$ , четвертое же ребро  $bf$  видно только из  $o_1$  и не видно из  $o_2$ , а потому не может быть построено по двум данным изображениям  $H_1KH_1$  и  $H_2KH_2$ .

Точка  $K$ , как уже сказано, изображает верхушку башни.

Определим высоту этой башни. Для этого прежде всего, применяясь к чертежу 248, выведем общую формулу для нахождения величины высоты  $H = AB$



Черт. 249.



Черт. 250.

в натуральную ее величину, по измеренным на фотографии величинам  $Kb = x$  и  $ab = y$ , по главному фокусному расстоянию  $f$  и расстоянию  $CB' = d$ , взятому по построенному (только что описанным способом засечек) плану. Пусть масштаб плана  $\frac{1}{M}$ , тогда прежде всего найдем величину горизонтального проложения  $d$  в натуральную его величину; оно будет  $CB = D = d \cdot M$ . Искомая высота  $H$  найдется из пропорции  $H : D = y : cb$ , а именно:

$$H = \frac{d \cdot M \cdot y}{Cb},$$

при чем величина  $Cb$  может быть или измерена на бумаге попутно при построении плана, или найдена из треугольника  $CbK$  по формуле:

$$d' = \sqrt{f^2 + x^2}.$$

Таким образом: 
$$H = \frac{d \cdot M \cdot y}{d'} \dots \dots (H).$$

Возвратимся теперь к нашему частному случаю, т.е. нахождению высоты башни  $K$ ; при чем, для упрощения задачи, предположим, что точки  $o_1$  и  $o_2$  имеют равные альтитуды и лежат в общем горизонте  $H_1H_1$  и  $H_2H_2$  обеих фотографий.

<sup>1)</sup> На чертеже 250 показаны две ориентированные фотографии с горной местности, при чем вершины обозначены нечетными цифрами, а долины — четными. Прямые (1, 2, 3) и (1', 2', 3'), параллельные главной горизонтали и отстоящие от концов базиса на расстоянии  $f$  — иногда называются картинными линиями.

Измерим, напр., в миллиметрах, расстояние  $O_1K_1 = 80,1$  мм,  $K_1K = y_1 = 7,0$  мм,  $O_2K_2 = 80,3$  мм;  $K_2K = y_2 = 7,7$  мм;  $O_1K = 53,0$  мм;  $O_2K = 48,3$  мм, тогда, при масштабе чертежа 1:10000, действительные горизонтальные расстояния будут  $O_1K = 53$  м,  $10000 = 530$  м и  $O_2K = 483$  м, а действительные высоты найдутся из пропорций:

$$K_1K : 7 \text{ мм} = 530 \text{ м} : 80,1 \text{ мм} \quad \text{и} \quad K_1K = h_1 = \frac{7}{80,1} \cdot 530 \text{ м} = 46,3 \text{ м},$$

$$K_2K : 7,7 \text{ мм} = 483 \text{ м} : 80,3 \text{ мм} \quad \text{и} \quad K_2K = h_2 = \frac{7,7}{80,3} \cdot 483 = 46,3 \text{ м}.$$

Если в точках  $O_1$  и  $O_2$  на местности непосредственно измерены при помощи вертикального круга углы наклона  $\eta_1$  и  $\eta_2$ , то высоты получатся вычислением  $h_1 = O_1K \cdot \text{tg } \eta_1$  и  $h_2 = O_2K \cdot \text{tg } \eta_2$ . При больших расстояниях, очевидно, должна быть введена поправка за кривизну земли и рефракцию.

Если точки стоянок лежат не на одном горизонте, то прием построения плана все равно не меняется, так как горизонтальные углы остаются те же.

Имея возвышение или понижение каждой точки относительно центра глаза или объектива и зная отметку точки стоянки с инструментом, а также высоту над ней центра объектива инструмента, легко получить отметки всех точек. По отметкам же точек местности можно, интерполицией найти на плане между ними места точек, имеющих одинаковые отметки, напр., в целых метрах. Соединяя плавными кривыми такие точки на плане, получим горизонтали — конечную цель работы.

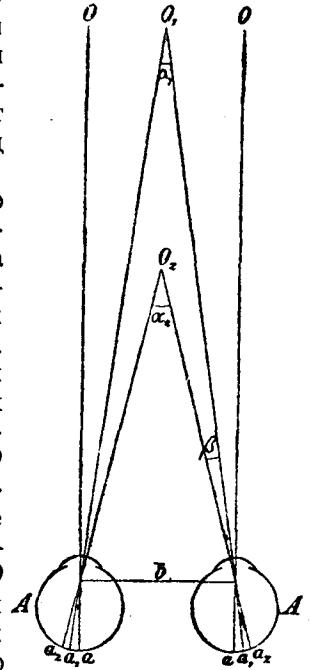
**§ 154. Б. Стереофотограмметрия.** В стереофотограмметрии так же, как и в фотограмметрии, для составления плана местности необходимо иметь с нее всего два одновременных фотографических снимка, полученных с обоих концов одного и того же базиса; следовательно, чтобы применять стереофотограмметрический метод съемки, необходимо располагать фототеодолитом<sup>1)</sup>. Так же, как и там, на этих снимках, должны быть отмечены направления как главной горизонтали  $HH'$ , так и главной вертикали  $yy'$ . Таким образом, по идее полевые действия остаются теми же самыми, что и фотограмметрии, если не считать некоторых усовершенствований, введенных д-м Пульфрихом в устройство фототеодолита, и применения дальномера при измерении базиса. Здесь так же, как и там, местность заменяется фотографическим снимком. Разница заключается лишь в том, что в фотограмметрии план местности чертится графически, методом засечек. Таких снимков должно быть вообще не менее двух, а иногда, когда на одной из этих фотографий нельзя было отыскать идентичной, т.-е. сходной (в сущности той же самой) точки с точкой первого снимка (ее могли закрывать другие точки) приходилось делать третий снимок. Для проведения горизонталей на одном из снимков измеряется ордината  $y$ , по которой и вычисляется превышение  $H$  искомой точки над центром объектива камеры вычисляется по формуле:  $H = \frac{d \cdot M}{\sqrt{x^2 + f^2}} \cdot y$ , где  $M$  знаменатель численного масштаба плана,  $d$  — взятое с плана расстояние,  $f$  — фокусное расстояние объектива камеры,  $x$  — измеренная по фотографии абсцисса данной точки местности, в стереофотограмметрии же каждая точка наносится на план по ее координатам, измеренным на специальном приборе, в котором одновременно стереоскопически и рассматриваются оба фотографических снимка, на приборе, носящем название стереокомпаратора.

Таким образом, стереофотограмметрия основывается на принципах стереоскопии и стереоскопического видения наших глаз, требуя для своего применения, помимо чертежного прибора, еще специального, построенного фирмой Цейсса прибора — стереокомпаратора, значительно облегчающего рассмотрение деталей

<sup>1)</sup> Т.-е. теодолитом, соединенным (снабженным) с фотографической камерой (черт. 259).

фотографических снимков местности, по зато впечатительно затрудняющего применения этого метода. благодаря высокой стоимости самого прибора. В стереоскопии плоские снимки как бы расчлняются в своих частях и соединяются в пространстве в один рельефный снимок, вполне заменяющий два плоских. В стереоскопии плоские снимки как бы расчлняются в своих частях и соединяются в пространстве в один рельефный снимок, вполне заменяющий два плоских. В стереоскопе один предмет не закрывает другой, а отодвигается вперед или назад (в глубину).

§ 155. Стереоскопическое видение. Нам хорошо известно, что глаз человека можно уподобить фотографической камере, а совокупность двух глаз человека сравнивать с дальномером с переменным углом и с постоянным базисом, равным расстоянию между центрами глаз, припимаемым в среднем равным 65 миллиметрам. Изображая весьма удаленного, напр., находящегося на нашем горизонте, предмета  $O$  (черт. 251) в обоих наших глазах  $A$  получаются на одинаково в них расположенных точках  $a$  и  $a$ . Приближение предмета из  $O$  в  $O_1$ , а затем в  $O_2$ , заставляет нас по получаемым в глазах изображениям  $a_1$  и  $a_1$  или  $a_2$  и  $a_2$  сводить обе главные оси наших глаз на предмете  $O_1$  под углом  $\alpha_1$  или в  $O_2$  — под углом  $\alpha_2$ . Понятно, что чем более удален предмет  $O$  от наших глаз  $A$ , находящихся на постоянном расстоянии (базисе)  $b$ , тем острее параллактический угол  $\alpha$ . Таким образом, можно сказать, что с изменением расстояний до предметов меняется параллактический угол  $\alpha$  или что тоже самое меняются в глазу, на ретине расстояния  $aa_1, aa_2, \dots$



Черт. 251.

Из равнобедренного треугольника с параллактическим углом  $\alpha_1$  при вершине  $O_1$  и с основанием  $b$  легко находится его высота  $R$  — расстояние предмета  $O_1$  от линии глаз  $AA$  наблюдателя по формуле:

$$R = \frac{1}{2} \cdot \text{ctg} \frac{\alpha_1}{2} \dots \dots \dots (1)$$

Предельная величина для угла  $\alpha$  равна  $30''$ , так как наши глазные нервы под более острым углом не могут усматривать более удаленные предметы. Итак, если принять  $\alpha = 30''$  или полуминуте, а следовательно, допустить:

$$\text{tg} \frac{1}{2} \alpha = \sin \frac{1}{2} \alpha = \frac{\alpha}{2} \cdot \sin 1',$$

то, зная что  $\sin 1' = \frac{1}{3438}$ , найдем из (1) величину искомого:

$$R = \frac{65 \text{ мм}}{2} \cdot \frac{3438}{0,25} = 446,94 \text{ метра,}$$

т.-е., круглым числом, равным около половины км; за этим пределом удаленные предметы кажутся нам как бы плоскими, малорельефными.

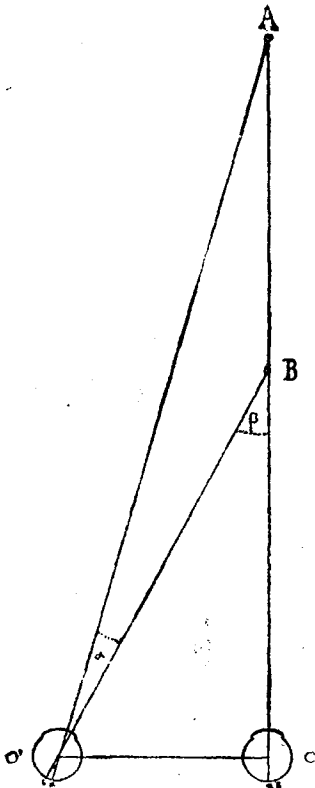
Если мы рассматриваем незнакомую нам местность одним только глазом, то в видимом нами перспективном изображении мы отчетливо различаем, главным образом, отдельные направления, в которых находятся различные предметы, о степени же их удаленности от нас мы делаем лишь различные предположения, подобно тому, как это нам приходится делать, когда мы рассматриваем плоский фотографический снимок. В то время, как один глаз, напр., правый  $O$  (черт. 252), не видит предмета  $A$ , закрытого другим предметом  $B$ , второй (левый) глаз  $O$

лёгко может видеть зараз оба предмета; невольное соединение глазами двух соответственных изображений для каждого предмета местности в одно рельефное, пластичное изображение и позволяет нам видеть разные предметы на различной глубине в пространстве, т.-е. различно удаленными от глаз наблюдателя, — эта то способность глаз человека и называется стереоскопическим видением: у различных людей она неодинакова; так, у молодых людей предельная величина параллактического угла доходит даже до  $10''$ , а имея в виду, что  $b$  колеблется от 58 до 72 мм, можно сказать, что восприятие глубин, колеблясь от 400 до 500 метров, может у молодых людей достигать до полутора километра.

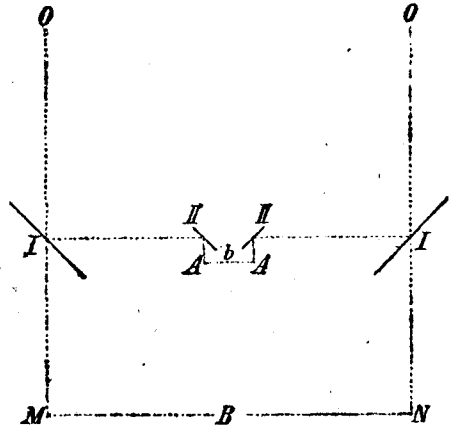
Предел пространственного видения наших глаз можно искусственно увеличивать, притом двояко:

1) путем увеличения самих изображений предмета, применяя зрительные трубы, увеличивающие изображения на сетчатой оболочке глаз, а вместе с ними и расстояния  $a_1 a_1$  и  $a_2 a_2$  (черт. 251), обуславливающие степень восприятия глубин: так, рассматривая пейзаж в полевой бинокль с шестикратным увеличением, мы в 6 раз увеличиваем изображение на сетчатой оболочке, а с ними и параллактические разницы направлений, а потому и предел стереоскопического видения увеличивается также в 6 раз. т.-е. мы видим пейзаж, расположенный пространственно от 2000 до 3000 метров;

2) можно искусственно увеличивать глазной базис  $b$ , применяя, напр, телестереоскоп Гельмгольца.



Черт. 252.



Черт. 253.

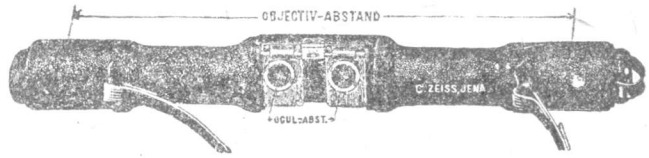
§ 156. Телестереоскоп Гельмгольца Схематически изображен на (черт. 253); он состоит из 4 зеркал: двух больших  $I$  и  $I$ , сходящихся под прямым углом, и двух малых  $II$  и  $II$ , им параллельных и помещаемых перед глазами  $A$  и  $A'$  наблюдателя. Если допустим, что наблюдатель смотрит в аппарат, то он видит дважды отраженный пейзаж  $O$  местности, притом так, как-будто его глаза  $A$  и  $A'$  с базисом  $b$  перенесены в  $M$  и  $N$ , на базисном расстоянии  $B$ , т.-е. предел пространственного восприятия раздвинут в отношении величин базисов  $B$  к  $b$ . Следовательно, при  $b = 65$  мм и  $B = 650$  мм параллактические разницы направлений увеличатся в 10 раз против обычного, свойственного нашим глазам, и восприятие глубин дойдет при этом до 4,5 километра.

Фирма Цейсса заменила веркала стереоскопа Гельмгольца призмами и, соединяя вместе оба принципа увеличения силы стереоскопического зрения глаз, построила с тою же целью более совершенный прибор: он состоит из двух, соединенных вместе, наподобие бинокля, зрительных труб, связанных призматическим телестереоскопом. У этой двойной рельефной зрительной трубы увеличение  $V$  и отношение  $\frac{B}{b}$  входят в виде произведения, и величина  $(V \cdot \frac{B}{b})$  дает так называемую „полную пластику“, повышающую восприятие

глубин, при  $V = 6$  и  $B:b = 10$  до 60 раз, т.-е. до 27 километров, при чем пейзаж кажется нам в 60 раз пластичнее.

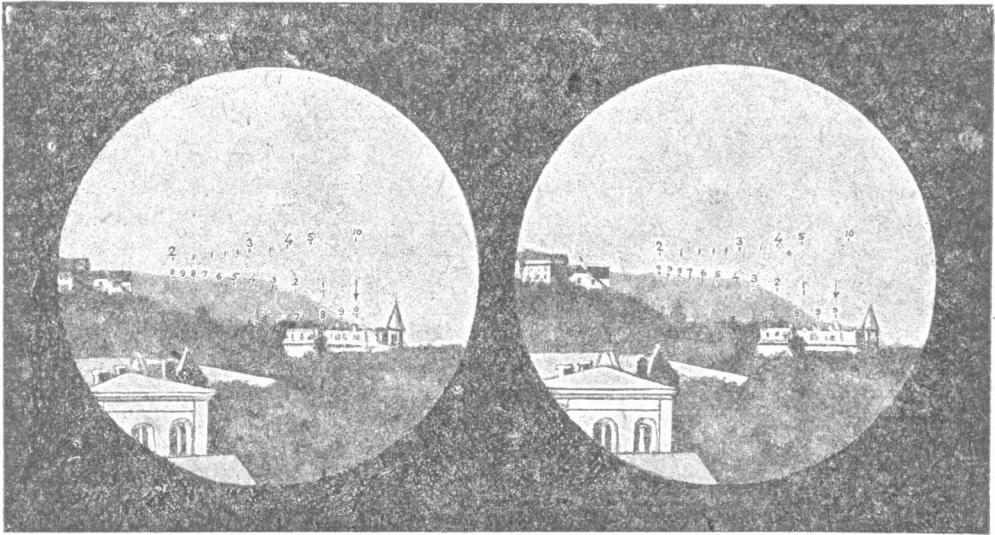
Возможность замены пейзажа местности (видимого простыми глазами или в трубу) его фотографическими снимками и дала мысль соединить непосредственно видимый в трубу пейзаж местности с двумя фотографическими снимками, с так

называемой „перспективной шкалы расстояний“, и рельефная или стереоскопическая труба Цейсса, соединенная с перспективной дальномерной шкалой, носит название стереоскопического дальномера Цейсса (черт. 254). Видимый



Черт. 254.

в двойную трубу пейзаж местности и шкала в трубе в виде зигзага показаны на черт. 255 при чем не надо забывать, что и шкалу и пейзаж наблюдатель видит ordinarily, а не двойными, в рельефном виде, и о степени удаленности предметов судит по надписям зигзагообразной шкалы.

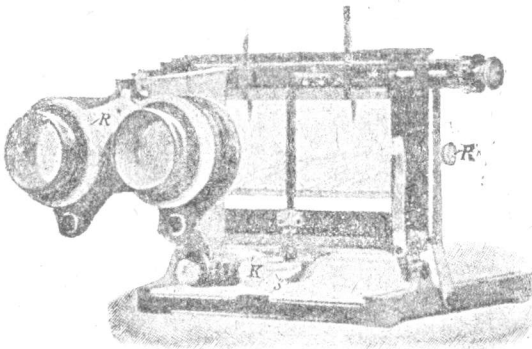


Черт. 255.

§ 157. Движущаяся марка в телестереоскопе. Более внимательное рассмотрение чертежа 252 указывает нам, что если изображение предмета  $A$  в правом глазу  $O$  остается неизменным, а в левом  $O'$  оно отодвигается из  $a$  в  $b$  все левее и левее, по мере приближения предмета к нам из  $A$  в  $B$ , то возможно произвести следующий опыт. Пусть имеются два достаточно длинных и полных внутри цилиндра, соединенных вместе наподобие трубок бинокля, и пусть на каждом из них, на передних их концах, помещено по марке, т.-е. по одинаковому металлическому треугольнику, из которых один, напр., правый, может помощью микрометричного винта приближаться и удаляться от неподвижно закрепленного левого значка, тогда окажется, что: 1) наши глаза соединит в пространстве оба треугольника в один и 2) по мере сближения марок нам будет казаться, что находящаяся в пространстве и стереоскопически усматриваемая нашими глазами марка будет отодвигаться вглубь пространственного пейзажа, имеющегося перед нашими глазами.

Из сказанного следует, что существованию и изменению углового параллакса  $\alpha$  (черт. 251) соответствует в наших глазах (или картинной плоскости стереоскопа) существование и изменение линейного параллакса  $aa_1$  и  $aa_2$ .

§ 158. Бикулярный микроскоп Цейсса. Для демонстрации существования величины линейного параллакса фирма Цейсса к своему бикулярному стереоскопу (черт. 256) присоединила стереомикрометр (черт. 257), состоящий из рамы  $R$  с микрометрическим винтом  $S$ , подсчитывающим по делениям барабана, находящегося близ шляпки винта, части полного его оборота, а по шкале  $B$  — целые его обороты. Винт  $S$  может перемещать подвижную марку  $m_2$ .



Черт. 256.

Перемещение в пространстве вглубь марки  $m$  с одного предмета на другой учитывается отсчетами числа оборотов винта  $S$ , дающими величину перемещения марки  $m_2$  вдоль рамы (или так называемый линейный параллакс).

Применительно к чертежу 251 и 252 сделан чертеж (257 bis); пусть в нем  $K$  и  $K'$  означают картинные плоскости, в расстоянии  $f$  от глаз  $A$  и  $A'$

наблюдателя, пусть длина базиса  $AA' = B$  и расстояние от глаз до предмета  $O$  местности  $A'O = R$ . Если линия  $AK_2$  параллельно  $A'O$ , то  $KK''$  будет линейный параллакс  $= a$ , и тогда

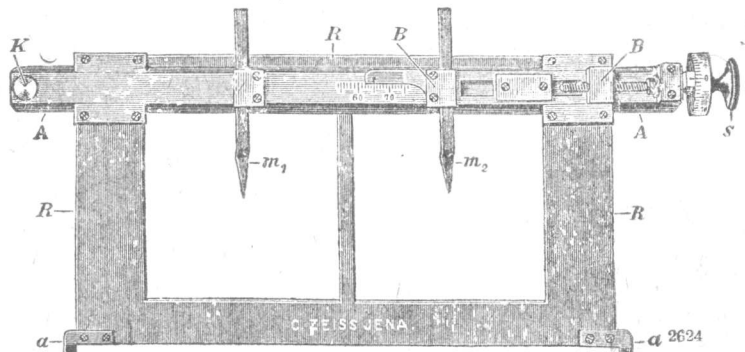
$$1) KK' = B - a,$$

$$2) \frac{a}{f} = \frac{B}{R} \text{ и } 3) \frac{KK'}{B} = \frac{R-f}{R}.$$

$$\text{Откуда: } a = \frac{B}{R} \cdot f \text{ и } B - a = B \left(1 - \frac{f}{R}\right),$$

т.е. всякому данному расстоянию  $R$  до предмета  $O$  соответствует, при постоянных  $B$  и  $f$ , определенная величина линейного параллакса  $a$ , и относительное расстояние между обеими изображениями предмета в их общей картинной плоскости равно  $(B - a)$ .

Что же касается до абсолютного положения одного из них в картинной плоскости  $K$ , то (применительно к чертежу 251) можно сказать, что оно меняется с переменю места предмета ( $O_1$  или  $O_2$ ) в пространстве. И так как расстоянием  $R$  определяется не одна точка  $O$



Черт. 257.

пространства, а целый ряд точек прямой  $MON$  параллельной  $KK'$ , то одному и тому же линейному параллаксу  $a$  соответствует ряд точек, лежащих на одной прямой, параллельной картинной плоскости 257 bis.

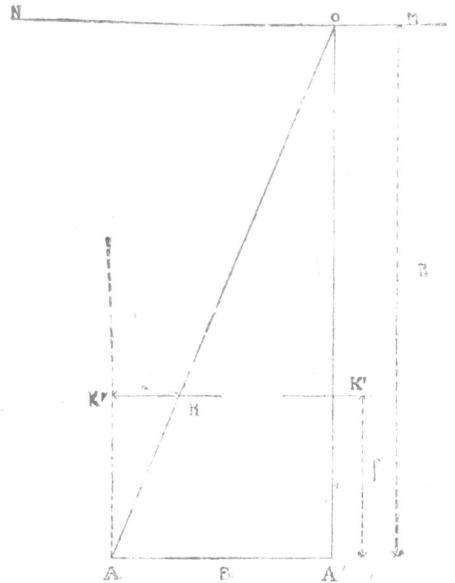
Из сказанного следует, что если бы мы заранее знали расстояние  $R$  от глаза  $A$  до предмета  $O$  (черт. 251), то по законам перспективы построили



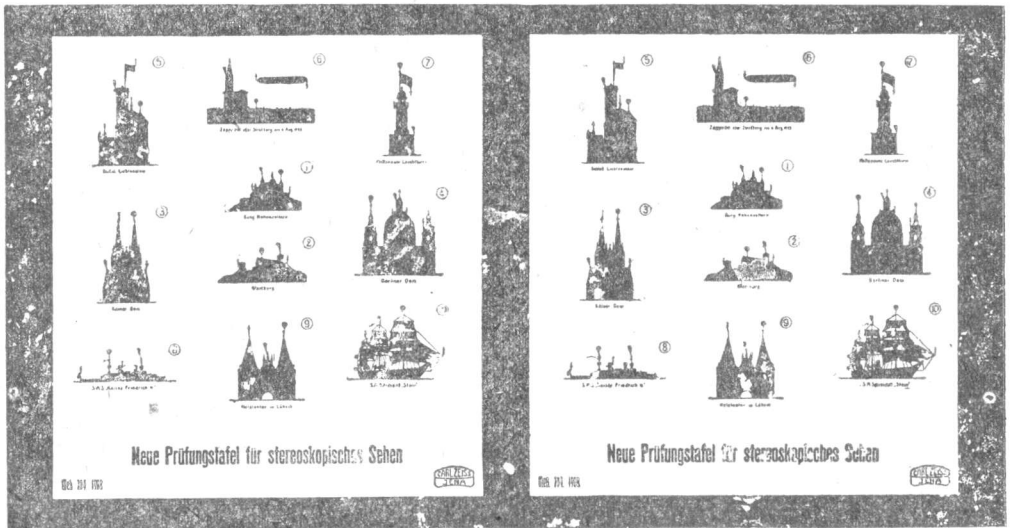
бы его изображение, напр., в левой половине картинной плоскости, а затем по линейному параллаксу  $a$  и правое его изображение. Отсюда ясным становится, каким образом построена зигзагообразная шкала марок в дальномера Цейсса, и что зигзагообразная форма ей придана ради лишь удобства наблюдений.

§ 159. Определение стереоскопического зрения. С целью исследования способностей у различных людей стереоскопического видения фирма Цейсса для своего биноклярного стереоскопа приготовила испытательную шкалу и ключ к ней, по которой каждый наблюдатель может сам себя проверить, что он в каждой фигуре (черт. 258) впереди и что он позади видит и что по середине, — крест ли, шар ли, треугольник ли или штрих. Таблица имеет 10 таких фигур.

§ 160. Фототеодолит Цейсса. Остановим наше внимание на фототеодолите (черт. 259) фирмы Цейсса, главным образом, для инженерных работ, а именно, на так называемой модели В, с фокусным расстоянием камеры  $f = 127 \text{ мм}$ , для пластинок размером  $9 \times 12 \text{ см}$ . Верхняя часть теодолита вкладывается вертикальною осью вращения горизонтального лимба  $H$  во втулку треножника с подъемными винтами и прикрепляется к нему снизу звездообразной гайкой-грифом  $R$ . При инструменте полагается три штатива с такими же треножниками, во втулки которых вкладываются попеременно то ось теодолита, то ось визирки в виде



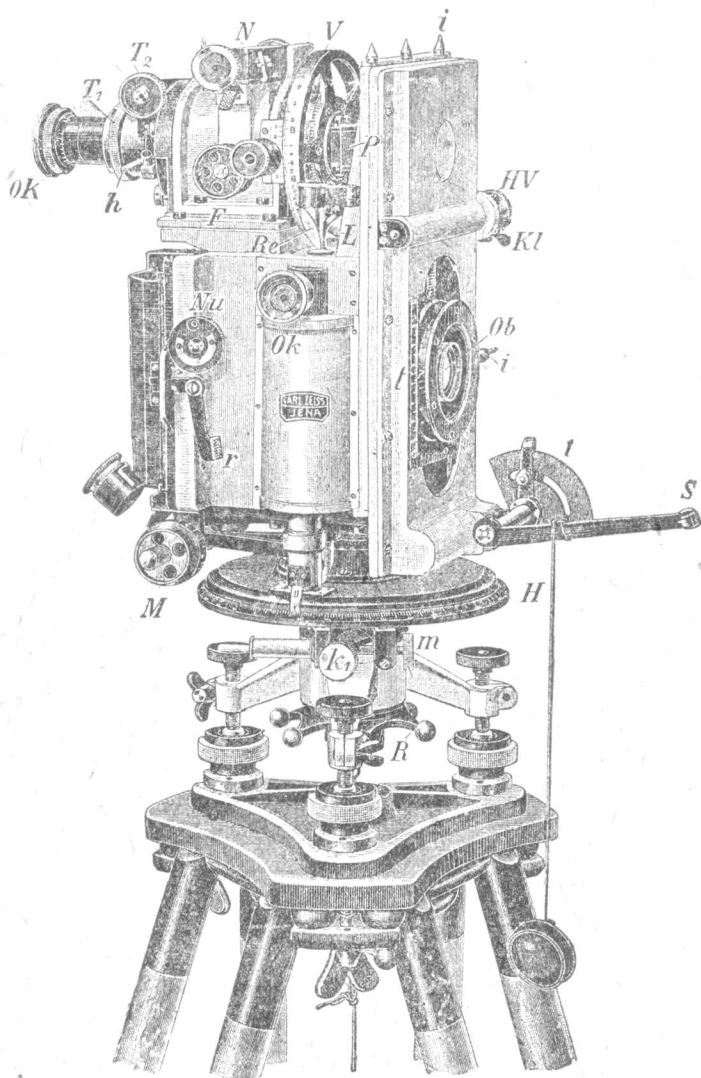
Черт. 257 bis.



Черт. 258.

цилиндрика с конусообразной головкой. Визирки прикрепляются к головке штатива с помощью цепочки, на которой и остаются висеть в то время, когда в треножник вдет ось теодолита. Точность отсчитывания по горизонтальному лимбу  $= 1'$ , в последнее время оно производится помощью трансверсального масштаба поме-

щающегося в микроскопе с точностью 0,1'. Ось лимба снабжена нажимательным винтом  $K_1$  и микрометрическим  $m$  винтом. На алидаде лимба помещается фотографическая камера с передвижным помощью винта  $HV$  по высоте объективом  $Ob$ . Матовое стекло связано мехом с камерой и пристегивается (прижимается к раме с зубцами, дающими направление главной вертикали) крючками  $r$ . Алидада



Черт. 259.

снабжена микрометрическим винтом  $M$  с барабаном для измерения расстояний (базиса) от фото-теодолита до дальномерной рейки, надеваемой на цилиндрок визирки, вставляемой в треножник штатива (черт. 261 и 262).

Сверху камеры находятся: окуляр  $OK$ , вертикальный круг  $V$ , буссоль  $N$  и уровень  $L$ . Труба от руки вращается за гриф  $T_1$  вокруг своей геометрической оси вместе с кругом  $V$  и устанавливается по фокусу винтом  $T_2$  и наглухо закрепляется щеколдой-гайкой  $h$ . Чтобы определить величину снимка, захватываемого камерой, сверху и сбоку камеры помещаются визирки  $i$  в виде заостренных на концах, с круглыми отверстиями, красных цилиндриков. При отгибании зеркала  $S$ , служащего для освещения скважин зубов рамы, дающих направление главной вертикали, пользуются сектором  $i$ , ставя его индексу на ту же цифру, на которую поставлен указатель шкалы  $l$  преподнятого объектива камеры.

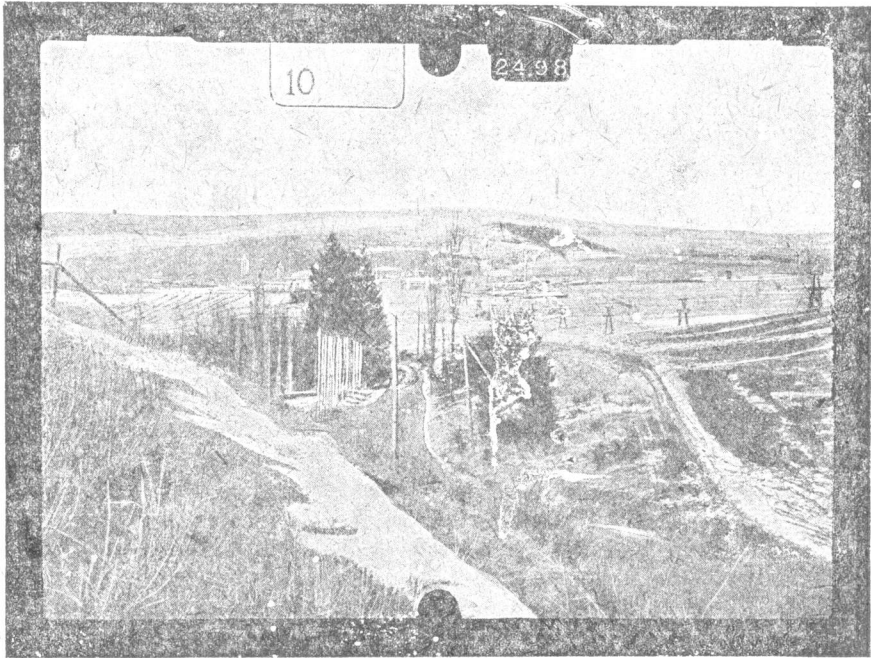
§ 161. Измерение базиса, помощью микрометричного винта фототеодолита. Опуская дальнейшее описание устройства теодолита и рейки для измерения по ней базиса  $B$ , страничимся здесь лишь чертежами, поясняющими детали их устройства и способы употребления их при съемках. Прежде всего остановимся на теории микрометричного винта  $M$ . Если  $O$  (черт. 263) вертикальная ось вращения инструмента и  $h$  расстояние до нее винта  $M$ , то искомое расстояние  $S_1$  по длине рейки  $S_0$  и по отсчету  $n$  определяется из пропорции  $S_1 = S_0 \frac{h}{n}$ .

При  $S_0 = 1$  метру,  $h = 20000$  и  $n = 854,3$ ,  $S_1 = 1 \cdot \frac{20000}{854,4}$ .

В тех случаях, когда искомое расстояние  $S$  между станциями I и II нельзя непосредственно измерять по рейке  $S_0 = 1$  метру, ее располагают параллельно базису  $S_2$  и предварительно измеряют вспомогательный базис  $S_1$ , стремясь сделать соотношение между  $S_0$ ,  $S_1$  и  $S_2$  равным 1:10:100; при  $S_0 = 3$  метрам,  $S_1 = 30$  и  $S_2 = 300$  метрам.

Полученные с помощью фототеодолита два стереометрические снимка должны быть помещены в стереокомпаратор<sup>1)</sup> (черт. 264).

§ 162. Стереокомпаратор. Верхняя часть прибора напоминает собою дальномер Цейсса, с двумя зрительными трубами, обернутыми своими объективами в пластинкам  $P_1$  и  $P_2$  (черт. 264). Объективы закрываются заслонками  $K_1$  и  $K_2$ , Освободив их, устанавливают окуляры  $O_1$  и  $O_2$  по глазам: 1) сближая их враще-



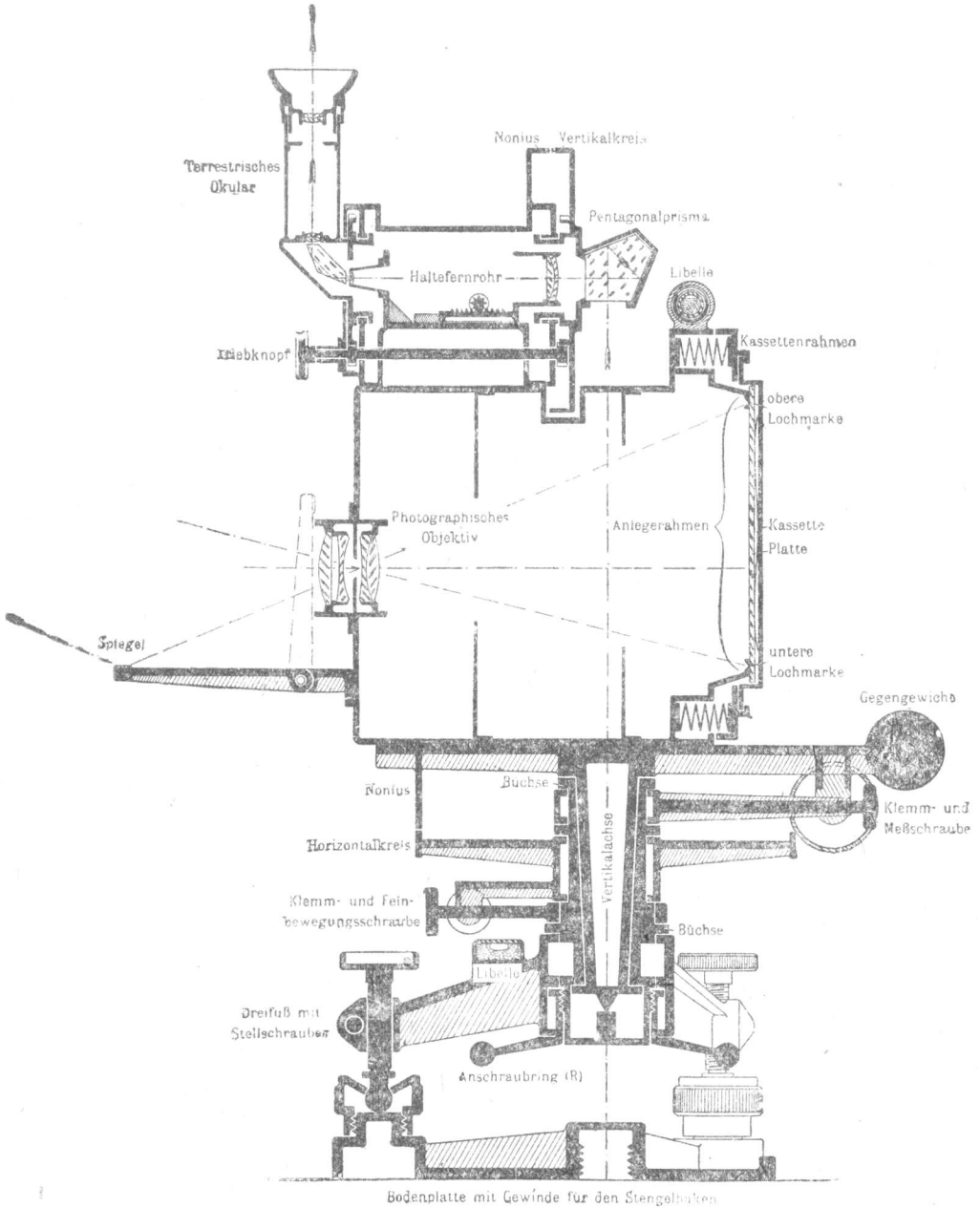
Черт. 260. Фотографический снимок местности.

нием от руки, применительно к расстоянию между центрами глаз наблюдателя и 2) приближая или удаляя каждый из них в отдельности от трубы  $K_1$  и  $K_2$ , вращая вокруг оси до тех пор, пока каждый глаз отчетливо не увидит марки в виде баллона, а затем оба глаза за-раз не усмотрят рельефо в пространстве одно (а не два) изображения марки. Чтобы отчетливо видеть пейзаж, изображенный на пластинках  $P_1$  и  $P_2$ , верхнюю часть поднимают или опускают по мере надобности и закрепляются, действуя винтом  $F$ .

Действуя винтами  $D_1$  и  $D_2$ , обе пластинки выравнивают так, чтобы движущаяся марка (черт. 264 bis), имеющая вид баллона со спицем на конце, совпала с верхним отверстием, определяющим направление главной вертикали, и прошла при вращении рукоятки  $V$  через подобное же нижнее отверстие. Винт  $C$  служит для выравнивания существующей разницы в высоте обоих снимков, происходящей вследствие неравенства высот обоих то к стоянция при фотографировании местности с концов базиса.

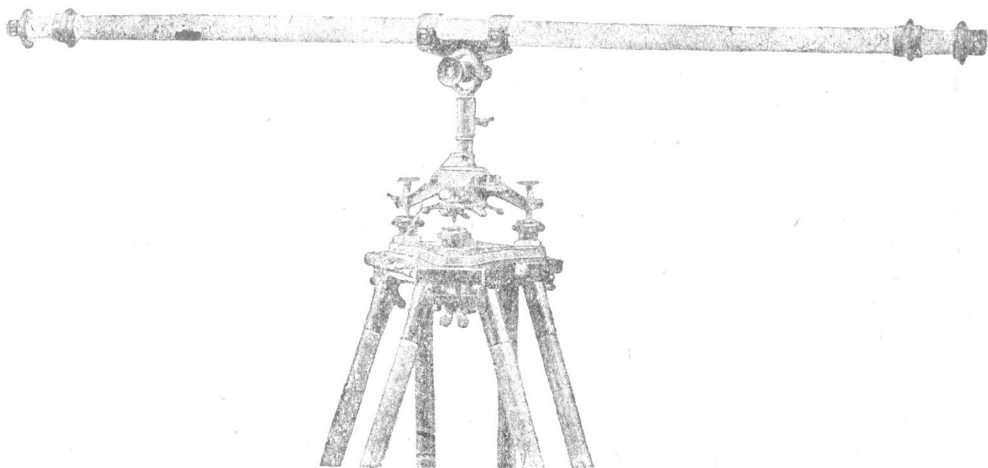
<sup>1)</sup> Более подробное описание см. Н. Кислов. „Теория оптических инструментов“.

Чтобы выяснить себе значение винта  $Z$ , измеряющего линейный параллакс  $a$ , обратим наше внимание на чертежи 265 и 266. Если  $B$  (чрт. 265) есть расстояние между глазами наблюдателя левым  $L$  и правым  $P$ ,  $f$ —фокусное расстояние объектива камеры,  $R$ —расстояние от базиса  $B$  до предмета  $S$  местности (или

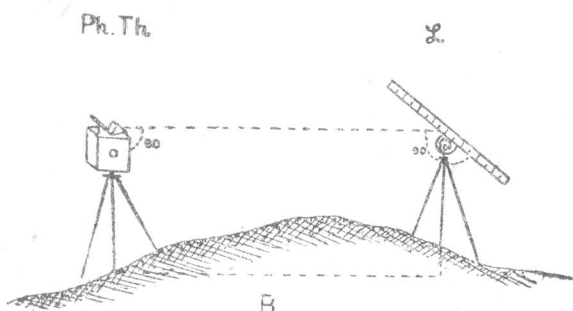


Черт. 260 bis.

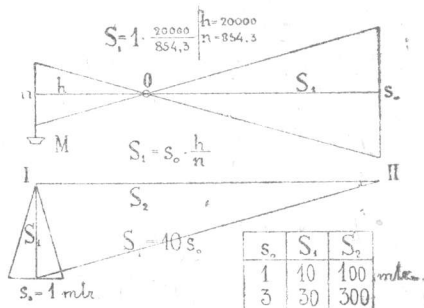
правильнее до линии  $SS'S''$ ), точки  $K$  и  $K'$  начала координат (горизонтальной  $x$  и вертикальной  $y$ ), то легко усмотреть, что, где бы точка  $S$  ни находилась—в  $S$  или  $S'$ , или  $S''$ , всегда отношение  $B:R$  основания треугольника  $SLP$  к его высоте остается постоянным и равно отношению  $a:f$ , где  $a = x' - x = X - X'$ , ибо  $\triangle SLP \sim \triangle L'P'$ , а также  $\triangle LS'P \sim \triangle L''P''$ .



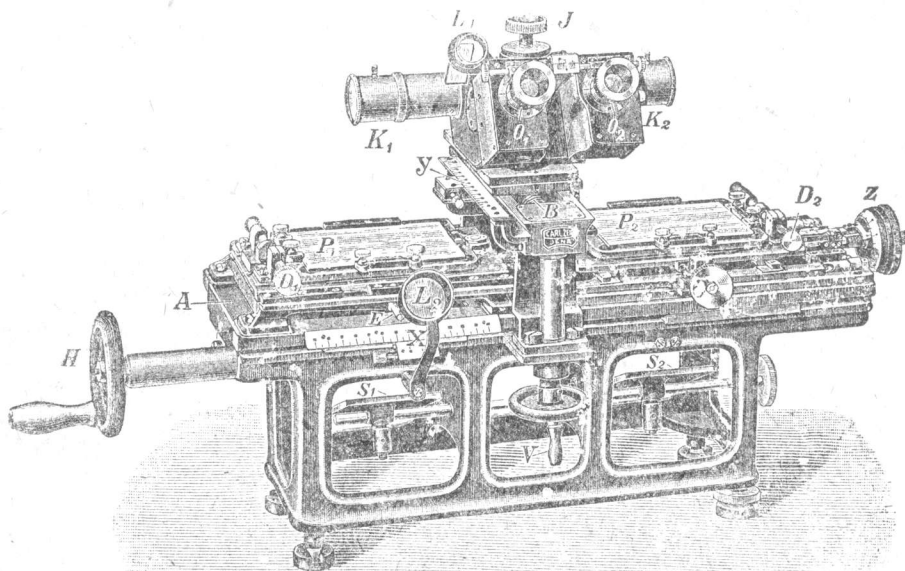
Черт. 261.



Черт. 262.

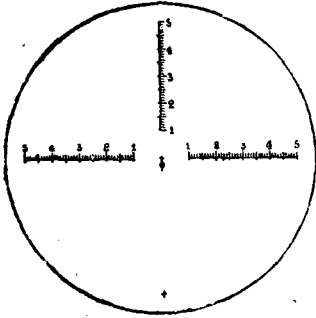


Черт. 263.



Черт. 264.

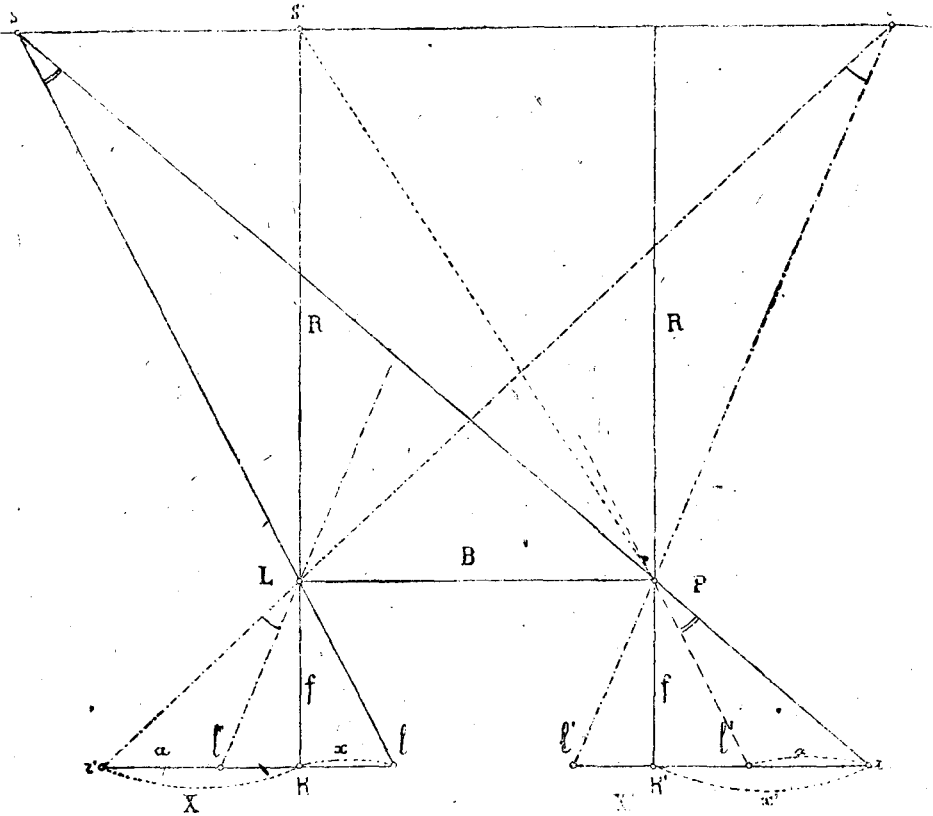
Из чертежа же 266-го видно, что: 1)  $H: y = R: f$ , т.-е.  $H = y \cdot \frac{R}{f}$  и 2)  $X = R \cdot \frac{x}{f}$ ; следовательно, для того, чтобы построить какую-либо точку местности, нужно, зная  $B$  и  $f$ , на компараторе определить величину линейного параллакса  $a$  (по винту  $Z$ ), для чего устанавливают движущуюся марку на одинаковое расстояние с интересующей нас точкой пейзажа местности, передвигая правый снимок на компараторе винтом  $Z$  и делая по его барабану соответствующий отсчет, тогда тотчас же определится  $R$  по формуле  $R = B \cdot \frac{f}{a}$ , а затем по отсчету  $x$  высчитается  $X = x \cdot \frac{R}{f}$  и, наконец, по прочтенному  $y$  вычислится  $H = y \cdot \frac{R}{f}$ .



Черт. 264 bis.

§ 163. Построение плана. Покажем теперь, каким образом по прочтенным  $a$ ,  $x$  и  $y$  строится точка плана.

Для построения плана фирма Цейсса рекомендует пользоваться приспособленной ею специальной чертежной доской, шириной в 72 см. и высотой в 52 ст. (черт. 267), с заранее наклеенной на ней бумагой с нанесенными линиями с миллиметровыми делениями.



Черт. 265.

Доска снабжена постоянной точкой  $M_1$  в виде конусообразного отверстия, в которое вкладывается конусообразная ось вращения металлической линейки  $L_2$ , также снабженной по ребру миллиметровыми делениями. По доске движется

вторая линейка  $L_2$  с нажимательным винтом для установки линейки  $L_2$  в неизменном положении. Вдоль линейки  $L_2$  передвигается обыкновенный чертежный деревянный треугольник  $D$ .

Точка  $M_1$  изображает станцию I, и от нее откладывается фокусное расстояние  $f$ , на величину которого проводится линия  $S''NO$ , перпендикулярная к  $M_1O$ . Отложив от  $O$  величину  $ON$ , равную расстоянию  $B$ , на той же линии  $ONS''$  проводят линию  $NN'' \parallel M_1O$ . После этого на  $ONS''$  откладывают величину  $a$  и вращают линейку  $L_1$  около точки  $M_1$  до встречи с линией  $NN''$  в точке  $S$ .

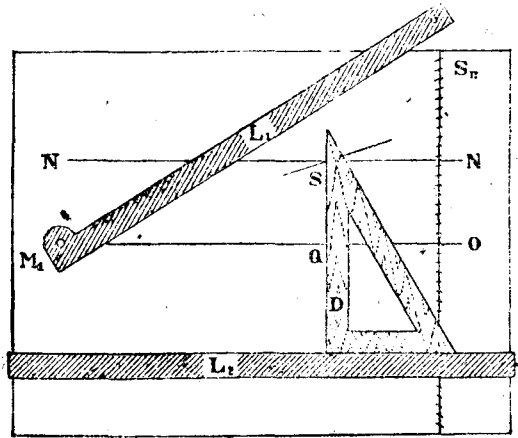
Заметив точку  $S$ , продвигают до нее, двигая по линейке  $L_2$ , треугольник  $D$  и отмечают на линии  $M_1O$  точку  $Q$  (черт. 267). Остается на линии  $SQ$  найти точку  $P$  (для которой прочтены  $c$  и  $x$ ). Для этого на линии  $OS''$  откладывают от  $O$  кверху величину  $x$  и к точке отложения продвигают скошенный край линейки  $L_1$ , тогда на линии  $SQ$  и получится точка  $P$  (черт. 267 и 268). Для определения превышения  $H$  точки  $P$  над  $M$  достаточно от точки  $Q$  вниз найти на линии  $SQ$  точку  $R$ , тогда  $RQ$  и будет  $H$ ; а для этого достаточно от точки  $O$  (линии  $ONS''$ ) вниз от линии  $OQM_f$  отложить величину  $y$  и к точке отложения продвинуть скошенное ребро линейки  $L_1$ .

Линия  $M_1RL_1$ , в пересечении с продолжением книзу линии  $SQ$  и дает точку  $R$ .

Для удобства построения плана в заданном масштабе мы преобразуем наши формулы:

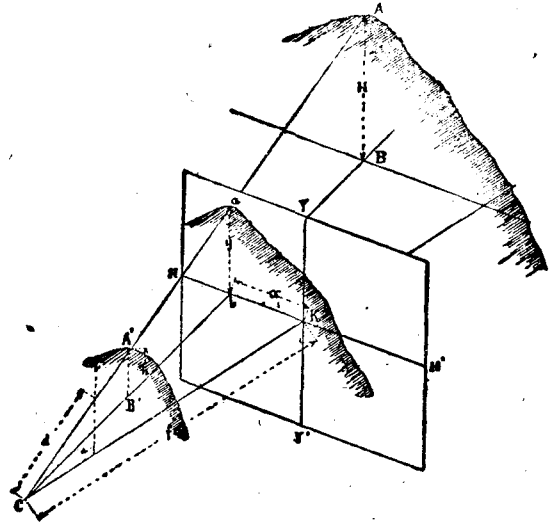
$$\left. \begin{aligned} R &= B \cdot \frac{f}{a} \\ X &= R \cdot \frac{x}{f} \\ H &= R \cdot \frac{y}{f} \end{aligned} \right\} \text{ так } \left\{ \begin{aligned} R &= kb \cdot \frac{nf}{kna} \\ X &= R \cdot \frac{nx}{nf} \\ H &= R \cdot \frac{ny}{nf} \end{aligned} \right.$$

положим  $R = E_0$  и  $H = \Psi$ ; тогда, применяясь к этому, на чертежной доске (черт. 268) на линии  $M_1O$  отложим от  $M_1$  длины  $2f, 3f, \dots, nf$ , сколько их поместится на доске, и в точках отложения проведем линии  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ , перпендикулярные к  $M_1O$ , и на них от линии  $M_1O$  нанесем деления  $1, 2, 3, 4, \dots, n$



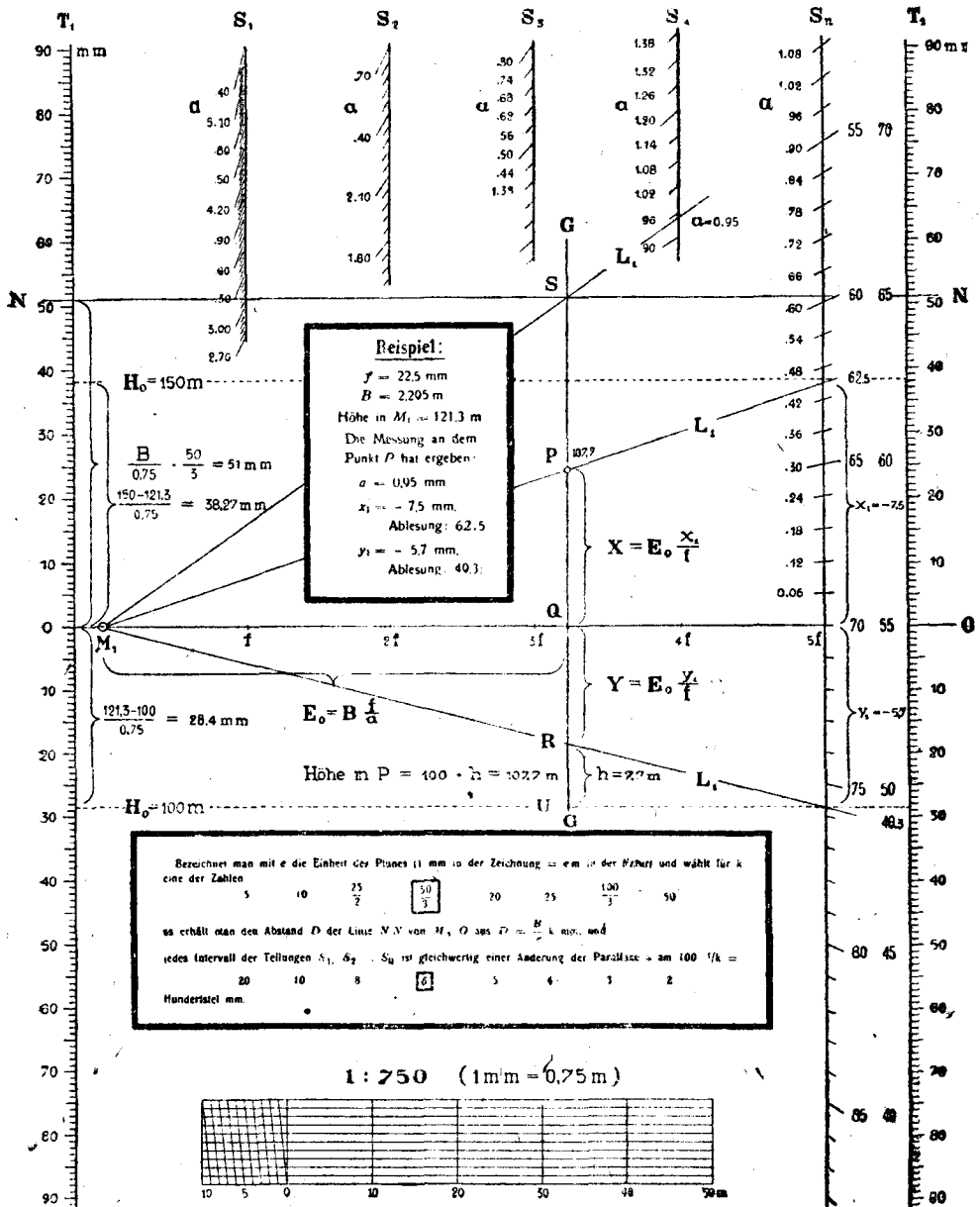
Черт. 267.

миллиметров, делая на них подписи, однако по мере надобности и то отнюдь не по всей длине, а лишь сверху, и только одну из них—крайнюю, напр.,  $S_5$  подпишем сплошь. По левому и правому краю доски проводятся две линии  $T_1$  и  $T_2$ , параллельные  $S$ , также подразделенные на миллиметры; они подписываются в обе стороны от линии  $M_1O$  и по ним откладывается: 1) базис  $R$  для прове-



Черт. 268.

дения вспомогательной линии  $NN$  для откладывания расстояний  $R$  и 2) отсчитанные величины  $x$  и  $y$ , дающие положение определяемой точки  $P$  и ее превышение  $H$  над  $M_1$ .



Черт. 268.

§ 164. Автостереограф фон-Орла. В Австрии, в Военно-Географическом Институте, в техническом отделе, лейтенант фон-Орел предложил соединить рядом линейки стереокомпаратор с чертежной доской, дабы на ней механически эти линейки, перемещающиеся параллельно самим себе и вращаясь на шарнирах, давали бы не только искомым точку  $P$ , но и проводили бы механически на плане нужные горизонтали.



§ 165. Точность построение плана в стереофотометрическом способе зависит от точности определения расстояния  $R$  и координат  $X$  и  $Y$ , а они, в свою очередь, зависят от точности измерения  $x$ ,  $y$  и  $a$  на стереокомпараторе, т.е. точность не более, чем в мензуральной съемке.

Если  $Z$  есть рельефное зрение стереоскопической трубы (стереокомпаратора), то

$$dR = -\frac{R^2}{Z} \dots \dots \dots (dR)$$

ошибка в определении расстояния  $R$  прямо пропорциональна квадрату расстояния.

Обыкновенно принимают, что  $da = \pm 0,01$  миллиметра, а  $dx = dy = 0,1$  мм (точность верньеров горизонтального и вертикального масштабов  $A$  и  $B$  (стереокомпаратора).

Так, при  $B = 100$  метрам,

$$f = 200 \text{ миллиметрам и } R = 10 \text{ километрам,}$$

найдем: 
$$dR = \frac{100000000 \times 0,00001}{0,20 \times 100} = 50 \text{ м}$$

$$dX = \frac{10000}{0,20} \cdot 0,0001 = 5 \text{ м}$$

и  $Z = \frac{R^2}{dR} = \frac{100000000}{50} = 2000000 \text{ метрам} = 2000 \text{ километрам.}$

§ 166. Определение длины подходящего базиса. Из выражения  $dR$  следует, что

$$B = \frac{R^2}{dR \cdot \frac{f}{da}}; \text{ но } \frac{R^2}{dR} = Z,$$

а потому

$$B = \frac{Z}{\frac{f}{da}}$$

Отсюда видно, что при данных  $f$ ,  $R$  и  $dR$  можно находить величину подходящего базиса:

Пусть  $R = 10$  километров и  $dR = 50$  м., а  $f = 200$  миллиметров, тогда

$$Z = 200 \text{ километрам и } B = \frac{200000 \text{ м.}}{\frac{200}{0,01}} = 100 \text{ м.}$$

§ 167. Аэрофотосъемка. Под аэрофотосъемкой подразумевается производство фотографирования местности с летящего аэроплана и использование фотоснимков для составления плана или карты.

На аэроплане помещается фотоаппарат так, чтобы объектив был внизу и чтобы ось прибора занимала вертикальное положение.

При таком положении кассета фотографической камеры займет горизонтальное положение и при съемке на пластинке получится горизонтальная проекция снятой местности в определенном уменьшении (масштабе). Все линии горизонтального снимка во столько раз будут меньше соответствующих им горизонтальных линий местности, во сколько раз фокусное расстояние камеры меньше высоты полета; это обозначает, что численный масштаб снимка равен отношению фокусного расстояния к высоте съемки.

На аэропланах, приспособленных к фотосъемке, имеются различного рода высотомеры (альтиметры), позволяющие летчику выдерживать, по возможности, одну и ту же высоту.

Однако, вследствие разных причин, зависящих и от конструкции самолета, и от метеорологических условий, самолет во время полета меняет свою высоту, а вместе с этим меняется и масштаб съемки на разных снимках.

Отсюда вытекает необходимость, при составлении по фотоснимкам плана или карты, приводить все фотоснимки к принятому масштабу.

Далее, при полете самолета ось фотокамеры не всегда занимает вертикальное положение, так как самолет идет, слегка качаясь, и поэтому снимки получаются не горизонтальные, а наклонные. На плане должно быть изображено горизонтальное проложение местности, а на фотоснимке получается наклонное изображение; отсюда вытекает необходимость так переделать фотоснимок, чтобы из наклонного он стал горизонтальным.

Переделка снимка к определенному масштабу и к горизонтальному проложению называется трансформированием (преобразованием); так как высота полета определяется высотомерами недостаточно точно, а наклонение самолета ничем еще не регистрируется в момент съемки, то трансформирование снимков производится не по записям во время полета, а по земной геодезической основе.

Под геодезической основой следует подразумевать ряд точек и линий на земле, которые связаны между собою съемкою, нанесены на бумагу в данном масштабе и которые точно могут быть опознаны на фотографии.

Для лучшей видимости такие точки, перед съемкой, обозначаются яркими (белыми) знаками и получают название „опознавательных знаков“.

Опознавательные знаки должны составить схему опорных точек на фотографиях для трансформирования.

Для точного трансформирования на каждом снимке должно поместиться не менее четырех опознавательных снимков.

Для трансформирования каждый снимок помещается в особый оптический прибор (проектирующий светом), называемый трансформатором.

При помощи трансформатора снимку придается такое положение (повороты и масштаб), при котором четыре точки снимка совпадут на просвет с четырьмя точками схемы опознавательных знаков.

Это будет означать, что проекция снимка приведена к масштабу и в горизонтальное положение, так как все опознавательные знаки нанесены в горизонтальной проекции и в данном масштабе.

В таком положении фотоснимок снова переносится и получается трансформированный снимок местности, все подробности которого переносятся на план.

1. Геодезическая основа. Устройство геодезической основы может предшествовать аэрофотосъемке или следует за ней.

В первом случае нужно на местности устроить опознавательные знаки настолько часто и таких размеров, чтобы они хорошо вышли на снимках и в достаточном количестве на каждом из них.

Знаки делаются на земле в виде крестов, буквы Т и т. д. около трех-четырёх метров в длину и около метра в поперечнике из белых деревьев, извести, цемента и пр.

Определенные точки знаков связываются съемкою, по схеме геометрической сети в мензуральной съемке и по ним составляется чертеж, основа будущего плана <sup>1)</sup>.

Если при составлении геодезической основы были допущены существенные ошибки в линиях или углах, то такие ошибки обнаруживаются при трансформировании, так как в таком случае снимок „не трансформируется“, не входит в основу.

<sup>1)</sup> Во втором случае опознавательные пункты намечаются сначала на снимках, узнаются на листе и потом связываются съемкою.

2. Съёмочные работы. Лётные съёмочные работы требуют совершенно ясной погоды и спокойного состояния атмосферы, — поэтому производятся обычно рано утром.

Съёмка производится с такой высоты, чтобы снимки получались примерно в требуемом масштабе. При фокусном расстоянии камеры в 30 см и при масштабе 1 : 10000 высота равняется 3000 метрам, т.-е. трем километрам.

На такую высоту самолеты современных конструкций поднимаются около 30—40 минут.

После того, как будет забрана высота, самолет идет на съёмку по определенному направлению — маршруту. Фотографические камеры работают автоматически, через известные промежутки времени (15—20 секунд) так, чтобы один снимок, процентов на 25, перекрывал предыдущий (во избежание разрывов). Камеры бывают с пластинками (50—100) и с пленками (снимков 100—400), которые передвигаются также автоматически.

Размеры каждого снимка могут быть различны:  $9 \times 12$  см,  $13 \times 18$  и  $18 \times 24$  см. В один полет может быть сделано от 100 до 400 снимков.

В зависимости от высоты и размеров снимка находится площадь покрытия каждого снимка.

При масштабе 1 : 10000 и пленке  $13 \times 18$ , высоте 3000 метров и фокусном расстоянии 30 см площадь покрытия равняется  $1300 \times 1800$  кв. метрам, т.-е. 2,34 кв. километра. Однако, к краям снимка обычно получают большие, сравнительно, искажения и поэтому полезное покрытие следует считать примерно наполовину, даже 1 километр. Соседний маршрут прокладывается так, чтобы он покрывал предыдущий тоже процентов на 25.

После проявления пленок или пластинок на них отмечается № маршрута, № каждого снимка и обозначаются маленькими кружками и номерами опознавательные пункты и с таких негативов отпечатываются 2—3 контактных позитива.

3. Трансформирование. Трансформирование имеет свою задачу получить горизонтальный и масштабный снимок и должно производиться быстро и точно.

Для трансформирования построены сложные приборы — машины разных систем: русских, немецких и французских. Из них следует считать наиболее удобным и практичным прибор П. П. Соколова; скорость трансформирования каждого снимка на последнем достигает 3—5 минут, а на заграничных — 10—15 минут.

Трансформированные снимки высушиваются и поступают для оконтуривания и расшифрования к чертежникам-топографам.

4. Оконтуривание и расшифрование. На хорошо сделанном и отпечатанном снимке можно увидеть разнообразнейшие оттенки местности по контурам. Для понимания содержания фотоснимка требуется соответствующая практика и знание местности.

На снимке проводится тушью те контуры, которые интересны по заданию работы: эти контура помощью пантографа переносятся на окончательный план.

Расшифрование содержания снимка заключается в узнавании по снимку угодий земли и тех или иных подробностей на земле.

Не все еще можно узнать по снимку: породы деревьев и другие подробности еще не всегда поддаются распознаванию: рекогносцировочный осмотр местности здесь необходим и сильно облегчает дело.

5. Рельефная съёмка. До сих пор говорилось о съёмке горизонтальной, без выражения рельефа.

При аэрофотосъёмке все время получается перекрытие, т.-е. двойные снимки одной и той же местности, но с разных точек зрения, иначе говоря, получаются стереоскопические снимки. По стереоскопическим снимкам возможно определять рельеф при помощи стереокомпаратора и других приборов (автостереограф, автостереопланиграф и др.).

Большая сложность последних приборов, их новизна и высокая стоимость не позволяют считать задачу о получении рельефного плана, по фотоснимкам, в настоящее время — легкой.

6. Организация аэрофотосъемки. Аэрофотосъемки требуют сложной организации геодезистов, летчиков, фотограмметристов и фотолабораторных работников с большой и дорогой инструментальной обстановкой.

Такие организации под силу в настоящее время только государственным учреждениям и поэтому в СССР аэрофотосъемки производят только: Военно-Топографическое Управление (и рельефную) и Техническое Бюро „Аэрофотосъемка“ при обществе „Добролет“ (без рельефа).

7. Качества аэрофотосъемки. Уже теперь аэрофотосъемка отличается от обычных способов съемки теми подробностями, которые получаются на снимках.

Непроходимые болота, леса, поймы больших рек (дельты, плавни, лиманы и т. д.), пустыни и прочее, обычно мало доступные места, выражаются со всеми подробностями.\*

Это главнейшее качество аэрофотосъемки: богатство подробностей снимка.

Точность аэрофотосъемки следует приравнять точности графической — мензуральной съемки.

Стоимость аэрофотосъемки очень разнообразна в зависимости от места съемки, времени года, железнодорожной базы (бензин и пр.) и т. д.

Не следует рассчитывать в ближайшее время на удешевление аэрофотосъемки более чем вдвое по сравнению с другими способами съемок<sup>1)</sup>. Во всяком случае, аэрофотосъемка имеет все данные для самого широкого развития в будущем.

---

<sup>1)</sup> При предварительных изысканиях возможно производить аэрофотосъемку без геодезической основы, без трансформирования снимков; в таких случаях будет получаться очень быстро ясная картина всех подробностей местности, но с некоторыми искажениями в масштабе. Стоимость такой съемки значительно дешевле стоимости точной съемки.