



Г.В. Анчугова  
С.С. Зубова

**СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ  
ТЕОДОЛИТНО-ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

Екатеринбург  
2018

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра лесной таксации и лесоустройства

Г.В. Анчугова  
С.С. Зубова

**СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ  
ТЕОДОЛИТНО-ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ**

Учебно-методическое пособие  
для выполнения расчетно-графической работы №2  
обучающимися по направлениям 35.03.01 «Лесное дело»,  
35.03.10 «Ландшафтная архитектура»,  
05.03.06 «Экология и природопользование»  
всех форм обучения

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛП.  
Протокол № 1 от 16 октября 2017 г.

Рецензент канд. с.-х. наук, доцент каф. землеустройства и кадастров  
П.А. Коковин

Редактор Р.В. Сайгина  
Оператор компьютерной верстки Т.В. Упорова

---

Подписано в печать 30.01.18		Поз. 26
Плоская печать	Формат 60x84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 1,63	Цена руб. коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение.....	4
Задание.....	4
1. Общие сведения.....	4
2. Обработка результатов полевых измерений углов и длин сторон теодолитного хода.....	5
2.1. Определение средних значений горизонтальных углов теодолитного хода.....	6
2.2. Вычисление углов наклона сторон хода.....	6
2.3. Определение горизонтальных проложений сторон теодолитного хода.....	7
2.4. Вычисление превышений и высот съёмочных точек.....	7
3. Вычисление координат точек съёмочного обоснования.....	9
3.1. Уравнивание измеренных горизонтальных углов.....	9
3.2. Вычисление дирекционных углов сторон полигона.....	12
3.3. Вычисление и уравнивание приращений координат.....	12
3.4. Вычисление координат вершин теодолитного хода.....	14
4. Обработка результатов тахеометрической съёмки.....	15
4.1. Общие положения.....	15
4.2. Вычисление углов наклона на речные точки.....	15
4.3. Определение горизонтальных проложений измеренных дальнометром расстояний.....	16
4.4. Вычисление превышений и высот речных точек.....	16
5. Составление топографического плана местности.....	18
5.1. Общие требования.....	18
5.2. Построение координатной сетки.....	18
5.3. Нанесение точек теодолитного хода на план.....	20
5.4. Нанесение на план контурных и высотных (речных) точек по их полярным координатам.....	22
5.5. Изображение рельефа местности на плане в горизонталях.....	23
5.6. Вычерчивание топографического плана, его оформление.....	25
6. Построение продольного и поперечного профилей.....	26
Библиографический список.....	28

## ВВЕДЕНИЕ

Учебно-методическое пособие предназначено для обучающихся специальностей 35.03.01 «Лесное дело», 35.03.10 «Ландшафтная архитектура», 05.03.06 «Экология и природопользование» для выполнения расчетно-графической работы «Составление топографического плана по результатам теодолитно-тахеометрической съемки». В нем даются рекомендации по обработке результатов теодолитно-тахеометрической съемки, построению контурного плана и проектирования по нему.

## ЗАДАНИЕ

1. По данным полевых измерений вычислить координаты точек теодолитного хода, являющегося съёмочным обоснованием для тахеометрической съёмки.

2. Обработать журнал тахеометрической съёмки с определением высот съёмочных точек и их радиус-векторов (полярных координат).

3. Составить план теодолитно-тахеометрической съёмки с ситуацией и рельефом на листе чертёжной бумаги формата А2, руководствуясь абрисом (рис.1), условными знаками (5) и образцом оформления (рис.5).

4. Определить площадь полигона.

Каждому обучающемуся выдается журнал-задание, на титульном листе которого проставляются: номер варианта, факультет, группа, фамилия и инициалы студента.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Топосъемка – это комплекс работ, выполняемых с целью получения топографического плана, карты или цифровой модели местности (ЦММ). Планы и карты создаются в основном методами аэрофотосъемки, но на небольших участках их получают наземными съемками, которые различают по видам используемых основных приборов:

- 1) теодолитная – теодолит и лента;
- 2) мензурная – мензула и кипрегель;
- 3) тахеометрическая – тахеометр (теодолит);
- 4) нивелирование по квадратам – нивелир;
- 5) фототопографическая съемка – фототеодолит.

Теодолитной съемкой называется один из видов наземной съемки, целью которого является построение контурного и ситуационного плана местности без изображения на нем рельефа. Данная съемка нашла самое широкое применение при составлении и корректировке планов землепользования и их отдельных участков. Используется в основном в равнинной местности.

Тахеометрическая съемка заключается в определении наиболее характерных точек, отображающих контуры предметов и рельеф местности.

Результатом теодолитно-тахеометрической съемки является топографический план местности.

## 2. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ УГЛОВ И ДЛИН СТОРОН ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

Съёмочным обоснованием для тахеометрической съёмки местности в данном задании является замкнутый теодолитный ход, состоящий из пяти точек, и диагональный ход из двух точек (рис. 1).

В задании приведены результаты измерений горизонтальных и вертикальных углов полигона, а также измеренные в прямом и обратном направлениях длины сторон теодолитного хода. Индивидуально каждому обучающемуся задаются: высота точки I (м), дирекционный угол начальной стороны (I-II) теодолитного хода, горизонтальный угол на первую съёмочную точку ( $\beta_1$ ) и координаты начальной точки в метрах ( $X_1; Y_1$ ).

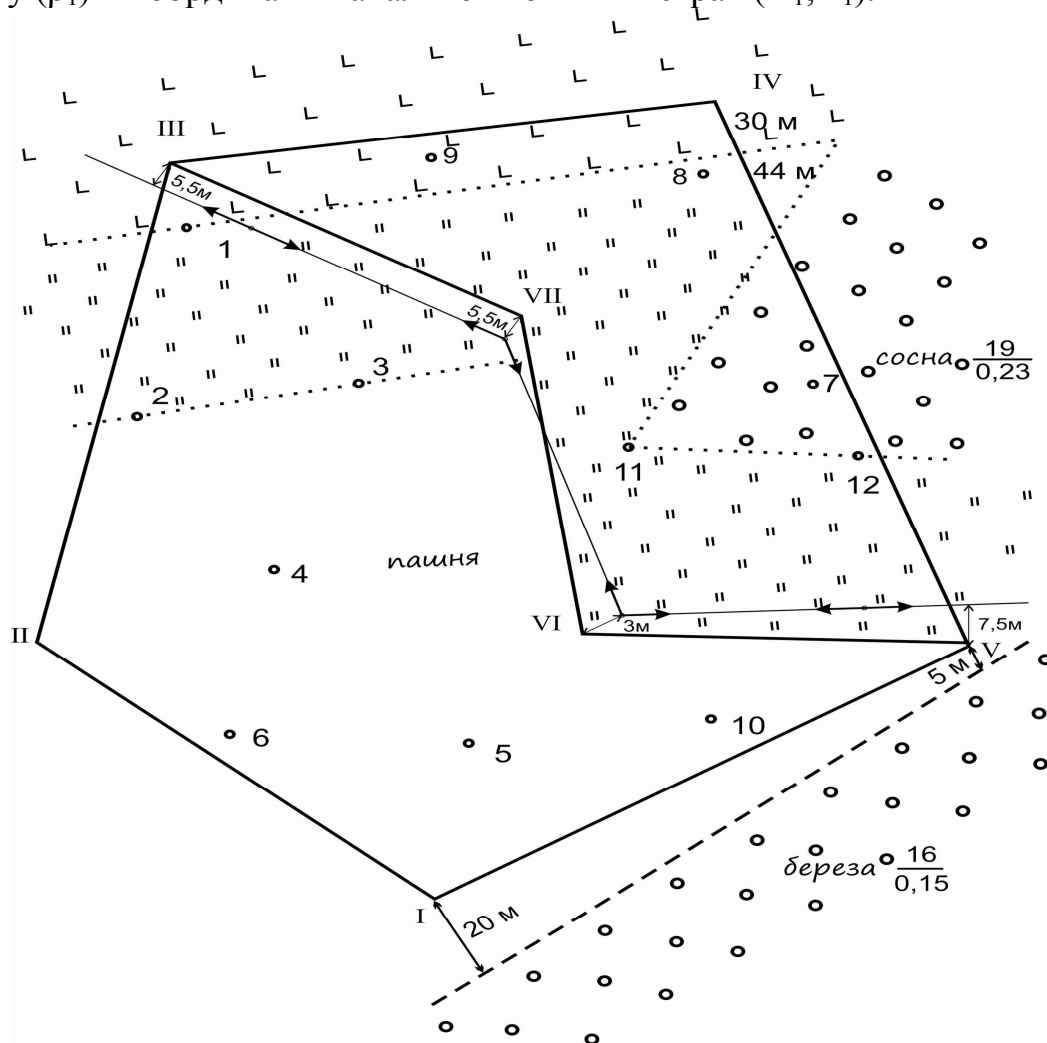


Рис. 1. Абрис

## 2.1. Определение средних значений горизонтальных углов теодолитного хода

В журнале теодолитно-тахеометрической съёмки вычисляют значения правых по ходу горизонтальных углов ( $\beta_{КЛ}$  и  $\beta_{КП}$ ), измеренных при круге лева (КЛ) и круге права (КП). Для этого из отсчёта по шкале горизонтального круга на заднюю точку вычитают отсчёт на переднюю точку полигона. Если отсчёт на заднюю точку меньше отсчёта на переднюю точку, то к первому прибавляют  $360^0$ . При разности углов, полученных из двух полуприёмов (КЛ и КП), не превышающей двойную точность взятия отсчёта (для теодолита Т30 – это  $2'$ ), определяют среднее значение этого угла ( $\beta_{ср}$ ),

$$\beta_{ср} = \frac{\beta_{КЛ} + \beta_{КП}}{2} \quad (2.1)$$

В разомкнутом (диагональном) теодолитном ходе вычисления производят по тем же формулам.

## 2.2. Вычисление углов наклона сторон хода

Одновременно с измерением горизонтальных углов измеряются вертикальные углы, т.е. углы наклона. На каждую точку по шкале вертикального круга берутся отсчёты при КЛ и КП (табл.1). Знак угла наклона линии определяется отсчётом по вертикальному кругу при КЛ. Положительному углу наклона (точки находятся выше линии горизонта) соответствует отсчёт по вертикальному кругу в диапазоне от  $0^0$  до  $90^0$ , а отрицательному – отсчёт по вертикальному кругу от  $360^0$  до  $270$  (для теодолита Т30).

Углы наклона ( $v$ ) вычисляют с учетом места нуля (МО), а также отсчётов по шкале вертикального круга при КЛ и КП

$$v_{КЛ} = КЛ - МО(-360^0), \text{ если } 270^0 < v < 360^0$$

$$v_{КП} = МО - КП + 180^0$$

$$v = \frac{КЛ - КП \pm 180^0}{2} \quad (2.2)$$

Углы наклона одной и той же линии, определённые в прямом и обратном направлении, по модулю не должны отличаться более чем на двойную точность взятия отсчёта. Для каждого направления определяется средний угол наклона

$$v_{ср} = \frac{v_{пр} + v_{обр}}{2} \quad (2.3)$$

Знак среднего угла наклона принимается по знаку измеренного угла при КЛ.

В разомкнутом (диагональном) теодолитном ходе углы наклона определяются аналогично.

### 2.3. Определение горизонтальных проложений сторон теодолитного хода

Для каждой стороны теодолитного хода по результатам измерений в прямом ( $L_{np}$ ) и обратном ( $L_{обр}$ ) направлении определяют среднюю длину стороны ( $L_{cp}$ ):

$$L_{cp} = \frac{L_{np} + L_{обр}}{2}. \quad (2.4)$$

Горизонтальное проложение измеренной стороны полигона определяют по формуле:

$$L_0 = L_{cp} \times \cos v_{cp}, \quad (2.5)$$

где  $v$  – вертикальный угол.

Все стороны с углами наклона менее  $2^0$  будут иметь горизонтальное проложение, равное средним значениям измеренных длин.

Одновременно с определением горизонтального проложения, производят оценку точности линейных измерений. Расхождение результатов измерений в прямом и обратном направлениях не должно превышать допустимой величины:

$$\frac{L_{np} - L_{обр}}{L_{cp}} \leq \frac{1}{1000}. \quad (2.6)$$

Пример обработки результатов измерений приведён в табл. 1

В разомкнутом (диагональном) теодолитном ходе вычисления производят по тем же формулам.

### 2.4. Вычисление превышений и высот съёмочных точек

Из журнала теодолитной съёмки выписывают вычисленные средние значения для сторон теодолитного хода и углов их наклона. Знак угла наклона принимается в прямом направлении, т.е. по ходу съёмки.

После оценки точности линейных измерений производится вычисление превышений, вычисленных по формуле:

$$h_{выч} = L_{cp} \times \sin v_{cp}. \quad (2.7)$$

Знаки превышений будут соответствовать знаку угла наклона.

#### Контроль вычисления.

Подсчитывается алгебраическая сумма превышений, которая в замкнутом полигоне будет являться фактической невязкой ( $f_{факт}$ ) в определении превышений.



Таблица 1

Ведомость расчета высотных отметок точек замкнутого теодолитного хода

Точки стоян.	Круг	Точки визи-рования	Горизонтальный круг			Вертикальный круг			Длина линии, м			Расхожд.		Превы-шение, м		Высот-ная отмет-ка, м
			отсчет	измер. угол $\beta_{изм}$	средн. угол $\beta_{ср}$	отсчет	угол наклона		прямо	средн. $L_{ср}$	гориз. пролож. $L_0$	абсолютн.		вычисл.		
							измер. $\nu_{изм}$	средн. $\nu_{ср}$				относит.	исправл.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Замкнутый полигон																
I	КЛ	V	298 <sup>0</sup> 18'	186 <sup>0</sup> 52'	186 <sup>0</sup> 52'		5 <sup>0</sup> 20'	5 <sup>0</sup> 20'	135,70	135,71	135,12	0,02	12,61	135,99		
		II	111 <sup>0</sup> 26'												5 <sup>0</sup> 20'	
	КП	V	118 <sup>0</sup> 18'	186 <sup>0</sup> 52'			-5 <sup>0</sup> 20'	-5 <sup>0</sup> 20'	5 <sup>0</sup> 20'			135,72	1/6785			
		II	291 <sup>0</sup> 26'													
II	КЛ	I	14 <sup>0</sup> 35'	91 <sup>0</sup> 01'	91 <sup>0</sup> 02'		179 <sup>0</sup> 29'	-0 <sup>0</sup> 31'								
		III	283 <sup>0</sup> 34'													
	КП	I	194 <sup>0</sup> 37'	91 <sup>0</sup> 03'			180 <sup>0</sup> 31'	0 <sup>0</sup> 31'	-0 <sup>0</sup> 31'							
		III	103 <sup>0</sup> 34'													
III	КЛ	II														
		IV														
	КП	II														
		IV														
IV	КЛ	III														
		V														
	КП	III														
		V														
V	КЛ	IV														
		I														
	КП	IV														
		I														

$$f_{\text{факт}} = \sum h_{\text{выч}}. \quad (2.8)$$

Допустимую невязку ( $f_{\text{доп}}$ ) в тригонометрическом нивелировании при измерении длин лентой, в сантиметрах, определяют по формуле:

$$f_{\text{доп}} = \pm 20\sqrt{L}. \quad (2.9)$$

Если фактическая высотная невязка не превышает допустимую, то она распределяется на все превышения с обратным знаком пропорционально длинам сторон.

$$h_{\text{испр}} = h_{\text{выч}} - \frac{f_{\text{факт}} \times L_{\text{ср}}}{\sum L_{\text{ср}}}. \quad (2.10)$$

Сумма исправленных превышений должна быть равна нулю. Затем производится вычисление высот точек:

$$H_n = H_{n-1} + h_{n-1\text{испр}}, \quad (2.11)$$

где  $H_n$  – высота искомой точки;

$H_{n-1}$  – высота предыдущей точки;

$h_{n-1\text{испр}}$  – исправленное превышение между этими точками.

В разомкнутом (диагональном) теодолитном ходе вычисления превышений производят по формуле (2.8), невязка в превышениях рассчитывается по формуле

$$f_h = \sum h_{\text{выч}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}), \quad (2.12)$$

где  $H_{\text{кон}}$  и  $H_{\text{нач}}$  – высоты точек замкнутого хода, между которыми проложен диагональный ход.

Превышения и высоты вычисляют с точностью до 1 см.

#### Контроль вычисления.

В замкнутом полигоне после прибавления превышения последней стороны к высотной отметке последней точки должны получить высоту первой точки  $H_1$ , а в диагональном - высотную отметку съёмочной точки  $H_{\text{ш}}$ .

Пример определения высотных отметок точек приведен в табл.1

### **3. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ**

#### **3.1. Уравнивание измеренных горизонтальных углов**

В ведомость вычисления координат точек съёмочного обоснования (табл.2) в колонку 2 записывают номера предыдущей и последующей вершин теодолитного хода – точки визирования, а в колонку 3 средние значения измеренных углов на каждой точке хода, взятые из 6 колонки табл.1.

Теодолитный ход выполнен в виде пятиугольника. Теоретическая сумма внутренних углов многоугольника рассчитывается по формуле

$$\beta_{\text{теор}} = 180^\circ (n-2), \quad (3.1)$$

где  $n$  – число углов многоугольника.

Фактическая сумма измеренных углов находится путём их последовательного сложения в виде:  $186^{\circ} 52' + 91^{\circ} 02' + \dots$

$$\sum \beta_{изм} = 539^{\circ} 57'$$

Отличие теоретической суммы углов от измеренной называется угловой невязкой. Угловая невязка вычисляется по формуле:

$$f_{\beta} = \sum \beta_{измер} - \sum \beta_{теор} = -0^{\circ} 03'. \quad (3.2)$$

Фактическая угловая невязка сравнивается с допускаемой ( $f_{\beta доп}$ ) по абсолютной величине.

$$f_{\beta доп} = 2t\sqrt{n}, \quad (3.3)$$

где  $t$  – точность взятия отсчета по шкале горизонтального круга, а  $n = 5$ .

При сравнении должно быть выполнено условие  $f_{\beta} \leq f_{\beta доп}$ .

Если условие выполнено – производят уравнивание измеренных углов путём введения поправок. В случаях, когда угловая невязка по абсолютной величине больше допускаемой, производится проверка исходных данных и правильность вычислений.

Поправки распределяются примерно поровну с обратным знаком между всеми измеренными углами. Поправки, большие по величине, распределяют на углы, образованные короткими сторонами. Точность поправки не должна быть выше точности измерений, т. е.  $0^{\circ}01'$  и сумма поправок должна составлять точное значение невязки, но с обратным знаком.

Исправленные углы ( $\beta_{испр}$ ) записываются в таблице в графу рядом с измеренными.

Контроль вычисления. Сумма исправленных углов должна быть равна теоретической сумме углов  $\sum \beta_{испр} = \sum \beta_{теор}$ .

В разомкнутом (диагональном) теодолитном ходе ведомость вычисления координат записывают средние значения измеренных углов диагонального хода, включая и примычные углы IV-V-VI; VII-III-IV (рис. 1), дирекционные углы начальной ( $\alpha_{IV-V}$ ) и конечной ( $\alpha_{III-IV}$ ) сторон хода.

Угловую невязку диагонального хода вычисляют по формуле:

$$f_{\beta} = \sum \beta_{изм} - (\alpha_n - \alpha_k + 180^{\circ}n), \quad (3.4)$$

где  $\alpha_n$  и  $\alpha_k$  – дирекционные углы начальной и конечной сторон.

Допустимую угловую невязку определяют по формуле (3.3). Полученное значение фактической угловой невязки, не превышающее допустимую, распределяют на все углы диагонального хода, включая примычные, аналогично замкнутому полигону.

Ведомость вычисления координат точек съемочного обоснования

Номера точек		Гориз. углы		Дирекц. углы $\alpha$	Гориз. пролож. $L_0$ , м	Приращения координат, м				Координаты, м		Номера точек
стояния	визирования	измерен. $\beta_{изм}$	исправл. $\beta_{испр}$			вычисл.		исправл.		X	Y	
						$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$			
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
I	5											
	2	186° 52'	186° 53'	132° 45'	135,12	-91,72	99,22	...	...	1350,15	835,88	I
II	1	91° 02'	91° 03'							...	...	II
	3			...	...	...	...	...	...	...	...	III
III	2			...	...	...	...	...	...	...	...	III
	4	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	IV
IV	3			...	...	...	...	...	...	...	...	IV
	5			...	...	...	...	...	...	...	...	V
V	4			...	...	...	...	...	...	...	...	V
	1			...	...	...	...	...	...	...	...	I
I		$\Sigma 539^\circ 57'$	$\Sigma 540^\circ 00'$			$\Sigma \Delta x = f_x$	$\Sigma \Delta y = f_y$	$\Sigma \Delta x = 0$	$\Sigma \Delta y = 0$	1350,15	835,88	I

### 3.2. Вычисление дирекционных углов сторон полигона

Дирекционный угол начальной стороны  $\alpha_{I-II}$  задаётся индивидуально каждому обучающемуся. Значение исходного дирекционного угла, выраженное в градусах и минутах, записывают в колонку 5 между вершинами I и II.

Дирекционные углы последующих сторон полигона вычисляют по формуле

$$\begin{aligned} \text{а) } \alpha_{II-III} &= \alpha_{I-II} + 180^0 - \beta_{2 \text{ испр.}} ; \\ \text{б) } \alpha_{III-IV} &= \alpha_{II-III} + 180^0 - \beta_{3 \text{ испр.}} ; \\ \text{в) } \alpha_{IV-V} &= \alpha_{III-IV} + 180^0 - \beta_{4 \text{ испр.}} ; \\ \text{г) } \alpha_{V-I} &= \alpha_{IV-V} + 180^0 - \beta_{5 \text{ испр.}} ; \end{aligned} \quad (3.5)$$

Контроль вычисления:

$$\text{д) } \alpha_{I-II} = \alpha_{V-I} + 180^0 - \beta_{1 \text{ испр.}} .$$

Если вычисленный дирекционный угол окажется более  $360^0$ , то из величины этого дирекционного угла необходимо вычесть  $360^0$ .

В диагональном ходе исходным дирекционным углом является вычисленный в замкнутом полигоне дирекционный угол стороны IV – V, конечным углом является угол стороны III – IV замкнутого полигона.

$$\begin{aligned} 1) \alpha_{V-VI} &= \alpha_{IV-V} + 180^0 - \beta_{5 \text{ испр.}} ; \\ 2) \alpha_{VI-VII} &= \alpha_{V-VI} + 180^0 - \beta_{6 \text{ испр.}} ; \\ 3) \alpha_{VII-III} &= \alpha_{VI-VII} + 180^0 - \beta_{7 \text{ испр.}} ; \end{aligned} \quad (3.6)$$

Контроль вычисления:

$$4) \alpha_{III-IV} = \alpha_{VII-III} + 180^0 - \beta_{3 \text{ испр.}} .$$

Контроль вычисления.

По вычисленному дирекционному углу последней стороны и исправленному углу на первой вершине вычисляют дирекционный угол начальной стороны. Он должен быть равен исходному, а в диагональном ходе – дирекционному углу стороны III – IV.

### 3.3. Вычисление и уравнивание приращений координат

По дирекционным углам сторон теодолитного хода и их горизонтальным проложениям, вычисляют приращения координат ( $\Delta x$  и  $\Delta y$ ) по таблицам (2) или по формулам:

$$\Delta x = L_0 \cos \alpha; \quad (3.7)$$

$$\Delta y = L_0 \sin \alpha, \quad (3.8)$$

где  $L_0$  – горизонтальное проложение стороны теодолитного хода,  
 $\alpha$  – дирекционный угол этой же стороны.

При вычислении приращений координат минуты дирекционных углов превращают в доли градуса (делением минут на 60). В дальнейшем все вычисления проводятся в градусных измерениях (ВАЖНО!!! При расчетах переключить калькулятор в режим DEG).

Порядок вычисления приращений координат с учетом перевода минут в доли градуса с указанием клавиш калькулятора ( $L_{0I-II} = 135,12$ м;  $\alpha_{I-II} = 132^{\circ}45'$ ):

$$\Delta x_{I-II} = 45[:] 60 [=] [+] 132 [=] [\cos](=) [*] 135,12 = -91,72 \text{ м,}$$

$$\Delta y_{I-II} = 45[:] 60 [=] [+] 132 [=] [\sin](=) [*] 135,12 = 99,22 \text{ м.}$$

Полученные результаты заносят в колонки 7 и 8 табл. 2. При вычислении на микрокалькуляторе знак приращения высвечивается автоматически. Определение приращений координат по таблицам требует расстановки знаков по дирекционным углам в соответствии с табл. 3

Таблица 3

Определение знаков приращений координат

Четверть	Знаки приращения координат	
	$\Delta x$	$\Delta y$
I ( $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ )	+	+
II ( $90^{\circ}$ - $180^{\circ}$ )	-	+
III ( $180^{\circ}$ - $270^{\circ}$ )	-	-
IV ( $270^{\circ}$ - $360^{\circ}$ )	+	-

Приращения координат точек есть проекция на координатные оси каждой линии теодолитного хода, поэтому в замкнутом ходе алгебраические суммы проекций на ось X и на ось Y должны быть равны нулю, т.е.

$$\Sigma \Delta x = 0, \Sigma \Delta y = 0.$$

Так как при измерении длин линий на местности неизбежны ошибки, то суммы проекций на оси X и Y не будут равны нулю, а будут равны некоторым величинам, называемым линейными невязками

$$f_x = \Sigma \Delta x, f_y = \Sigma \Delta y. \quad (3.9)$$

В диагональном ходе линейные невязки определяют по формулам

$$f_x = \Sigma \Delta x - (X_k - X_n); \quad (3.10)$$

$$f_y = \Sigma \Delta y - (Y_k - Y_n), \quad (3.11)$$

где  $X_n, Y_n, X_k, Y_k$  – координаты начальной и конечной точек диагонального хода.

Далее вычисляют абсолютную и относительную невязки

$$f_{abc} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad (3.12)$$

$$f_{отн} = \frac{f_{abc}}{P}, \quad (3.13)$$

где  $P$  – сумма горизонтальных проложений сторон теодолитного хода, т.е. периметр пятиугольника.

Относительная невязка является критерием оценки точности линейных измерений.

Если полученная относительная невязка  $f_{отн} > \frac{1}{1000}$ , то необходимо проверить исходные данные своего варианта и произвести повторные вычисления.

Если  $f_{отн} \leq \frac{1}{1000}$ , то производят распределение невязки  $f_x$  и  $f_y$  на все вычисленные величины приращений координат с обратным знаком пропорционально длинам сторон.

Значения поправок определяют по формулам

$$V_{xi} = -\frac{f_x L_{0i}}{P}; \quad (3.14)$$

$$V_{yi} = -\frac{f_y L_{0i}}{P}. \quad (3.15)$$

Сумма поправок  $\Sigma V_x$  и  $\Sigma V_y$  должна равняться величине невязки  $f_x$  и  $f_y$ , но с обратным знаком. Исправленные приращения записываются в колонки 9, 10 табл. 2.

### 3.4. Вычисление координат вершин теодолитного хода

Координаты первой точки теодолитного хода задаются индивидуально каждому студенту. В диагональном ходе исходными являются координаты точки V.

Для всех последующих точек координаты определяются по формулам

$$X_{i+1} = X_i + \Delta x_{выч\ i} + V_{Xi} = X_i + \Delta x_{испр\ i}; \quad (3.16)$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta y_{выч\ i} + V_{Yi} = Y_i + \Delta y_{испр\ i}. \quad (3.17)$$

Значение координат точек записывают в колонки 11, 12 табл. 2.

Контроль вычислений. По координатам последней точки и исправленным приращениям последней стороны должны быть получены координаты исходной точки I, а в диагональном ходе – координаты конечной примычной точки III.

## 4. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

### 4.1. Общие положения

Тахеометрическая съёмка является вертикально-горизонтальной съёмкой, при которой с каждой станции определяют пространственные полярные координаты (горизонтальный угол  $\beta$ , расстояние  $D$ , углы наклона  $\nu$  линий) необходимых контурных и высотных (так называемых – речных) точек местности.

Съёмочным плано-высотным обоснованием (опорной сетью) для тахеометрической съёмки служат теодолитные ходы, т.е. тахеометрическая съёмка ведётся с пунктов теодолитных ходов, называемых в тахеометрической съёмке «станциями».

Конечной целью этой съёмки является составление топографического плана, на котором рельеф местности изображается в горизонталях.

Съёмка речных точек ведётся с точек опорной сети полярным способом, при этом превышения и высоты точек определяются тригонометрическим нивелированием.

Съёмку рельефа и подробностей ведут одновременно при одном основном положении вертикального круга, обычно при «круге лево» (КЛ).

Все измеренные величины заносят в полевой журнал. Пример записей результатов наблюдений на одной станции приведён в графах 1-5 табл. 4.

Следующим этапом работ является обработка результатов полевых измерений, т.е. обработка полевого журнала.

### 4.2. Вычисление углов наклона на речные точки

Углы наклона линий со станции на каждую речную точку (графа 6) вычисляют, используя соответствующие отсчёты по вертикальному кругу теодолита при его наведении на данную точку (графа 5).

Если величина отсчёта по вертикальному кругу находится в пределах  $0-90^0$ , то угол наклона будет положительным, а его величина будет равна величине отсчёта.

Например (табл. 4), отсчёт по вертикальному кругу на точку 1 равен  $4^002'$ . Следовательно, угол наклона линии I – 1

$$\nu_{I-1} = + 4^002'$$

Если величина отсчёта по вертикальному кругу находится в пределах  $360-270^0$ , то угол наклона будет отрицательным, а его величина вычисляется из выражения  $\nu = n - 360^0$ , где  $n$  – величина отсчёта.

Например (табл.4), отсчёт по вертикальному кругу на точку 2 равен  $358^059'$ . Следовательно, угол наклона линии I-2

$$\nu_{I-2} = 358^059' - 360^000' = - 1^001'$$



Знаки углов наклона впоследствии учитываются при определении знаков превышений между точками.

### 4.3. Определение горизонтальных проложений измеренных дальномером расстояний

Полярной координатой речных точек является горизонтальное расстояние от этих точек до станции, с которой получены данные точки, т.е. горизонтальное проложение.

Если угол наклона более  $2^0$ , то горизонтальное проложение вычисляется по формуле

$$D_0 = D_{изм} \cos^2 \nu . \quad (4.1)$$

Если угол наклона ( $\nu$ ) на наблюдаемую точку менее  $2^0$ , то горизонтальное проложение от станции до этой точки принимается равным измеренному по дальномеру расстоянию между ними, т.е. угол наклона менее  $2^0$  не учитывается и  $D_0 = D_{изм}$ . Это связано с тем, что  $\cos 2^0 = 0,9(9)$ .

Для определения горизонтальных проложений расстояний, измеренных дальномером, используют тахеометрические таблицы.

Результаты вычислений заносят в графу 7 (табл.4) в строку соответствующей речной точки.

### 4.4. Вычисление превышений и высот речных точек

Превышения между станцией и каждой речной точкой, снятой с этой станции, вычисляют по формуле:

$$h_{выч} = h_m + i - V = 0,5 D_{изм} \sin 2\nu + i - V . \quad (4.2)$$

Если высота визирования ( $V$ ) в период наблюдений равнялась высоте установки теодолита ( $i$ ), то данная формула приобретает вид

$$h_{выч} = h_m = 0,5 D_{изм} \sin 2\nu . \quad (4.3)$$

Эта величина называется табличным превышением, её либо вычисляют, либо определяют по тахеометрическим таблицам, используя соответствующие для каждой речной точки измеренные дальномером расстояния (графа 3) и вычисленные углы наклона (графа 6).

Знак превышения определяется знаком угла наклона и знаком разности  $i - V$ . Табличные превышения речных точек заносят в графу 8, а вычисленные с точностью до сантиметра полные превышения заносят в графу 9 журнала в строку соответствующих речных точек.

Высоты речных точек вычисляют по формуле  $H_p = H_{ст} + h$  и заносят в графу 10 журнала. Так, высота речной точки 2 (табл. 4) равна высоте станции I плюс вычисленное превышение между ними (графа 9), т.е.

$$H_2 = 135,99 + (- 0,98) = 135,01 \text{ м.}$$

В графе 11 отмечают характеристику снимаемой речной точки.

Ведомость тахеометрической съемки

№	Отсчет по горизонт. кругу		Расст. по дальн. $D_{изм}$	Высота визиров. $V$	Отсчет по верт. кругу, $\rho$		Угол наклона, $\nu$		Гориз. пролож. $D_0$	Превышения		Высота, $H_p$	Характеристика точек	Абрис
	град.	мин.			град.	мин.	град.	мин.		табл. $h_T$	вычисл. $h_{выч}$			
1	2		3	4	5		6		7	8	9	10	11	12
Станция IN = 1,60 = $iH_{ст}$ = 135,99														
I	00	00												
1	230	15	75,0	1,60	4	02	4	02	74,6	5,26	5,26	141,25	ЛЭП	
2	250	00	55,3	1,60	358	59	-1	01	55,3	-0,98	-0,98	135,01	дорога	
3	282	50	91,4	3,00	358	03								
4	310	55	48,4	1,60	358	59								
5	342	45	94,7	1,60	357	25								
6	357	20	48,3	1,60	356	45								
Станция IVN = 1,57 = $iH_{ст}$ =														
III	00	00												
7	258	35	65,5	1,57	3	12								
8	283	32	24,7	1,57	4	51								
9	356	08	65,9	1,57	358	44								
Станция VN = 1,63 = $iH_{ст}$ =														
IV	00	00												
10	269	50	62,0	1,63	1	29								
11	324	25	79,6	1,63	2	22								
12	349	53	45,7	1,63	4	01								

## 5. СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА МЕСТНОСТИ

### 5.1. Общие требования

План местности составляется на чертёжной бумаге в масштабе 1:1000 с соблюдением установленных требований в соответствии с «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000 – 1:500».

Составление плана осуществляется в следующем порядке.

1. Построение координатной сетки на чертёжной бумаге.
2. Нанесение на план по прямоугольным координатам точек теодолитного хода.
3. Нанесение на план по полярным координатам речных (контурных и высотных) точек.
4. Изображение на плане рельефа местности в горизонталях.
5. Вычерчивание плана в туши, его оформление.

### 5.2. Построение координатной сетки

Для нанесения на план точек теодолитного хода по их прямоугольным координатам вначале на листе чертёжной бумаги размером более 500x500 мм с помощью линейки Дробышева строят координатную сетку с размерами квадратов 100x100 мм.

Для этого на расстоянии 4–6 см от нижнего края листа чертёжной бумаги примерно параллельно срезу листа карандашом по линейке проводят прямую линию (рис. 2). На эту линию накладывают линейку Дробышева так, чтобы прочерченная линия совпала со штрихами на скошенных краях окошек линейки. По скошенным краям окошек линейки карандашом проводят дуги, которые пересекут ранее прочерченную линию в т. А, 1, 2, 3, В и разделят её на 5 отрезков по 100 мм (рис. 2,б). Далее линейка переключается примерно перпендикулярно к проведённой линии так, чтобы штрих первого окошка линейки совпал с левой крайней точкой А. По скошенным краям всех окошек линейки карандашом проводят дуги (рис. 2,в). Затем линейку переключают к правой крайней точке В перпендикулярно к линии АВ и также проводят дуги по скошенным краям всех окошек линейки (рис. 2,в). После этого штрих первого окошка линейки совмещают с точкой В, а линейку располагают по диагонали листа таким образом, чтобы её скошенный дугообразный торец пересёк последний (верхний) штрих на перпендикуляре к линии АВ, восстановленному в т. А. По скошенному торцу линейки проводят дугу, которая в пересечении с верхним штрихом даст точку С (рис. 2,г).

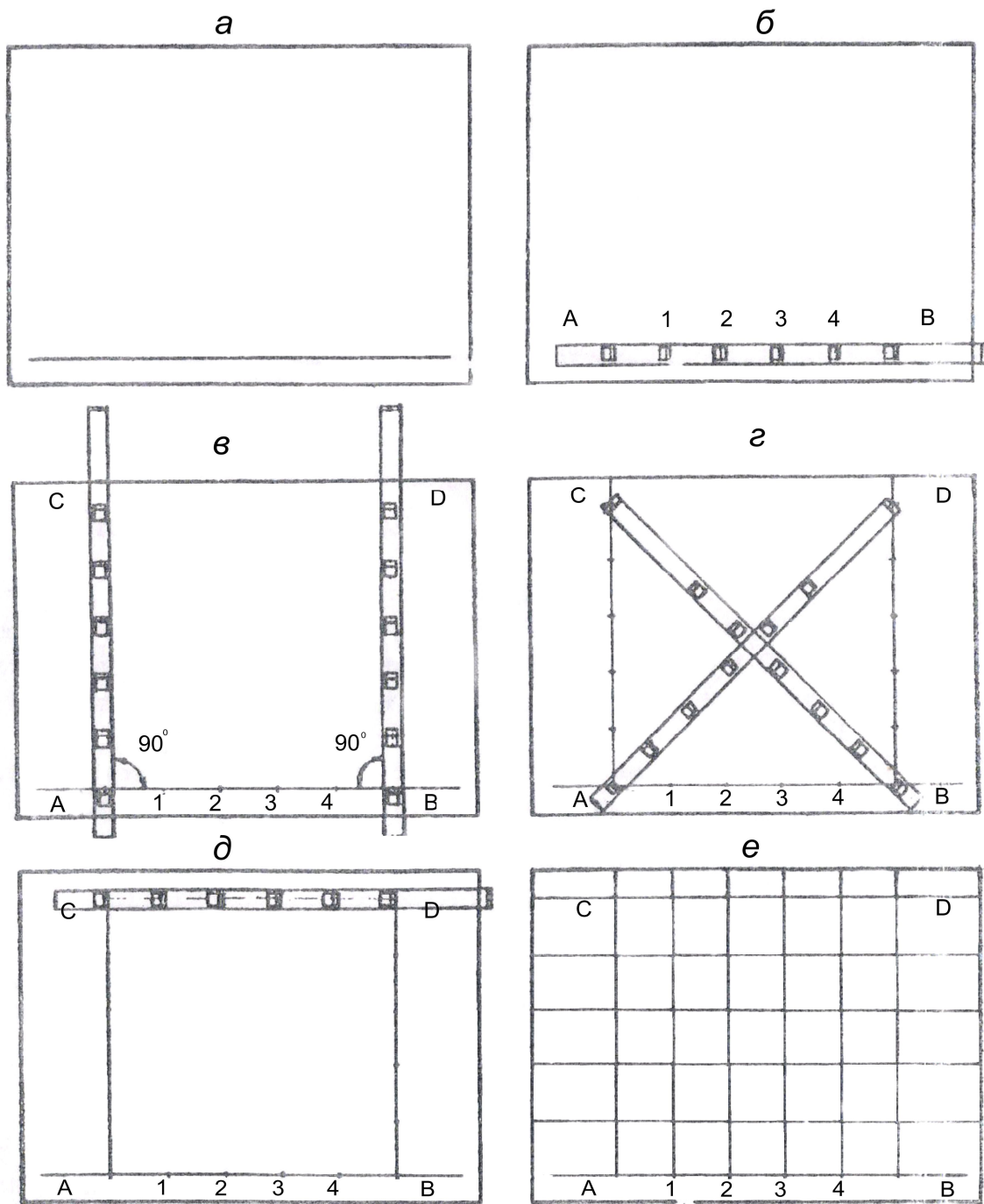


Рис. 2. Построение координатной сетки с помощью линейки Дробышева

Аналогично получают т. D из т. A. Для контроля построения квадрата сравнивают строение между т. C и D с расстоянием между крайними окошками линейки. Допускается расхождение 0,2–0,3 мм. После этого проводят дуги по скошенным краям окошек линейки между точками C и D (рис. 2,д) и соединяют прямыми линиями попарно соответствующие штрихи на противоположных линиях AB и CD, AC и BD (рис. 2,е).

Координатная сетка построена.

### 5.3. Нанесение точек теодолитного хода на план

По вычисленным ранее прямоугольным координатам (табл. 2) на план наносят все точки теодолитного хода как использованные, так и не использованные в качестве съёмочного обоснования (станций) в тахеометрической съёмке.

Нанесению точек по координатам на план предшествует оцифровка координатной сетки с соблюдением следующих основных требований.

1. Увеличение значений координаты  $X$  должно быть в направлении с юга на север (снизу вверх листа чертёжной бумаги). Увеличение значений координаты  $Y$  должно быть с запада на восток (слева направо листа чертёжной бумаги). Таким образом, за «начало координат» принимается юго-западный угол координатной сетки (левый нижний угол листа чертёжной бумаги).

2. На планах масштаба 1:1000 и мельче значения линий координатной сетки в направлениях по осям  $X$  и  $Y$  должны быть кратными 100 м (0,1 км).

3. Значения линий координатной сетки, принятых за начало координат, должны быть кратными 100 м и меньше минимальных значений координат  $X$  и  $Y$  точек, наносимых на план. Этим преследуется и достигается цель симметричного расположения на плане заснятой территории местности примерно в середине листа чертёжной бумаги.

Практически поступают следующим образом.

Значения координаты  $X$  всех точек теодолитного хода, например, изменяются от 781,27 м до 1124,33 м. Минимальное значение координаты  $X_{\min} = 781,27$  м. Следовательно, линии координатной сетки, принимаемой за начало координаты  $X$ , целесообразно дать значение 700,00 м, т.е.  $X_0 = 0,7$  км.

Значения координаты  $Y$  у всех точек теодолитного хода изменяются от 1963,57 м до 2285,78 м. Минимальное значение координаты  $Y_{\min} = 1963,57$  м. Следовательно, линии координатной сетки, принимаемой за начало координаты  $Y$ , целесообразно дать значение 1900,00 м, т.е.  $Y_0 = 1900,00$  м = 0,9 км (рис. 3).

Значения линий координатной сетки по оси  $X$  подписывают в км вдоль левого и правого срезов листа чертёжной бумаги в нарастающем порядке снизу вверх: 0,7; 0,8; 0,9 и т.д. Значения линий координатной сетки по оси  $Y$  подписывают также в км вдоль нижнего и верхнего срезов листа чертёжной бумаги в нарастающем порядке слева направо: 1,9; 2,0; 2,1 и т.д.

Далее приступают непосредственно к нанесению точек теодолитного хода на план по их координатам. Какую координату ( $X$  или  $Y$ ) наносят первой – не имеет значения.

Выполняется эта работа с помощью чертёжных инструментов (циркуль-измеритель, масштабная или обычная линейка, карандаш) в такой последовательности.

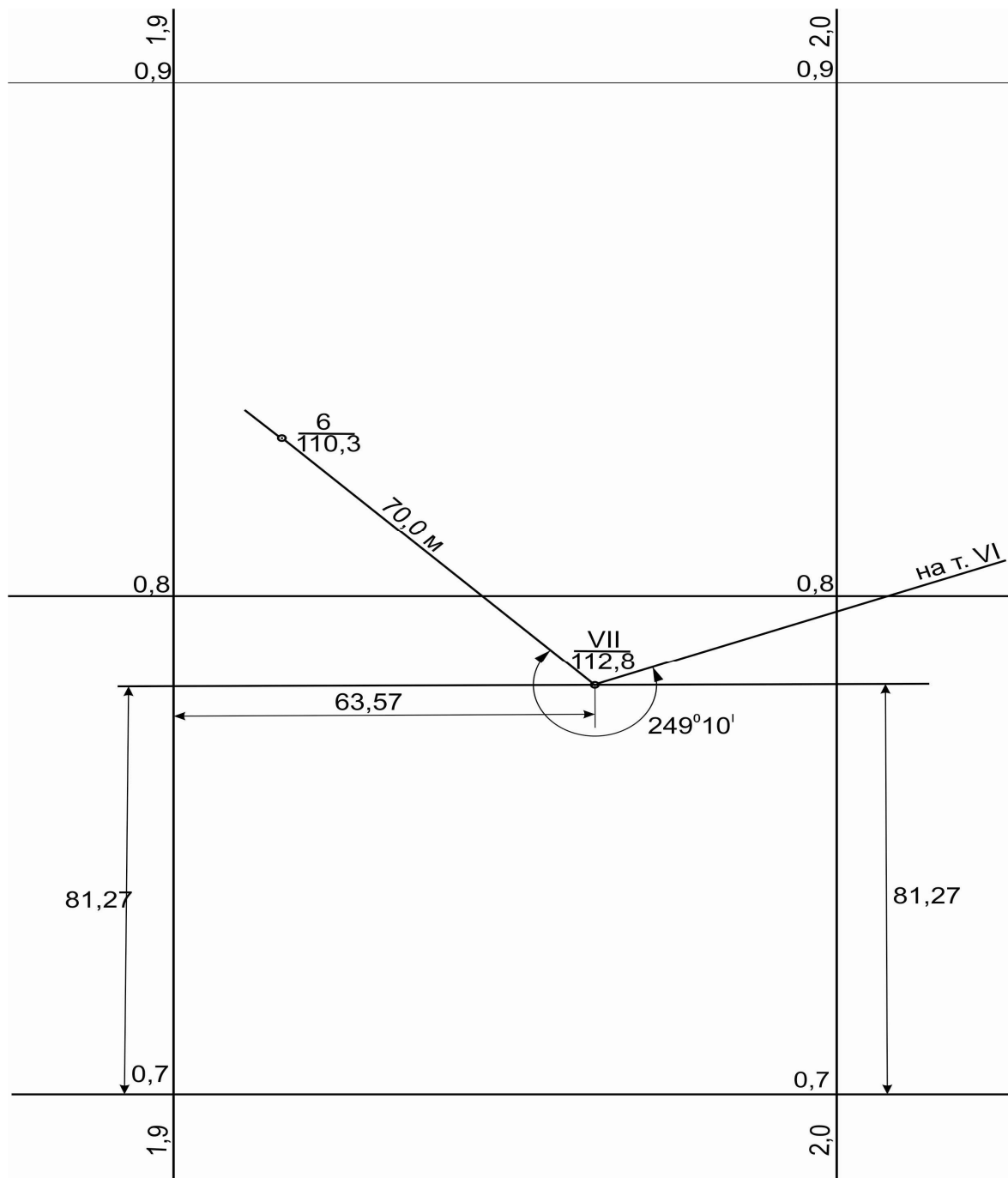


Рис. 3. Нанесение точек теодолитного хода на план

Определяют квадрат координатной сетки, в который попадает точка согласно своим координатам.

От линии координатной сетки, оцифрованной кратно 100 м, отмеряют по противоположным сторонам квадрата (и накалывают измерителем) отрезок, равный разности точного значения координаты точки и значения ближайшей линии координатной сетки. Наколы соединяют тонкой линией и по этой линии отмеряют (и накалывают) отрезок, равный разности точного значения другой координаты этой же точки и значения ближайшей линии координатной сетки.

Например (рис. 3), для нанесения на план точки VII с координатами  $X = 781,27$  м,  $Y = 1963,57$  м, от линии координатной сетки  $X_0 = 0,7$  км откладывают вверх по противоположным сторонам данного квадрата отрезок, равный  $781,27$  м –  $700,00$  м =  $81,27$  м. Делают наколы, соединяют их тонкой линией и по этой линии слева направо от линии координатной сетки, оцифрованной  $Y_0 = 1,9$  км, откладывают (и накалывают) отрезок, равный  $1963,57$  м –  $1900,00$  м =  $63,57$  м. Точка нанесена на план. Её обводят кружком, рядом справа подписывают её номер и высоту с точностью до  $0,1$  м.

Аналогично наносят на план все остальные точки.

Правильность нанесения точек на план проверяют по величине горизонтального проложения между каждой парой соседних точек в масштабе плана. Допускается расхождение до  $\pm 0,2$  мм.

#### **5.4. Нанесение на план контурных и высотных (речных) точек по их полярным координатам**

Контурные и высотные (речные) точки наносят на план по их координатам, вычисленным в журнале тахеометрической съёмки (табл. 5). Одна полярная координата каждой точки (горизонтальный угол, отложенный по ходу часовой стрелки от ориентирного направления на данной станции до направления на каждую речную точку, равный отсчёту по горизонтальному кругу) представлена в графе 2, другая полярная координата (горизонтальное проложение от станции до речной точки) – в графе 7.

Выполняется эта работа простейшими чертёжными инструментами: горизонтальные углы откладываются с помощью транспортира, горизонтальные проложения с помощью масштабной линейки и циркуля-измерителя.

Так, для нанесения на план речной точки 6 (табл. 4) из точки «станция VII» от ориентирного направления VII – VI транспортиром откладывают по ходу часовой стрелки горизонтальный угол VI – VII – 6 до направления на речную т. 6 равный  $249^{\circ}10'$ , т.е. равный отсчёту по горизонтальному кругу теодолита при наведении зрительной трубы на точку 6 (графа 2). Проводят тонкую линию «ст. VII – т. 6» (рис. 3).

Из точки «ст. VII» по проведённой линии откладывают горизонтальное проложение линии «ст. VII – т. 6», равное  $70,0$  м (графа 7). В конце данного отрезка делают накол, обводят его кружком, справа подписывают номер речной точки (графа 1) и её высоту (графа 10) с точностью до  $0,1$  м.

Аналогично наносят на план остальные высотные и контурные точки, полученные с данной станции, а затем и с других станций.

При нанесении точек на план максимально используют их характеристики, имеющиеся в журнале тахеометрической съёмки: абрисы, кроки, записи в примечаниях.

Элементы ситуации изображают условными знаками, тщательно вырисовывая границы контуров и детали местности последовательно по каждой станции.

## 5.5. Изображение рельефа местности на плане в горизонталях

После нанесения ситуации на план приступают к изображению рельефа местности в горизонталях, для чего используют высоты всех точек, нанесённых на план.

Для этого методом интерполирования с помощью палетки между каждой парой ближайших точек по их высотам сначала намечают, а затем проводят горизонтали с заданной высотой сечения рельефа 1 м. При этом горизонтали проводят сначала в наиболее чётких местах рельефа (в наиболее высоких и низких участках местности), а затем – на остальной части плана.

Принцип построения палетки и интерполирования с её помощью заключается в следующем: на листе кальки (прозрачной бумаги) небольшого размера (150x200 мм) проводят несколько (10–15) параллельных линий с любым, но обязательно одинаковым расстоянием между ними (обычно через 10 мм). Каждой линии придают (подписывают) значение высоты, изменяющейся, например, через 1 м в направлении сверху вниз (рис. 4). Желательно, чтобы общий диапазон изменения подписанных у линий палетки высот полностью включал весь диапазон изменения высот точек, нанесённых на план.

Для интерполирования, т.е. определения места положения соответствующих горизонталей между двумя любыми ближайшими точками накладывают палетку на эти точки так, чтобы они заняли на палетке места, соответствующие своим высотам. Удерживая в этом положении палетку, отмечают наколами или карандашом места пересечения линий палетки со створом между интерполируемыми точками. Эти пересечения и будут местами прохождения горизонталей, соответствующих высотам линий палетки, поместившихся между данной парой точек.

Например, определим положение горизонталей с высотой сечения рельефа через 1 м между точками VII ( $H_{VII} = 112,83$  м) и речной точкой 6 с высотой  $H_6 = 110,28$  м (табл. 4). Накладываем палетку так, чтобы точка VII оказалась расположенной на палетке между линиями с высотами 112 и 113, а именно на высоте 112,83 м. Удерживая палетку над точкой VII, разворачиваем её (палетку) в ту или другую сторону и добиваемся, чтобы точка 6 одновременно оказалась расположенной между линиями палетки с высотами 110 и 111 м, а именно – на высоте 110,28 м. В створе между точками VII и 6 поместятся линии палетки с высотами 112 и 111. Это и будут места положения горизонталей с высотами, равными 112 и 111 м.



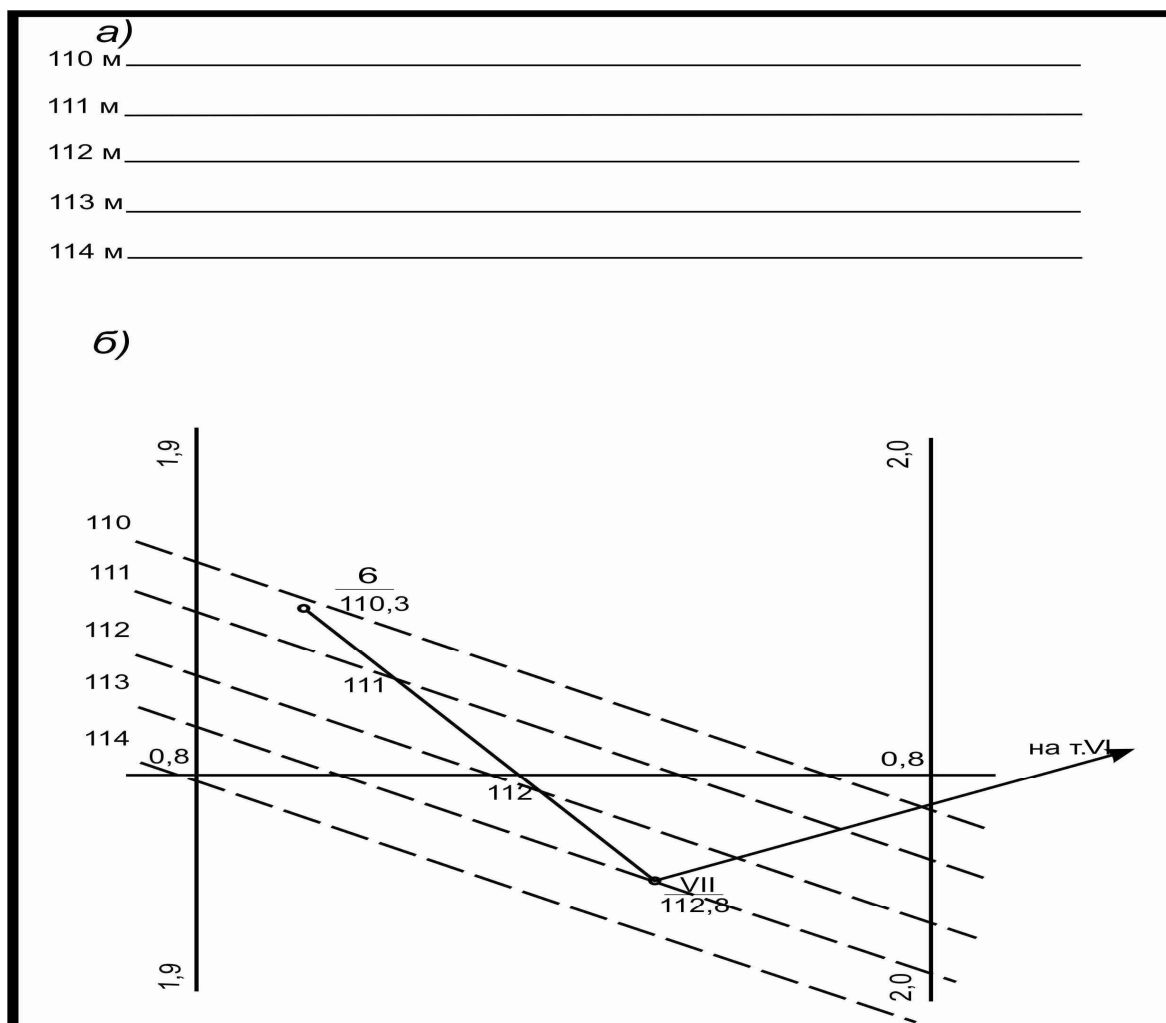


Рис. 4. Принцип построения палетки (а) и интерполирования (б)

Аналогично выполняют интерполирование и намечают места положения горизонталей рельефа местности между любой парой точек.

Затем намеченные места расположения одноимённых горизонталей (с одинаковыми высотами) соединяют плавными линиями.

Некоторые горизонталы, обычно чётные или кратные 5–10 м, вычерчивают утолщёнными. В их разрывах пишут их высоты.

### 5.6. Вычерчивание топографического плана, его оформление

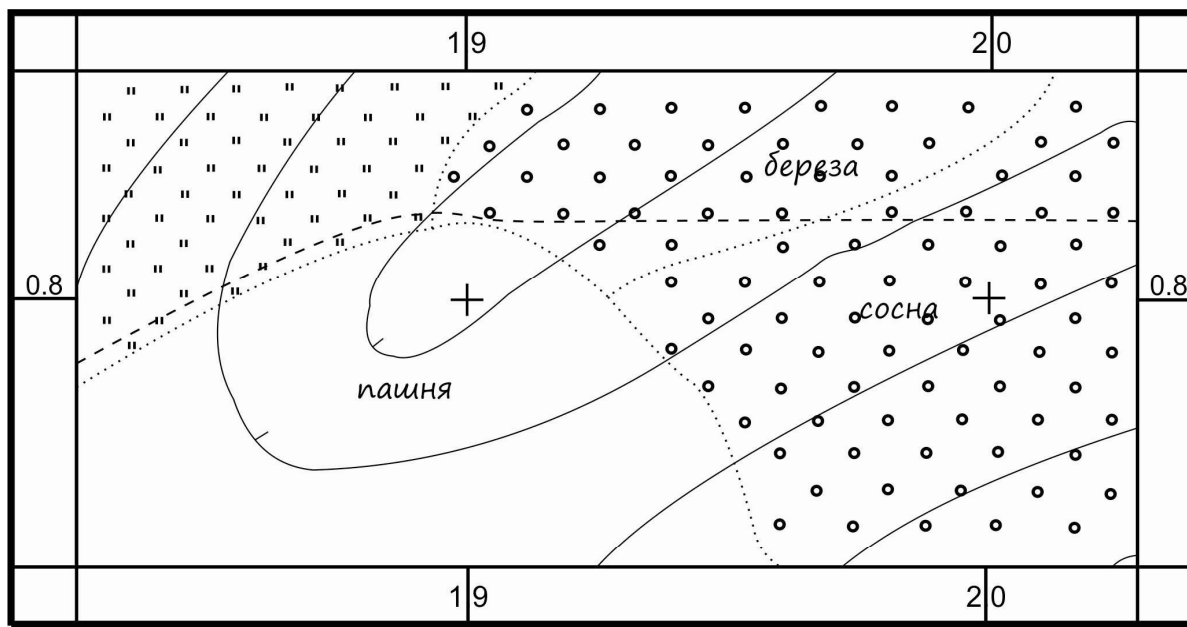
План, вычерченный в карандаше, представляется на проверку, корректируется и вычерчивается с соблюдением установленных требований к условным знакам (рис. 5).

План вычерчивается в такой последовательности.

1. Геодезическая сеть.
2. Дорожная сеть.
3. Линии электропередачи.

4. Рельеф.
5. Почвенно-растительный покров.
6. Рамка чертежа и зарамочное оформление.

Надписи надо выполнять соответствующим шрифтом и располагать их параллельно южной рамке (или северной) листа на расстоянии 1–2 мм вправо от подписываемого объекта (реки подписываются по направлению течения).



1:1000

в 1 сантиметре 10 метров

Сплошные горизонтали проведены через 1 метр

Система высот условная

Студент

Группа

Рис. 5. Топографический план

Размеры рамок должны быть выдержаны по стандарту: расстояние между внешними краями рамок равно 14 мм. Толщина внешней рамки 1,2 мм, внутренней 0,1 мм (соответственно расстояние между внутренними краями рамок 12,7 мм). За рамки чертежа надписи не должны выступать ни влево, ни вправо за пределы внутренних рамок.

Чертёж, выполненный безукоризненно по условным знакам, но с небрежными надписями, создаёт неприятное впечатление и не внушает доверия к его содержанию. Поэтому к выполнению самих надписей следует относиться также внимательно, как и к выполнению чертежа.

Над верхней рамкой топографическим шрифтом выполняется надпись: Топографический план (заглавные буквы 15 мм). Под нижней рамкой также топографическим шрифтом выполняются следующие надписи (рис. 5):

в левом нижнем углу – масштаб плана, высота сечения рельефа, система высот;

в правом нижнем углу – данные об исполнителе, т.е. группа и Ф.И.О. обучающегося.

Расстояния от зарамочных надписей вверху и внизу чертежа, а также боковых рамок до линий обреза чертежа, т.е. поля должны быть равны 20 мм со всех четырёх сторон плана.

## 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

Определить площади можно по результатам измерений на местности (аналитический способ) или по плану (графический способ). Для определения площадей небольших участков по топографическим планам применяют квадратные и параллельные прямоугольные палетки. Квадратная палетка изготавливается из прозрачного материала и представляет собой сеть взаимно перпендикулярных линий, проведенных через 2, 5 или 10 мм (рис. 6).

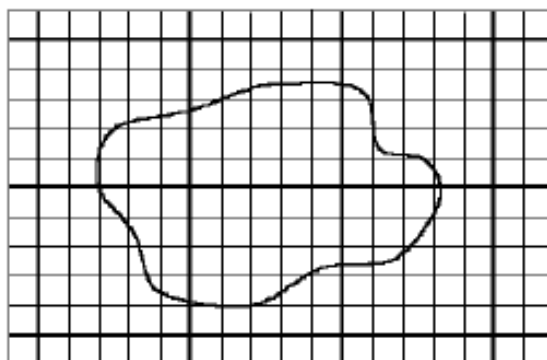


Рис. 6. Квадратная палетка

Площадь фигуры определяется умножением подсчитанных клеток палетки, наложенной на фигуру на площадь одной клетки ( $a$ ). Доли клеток, пересекаемых контуром на части ( $n$ ), учитываются на глаз. Таким образом, площадь ( $P$ ) вычисляется по следующей формуле:

$$P = a(m+n), \quad (6.1)$$

где  $m$  – число целых клеток.

Так же площади определяют как сумму площадей треугольников, прямоугольников и трапеций, длины которых получены из измерений на местности. Иногда элементы простейших геометрических фигур определяют по плану. Значение площадей получают по известным формулам тригонометрии.

Хотя площадь, определенная по плану, и менее точна, зато трудность ее вычисления значительно меньше.

Вычисление площадей по результатам измерений на местности (по координатам) является более точным. В случае использования данного

способа для вычисления площади земельных участков (полигонов) используется табличная форма записи:

Таблица 5

Вычисление площади земельных участков

$x_i$	$y_{i+1}-y_{i-1}$	$x_i(y_{i+1}-y_{i-1})$	$y_i$	$x_{i+1}-x_{i-1}$	$y_i(x_{i+1}-x_{i-1})$
$x_1$	$y_2-y_5$	$x_1(y_2-y_5)$	$y_1$	$x_2-x_5$	$y_1(x_2-x_5)$
$x_2$	$y_3-y_1$	$x_2(y_3-y_1)$	$y_2$	$x_3-x_1$	$y_2(x_3-x_1)$
$x_3$	$y_4-y_2$	$x_3(y_4-y_2)$	$y_3$	$x_4-x_2$	$y_3(x_4-x_2)$
$x_4$	$y_5-y_3$	$x_4(y_5-y_3)$	$y_4$	$x_5-x_3$	$y_4(x_5-x_3)$
$x_5$	$y_1-y_4$	$x_5(y_1-y_4)$	$y_5$	$x_1-x_4$	$y_5(x_1-x_4)$

$$P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i(x_{i-1} - x_{i+1}); P = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i(y_{i+1} - y_{i-1}), \quad (6.2)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты точек.

Обычно по одной из приведенных формул вычисляют площадь участка, а по другой – выполняют контрольное определение. Значения их равны по модулю, но противоположны по знаку.

Основную площадь землепользования, ограниченную теодолитными ходами, определяют аналитическим способом (по координатам) и принимают за теоретическую, а площадь полей и других участков определяют по плану в основном механическим способом и увязывают с площадью, полученной по координатам.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баканова В.В., Фокин П.И. Таблицы приращений координат. М.: Недра, 1982.
2. Костомарова Н.Е., Абрамов Б.К. Обработка теодолитно-тахеометрической съёмки: метод. указ. к лабораторной работе. Екатеринбург: УЛТИ, 1993.
3. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия. М.: Издательский центр «Академия», 2004.
4. Никулин А.С. Тахеометрические таблицы. М.: Геодезиздат, 1957.
5. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500/ : Главное управление геодезии и картография при Совете Министров СССР. М.: Недра, 1989.
6. Фельдман В.Д. Михелев Д.Ш. Основы инженерной геодезии: учебник. М.: Высшая школа, 2001.