

МОСКОВСКИЙ  
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ)



# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к расчетно-графической работе по топографической съемке**

МОСКВА 2006

МОСКОВСКИЙ  
АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Кафедра геодезии

Утверждаю

Зав. кафедрой профессор

 Г.А. Федотов

"27" января 2006 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к расчетно-графической работе  
по топографической съемке

МОСКВА 2006

**Составители:** канд. техн. наук, доц. Г.А. Копылов  
(общие положения, главы 1,2),  
канд. техн. наук, доц. С.П. Паудяль  
(пп. 3.1, 3.2, 3.6, 3.7, главы 4, 5),  
ст. преподаватель В.А. Гурьев  
(пп. 3.3, 3.4, 3.5)

Настоящие методические указания к расчетно-графической работе по топографической съемке подготовлены в результате переработки и обобщения материалов кафедры геодезии МАДИ (ГТУ) в соответствии с рабочей программой по инженерной геодезии для студентов специальностей 291000 «Автомобильные дороги и аэродромы», 291100 «Мосты и транспортные тоннели».

Работа обсуждена и принята на заседании кафедры от 22.11.05.

© Московский автомобильно-дорожный институт  
(государственный технический университет) 2006

### Общие положения

Методические указания являются руководством для самостоятельного выполнения студентами комплекса расчетно-графических работ с целью построения топографического плана участка местности, а также определения на нем площади заданного участка с применением планиметра.

В практике дорожных проектно-изыскательских работ необходимость в составлении топографических планов возникает при проектировании транспортных развязок, изысканиях и проектировании мостовых переходов и малых искусственных сооружений, разработке систем поверхностного водоотвода на сложных участках трассы, составлении проектов вертикальной планировки для строительства объектов автотранспортной службы.

Работы по составлению топографического плана местности традиционными наземными методами включают в себя следующие основные этапы:

- создание съемочного обоснования путем прокладки теодолитных ходов в виде замкнутых и разомкнутых полигонов, в вершинах которых теодолитом или тахеометром измеряют горизонтальные и вертикальные углы, а землемерной лентой или светодальномером – длины сторон полигона;
- проведение съемки подробностей, в ходе которой теодолитом или тахеометром определяют пространственные координаты характерных точек рельефа местности и ситуации;
- обработку результатов полевых измерений и составление топографического плана.

Приступая к выполнению данной расчетно-графической работы, студент должен проработать лекционный материал по

топографической съемке, а также изучить соответствующие разделы учебников [1,2,3].

## 1. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

### 1.1. Вычисление длин сторон и горизонтальных углов в замкнутом полигоне

Длину каждой стороны опорного полигона измеряют на местности дважды – в прямом и обратном направлениях. Результаты измерений указаны в ведомости измерения длин сторон полигона и на рис.1 (стр. 3 и 4 журнала «Расчетно-графическая работа по топографической съемке»)\*. Значение длины каждой стороны полигона вычисляют как среднее арифметическое по формуле

$$D = D_{cp} = \frac{1}{2}(D_{np} + D_{обр}) = \frac{1}{2}(327,97 + 328,07) = 328,02 \text{ м.}$$

При этом должно выполняться условие

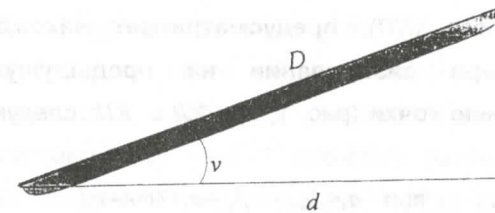
$$\left| \frac{D_{np} - D_{обр}}{D_{cp}} \right| \leq \frac{1}{2000}; \quad \left| \frac{327,97 - 328,07}{328,02} \right| = \left| -\frac{1}{3280} \right| \leq \frac{1}{2000}.$$

Вычисленные значения  $D_{cp}$  записывают в столбец 4 ведомости.

Для построения топографического плана используют только горизонтальные проложения длин линий. Если на местности измеряется наклонное расстояние  $D$  землемерной лентой или светодальномером, то с учетом угла наклона  $\nu$  его горизонтальную проекцию  $d$  вычисляют по формуле

\* В дальнейшем просто журнал.

$$d = D \cos \nu.$$



Как правило, поправки за наклон линий к горизонту  $\Delta d = D - d = D - D \cos \nu = 2D \sin^2 \frac{\nu}{2}$  вводят в тех случаях, когда углы наклона  $\nu$  превышают  $2^\circ$ . Например, сторона I-II полигона состоит из двух участков  $D_{1cp}$  и  $D_{2cp}$  (см. ее профиль на рис. 2 журнала). На участке 111,48 м (от станции I до речной точки 9)  $\nu = 0^\circ 24'$ , а на участке от речной точки 9 до станции II имеем угол наклона к горизонту  $\nu = 2^\circ 06'$ . Для получения горизонтального проложения  $d_{I-II}$  необходимо вычислить горизонтальную проекцию второго участка  $d_2 = D_{2cp} \cos \nu = 135,61 \cos(2^\circ 06') = 135,52$  м и окончательно определить проложение данной стороны полигона  $d_{I-II} = d_1 + d_2 = 111,48 + 135,52 = 247,00$  м. Приведенные вычисления следует выполнять на микрокалькуляторе с тригонометрическими функциями. При извлечении тригонометрических функций лучше сначала перевести секунды в доли минуты и затем минуты в доли градуса. Например,  $\cos(5^\circ 16' 30'') = \cos(5^\circ + 16,5') = \cos 5,275 = 0,9957 \dots$

Обработка результатов угловых измерений, проведенных теодолитом 2Т-30 способом приемов, предусматривает вычисление значений внутренних углов замкнутого полигона<sup>1</sup>. Отсчеты по горизонтальному кругу приведены в столбце 3 журнала (стр. 5).

<sup>1</sup> На местности измеряют справа по ходу лежащие углы, при этом полигон обходят по ходу часовой стрелки.

Вычисление углов в каждом полуприеме, т. е. при круге слева (КЛ) и при круге справа (КП), предусматривает нахождение разности отсчетов при визировании на предыдущую и последующую съёмочные точки (рис. 1) при КЛ и КП следующим образом:

$$\begin{aligned} \beta_n &= a_n - b_n; & \text{при } a_n < b_n & \quad \beta_n = a_n + 360^\circ - b_n; \\ \beta_n &= a_n - b_n; & \text{при } a_n < b_n & \quad \beta_n = a_n + 360^\circ - b_n, \end{aligned}$$

где  $\beta_n$ ,  $\beta_n$  – соответственно углы при круге слева (КЛ) и при круге справа (КП);  $a_n$ ,  $a_n$  – соответствующие отсчеты на предыдущую съёмочную точку (см. рис. 1, станц. I);  $b_n$ ,  $b_n$  – то же на последующую съёмочную точку (см. рис. 1, станц. III).

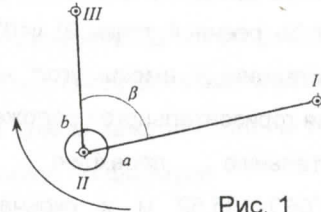


Рис. 1

**Пример:**  $a_n = 92^\circ 51' 00''$ ;  $b_n = 334^\circ 39' 00''$ ;  $a_n = 182^\circ 31' 00''$ ;  $b_n = 64^\circ 19' 00''$ ;  
 $\beta_n = 92^\circ 51' 00'' + 360^\circ - 334^\circ 39' 00'' = 118^\circ 12' 00''$ ;  
 $\beta_n = 182^\circ 31' 00'' - 64^\circ 19' 00'' = 118^\circ 12' 00''$ .

После определения  $\beta_n$  и  $\beta_n$  выполняют контроль измерений и вычислений углов, при котором должно выполняться условие

$$|\beta_n - \beta_n| \leq 2t,$$

где  $t$  – точность отсчета теодолита (например, для теодолита 2Т-30  $t = 30''$ ).

При выполнении данного условия окончательно вычисляют угол из приёма по формуле

$$\beta = \beta_{cp} = \frac{1}{2}(\beta_n + \beta_n).$$

В нашем примере  $\beta = \beta_{cp} = 118^\circ 12' 00''$ . Это значение записывают в столбец 5 журнала измерения углов.

Вычисленные таким образом значения горизонтальных углов переписывают в столбец 2 ведомости координат по замкнутому теодолитному ходу (стр. 7 журнала). Затем приступают к увязке угловых измерений: подсчитывают сумму измеренных углов  $\sum \beta_{изм}$  (при этом секунды целесообразно перевести в десятичные доли минут).

Известно, что сумма внутренних углов многоугольника теоретически равна

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

где  $n$  – количество внутренних углов многоугольника.

Определяют угловую невязку  $f_\beta$  как разницу между измеренной и теоретической суммами углов по формуле

$$f_\beta = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор}. \quad (1)$$

Абсолютное значение полученной угловой невязки не должно превышать значения допустимой невязки, рассчитываемой по формуле

$$f_{\beta доп} = 1,5\sqrt{n}, \quad (2)$$

где  $n$  – количество внутренних углов в замкнутом полигоне.

При допустимом значении невязки ( $f_\beta \leq f_{\beta доп}$ ) ее распределяют поровну на все углы, вводя поправки с противоположным знаком. Поправки со своими знаками записывают в столбец 3 ведомости координат. Если невязка значительно меньше допустимой, то поправки вводят только в углы, образованные наиболее короткими сторонами. Исправленные значения углов записывают в столбец 4 ведомости координат (см. стр. 7 журнала). Сумма исправленных углов должна быть точно равна теоретической сумме.

## 1.2. Вычисление дирекционных углов и румбов сторон замкнутого полигона

В столбце 6 ведомости координат (стр. 7 журнала) задается осевой румб  $r_{I-II}$  стороны  $I-II$  полигона<sup>2</sup>, который необходимо сначала пересчитать в соответствующий дирекционный угол, пользуясь известной связью между дирекционными углами и румбами направлений (рис. 2) с учетом четверти, в которой расположена линия  $I-II$ .

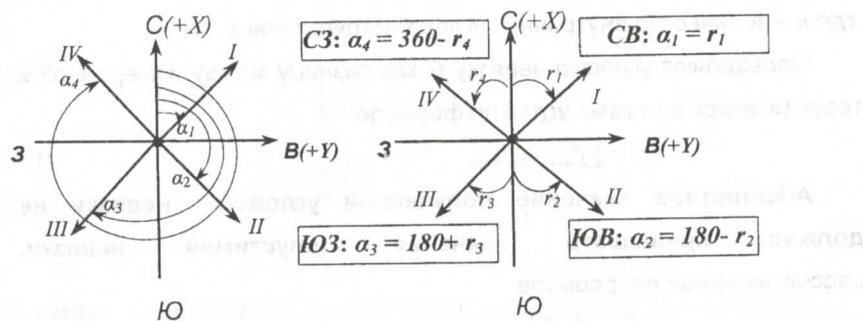


Рис.2

Дирекционные углы последующих сторон рассчитывают по формуле

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + 180^\circ - \beta_{(i)исп}, \quad (3)$$

например,  $\alpha_{II-III} = \alpha_{I-II} + 180^\circ - \beta_{IIисп}$ ,

где  $\alpha_i$  – дирекционный угол следующей стороны;  $\alpha_{i-1}$  – дирекционный угол предыдущей стороны;  $\beta_{(i)исп}$  – справа по ходу лежащий исправленный угол между предыдущей и следующей сторонами.

<sup>2</sup> Здесь, вместо румба  $r_{I-II}$  можно сразу задавать в столбце 5 и дирекционный угол  $\alpha_{I-II}$

Если в процессе вычислений какой-либо из дирекционных углов окажется больше  $360^\circ$ , то его значение следует определить, исключив период ( $360^\circ$ ).

Контролем правильности вычислений дирекционных углов в замкнутом полигоне является получение дирекционного угла  $\alpha_{I-II}$  стороны  $I-II$  по вычисленному дирекционному углу предыдущей стороны  $\alpha_{V-I}$  и углу между ними  $\beta_{Iисп}$ .

Полученные дирекционные углы записывают в столбец 5 ведомости и пересчитывают в соответствующие им румбы (столбец 6 ведомости).

## 1.3. Вычисление прямоугольных координат съемочных точек (станций) опорного теодолитного хода

Координаты съемочных точек (станций) опорного полигона определяют путем решения прямой геодезической задачи по формулам

$$\Delta X_i = d_i \cos \alpha_i; \quad \Delta Y_i = d_i \sin \alpha_i;$$

или

$$\Delta X_i = d_i \cos r_i; \quad \Delta Y_i = d_i \sin r_i, \quad (4)$$

где  $\Delta X_i$  и  $\Delta Y_i$  – приращения координат в метрах;  $d_i$  – горизонтальное проложение рассматриваемой стороны полигона в метрах;  $\alpha_i$  и  $r_i$  – ее дирекционный угол и румб.

При использовании румба  $r_i$  в формулах (4) знаки приращений координат («+» или «-») определяют в соответствии с данными табл. 1.

Вычисленные значения приращений координат округляют до 0,01 м и записывают в столбцы 8 и 9 ведомости приращений координат журнала.

Таблица 1

Наименование четвертей и румбов	Четверти				
	I (0° – 90°)	II (90° – 180°)	III (180° – 270°)	IV (270° – 360°)	
	CB: r <sub>1</sub>	ЮВ: r <sub>2</sub>	ЮЗ: r <sub>3</sub>	СЗ: r <sub>4</sub>	
Знаки приращений	$\Delta X$	+	-	-	+
координат	$\Delta Y$	+	+	-	-

Далее определяют линейные невязки в приращениях координат замкнутого полигона  $f_{\Delta X}$  и  $f_{\Delta Y}$ , рассчитывая соответствующие алгебраические суммы приращений

$$f_{\Delta X} = \sum \Delta X_i; \quad f_{\Delta Y} = \sum \Delta Y_i. \quad (5)$$

Вычисляют абсолютную невязку  $f_{abc}$ , относящуюся ко всему периметру замкнутого полигона  $P = \sum d_i$  в метрах по формуле

$$f_{abc} = \sqrt{f_{\Delta X}^2 + f_{\Delta Y}^2} \quad (6)$$

и рассчитывают относительную невязку  $f_{отн} = \frac{f_{abc}}{P}$ , а затем сравнивают ее с допустимым значением

$$f_{отн} = \frac{f_{abc}}{P} = \frac{1}{\left(\frac{P}{f_{abc}}\right)} \leq \frac{1}{2000}. \quad (7)$$

При выполнении данного условия невязки в приращениях  $f_{\Delta X}$  и  $f_{\Delta Y}$  распределяют пропорционально длинам сторон полигона с противоположным знаком. Для этого вычисляют поправки к приращениям координат по следующим формулам, округляя их до

$$0,01 \text{ м:} \quad \Pi_{\Delta X_i} = \frac{-f_{\Delta X} d_i}{\sum d_i} \quad \text{и} \quad \Pi_{\Delta Y_i} = \frac{-f_{\Delta Y} d_i}{\sum d_i}.$$

Вычисленные поправки записывают в соответствующие столбцы, расположенные рядом с столбцами приращений координат. При этом

должен выполняться контроль вычислений поправок

$$|\sum \Pi_{\Delta X_i}| = |f_{\Delta X}|; \quad |\sum \Pi_{\Delta Y_i}| = |f_{\Delta Y}|.$$

Исправленные приращения координат находят с учетом знаков слагаемых по формулам

$$\Delta X_{(i)исп} = \Delta X_i + \Pi_{\Delta X(i)}; \quad \Delta Y_{(i)исп} = \Delta Y_i + \Pi_{\Delta Y(i)}. \quad (8)$$

Результаты вычислений заносят в столбцы 10 и 11 ведомости координат.

Для контроля вычислений исправленных приращений подсчитывают алгебраические суммы  $\sum \Delta X_{(i)исп}$  и  $\sum \Delta Y_{(i)исп}$ , которые для замкнутого полигона должны быть равны нулю.

Прямоугольные координаты съёмочных точек (станций) полигона определяют по заданным значениям координат съёмочной точки (станции) I ( $X_I, Y_I$ ) и исправленным приращениям, используя формулы

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X_{(i)исп}; \quad Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y_{(i)исп}. \quad (9)$$

Результаты вычислений заносят в ведомость (столбцы 12 и 13). Контроль вычислений прямоугольных координат заключается в получении исходных координат съёмочной точки (станции) I ( $X_I, Y_I$ ) полигона через координаты съёмочной точки (станции) V ( $X_V, Y_V$ ) и исправленные приращения ( $\Delta X_{(V-I)исп}$  и  $\Delta Y_{(V-I)исп}$ ).

#### 1.4. Обработка линейно-угловых измерений по разомкнутому (диагональному) ходу

Диагональный ход проложен от II к IV станции опорного полигона через станцию VI, предназначенную для производства съёмки в центральной части рассматриваемого участка.

Исходными результатами измерений для обработки в диагональном ходе являются длины сторон полигона II-VI и VI-IV и отсчеты по горизонтальному кругу теодолита при измерении справа по

ходу лежащих примычных углов ( $\beta_{II}'$  и  $\beta_{IV}'$ ) с вершинами в точках *II* и *IV*, а также угол  $\beta_{VI}$  при станции *VI*.

Порядок обработки результатов измерений в диагональном ходе совпадает с процедурой обработки данных по замкнутому полигону:

- вычисление длин сторон *II-VI* и *VI-IV* диагонального хода;
- вычисление горизонтальных углов  $\beta_{II}'$ ,  $\beta_{IV}'$  и  $\beta_{VI}$  (по данным столбца 3 журнала диагонального хода);
- вычисление дирекционных углов сторон  $\alpha_{II-VI}$  и  $\alpha_{VI-IV}$ ;
- вычисление и увязка приращений координат съёмочной точки (станции) *VI* диагонального хода.

Результаты вычислений заносят в ведомость координат диагонального хода (стр. 8 журнала).

Угловую невязку  $f_{\beta}$  в диагональном ходе вычисляют по формуле (1), т. е.

$$f_{\beta} = \sum \beta_{изм} - \sum \beta_{теор}.$$

однако, в этом случае теоретическую сумму вычисляют по формуле

$$\sum \beta_{теор} = n \cdot 180^{\circ} - (\alpha_{кон} - \alpha_{нач}) = 3 \cdot 180^{\circ} - (\alpha_{IV-V} - \alpha_{I-II}), \quad (10)$$

где  $\sum \beta_{изм}$  — сумма измеренных углов диагонального хода (а именно  $\beta_{II}'$ ,  $\beta_{VI}$  и  $\beta_{IV}'$ );  $\alpha_{кон}$  — дирекционный угол второй примычной стороны замкнутого полигона, у которой закончился диагональный ход (*IV-V*);  $\alpha_{нач}$  — дирекционный угол первой примычной стороны замкнутого полигона, от которой начался диагональный ход (*I-II*);  $n$  — количество справа по ходу лежащих углов данного хода (в нашем случае  $n=3$ ).

Для определения угловой невязки заносят вычисленные углы по диагональному ходу со стр. 6 журнала в столбец 2 ведомости координат по данному ходу (см. стр. 8 журнала) и подсчитывают их сумму  $\sum \beta_{изм}$ . В столбец 5 заносят дирекционные углы  $\alpha_{I-II}$  и  $\alpha_{IV-V}$  из ведомости координат замкнутого полигона.

Если величина невязки  $f_{\beta}$  окажется меньше допустимой (вычисляемой по формуле (2), т. е.  $f_{\beta доп} = 1',5 \cdot \sqrt{n} = 1,5' \cdot \sqrt{3} \approx 2,6'$ ), то ее

распределяют так же, как в замкнутом полигоне, и получают исправленные значения углов.

Далее определяют дирекционные углы сторон диагонального хода по формуле (3). **Контроль угловых вычислений по диагональному ходу заключается в получении дирекционного угла  $\alpha_{IV-V}$  стороны *IV-V*.**

Для определения невязок в приращениях координат по диагональному ходу вместо формул (5) используют формулы

$$f_{\Delta x} = \sum \Delta X_i - (X_{кон} - X_{нач}) = \sum \Delta X_i - (X_{II} - X_{IV});$$

$$f_{\Delta y} = \sum \Delta Y_i - (Y_{кон} - Y_{нач}) = \sum \Delta Y_i - (Y_{IV} - Y_{II}),$$

где  $\Delta X_i$  и  $\Delta Y_i$  — приращения координат, вычисляемые по формулам (4).

Для определения невязок в приращениях координат подсчитывают алгебраическую сумму приращений  $\sum \Delta X_i$  в столбце 8 и  $\sum \Delta Y_i$  в столбце 9. Затем записывают в графы 12 и 13 координаты съёмочных точек (станций) *II* и *IV*, взяв их из ведомости координат по замкнутому полигону, и определяют разности  $X_{II} - X_{IV}$  и  $Y_{IV} - Y_{II}$ . Полученные результаты подставляют в приведенные выше формулы и определяют величины и знаки невязок  $f_{\Delta x}$  и  $f_{\Delta y}$ .

В диагональном ходе вычисляют абсолютную невязку  $f_{абс}$  по формуле (6) и относительную  $f_{отн}$  по формуле (7) аналогично случаю замкнутого хода (здесь  $P$  — длина диагонального хода). При этом должно выполняться условие

$$f_{отн} = \frac{f_{абс}}{P} = \frac{1}{\left(\frac{P}{f_{отн}}\right)} \leq \frac{1}{1500}.$$

Если величина относительной невязки по диагональному ходу  $f_{отн}$  окажется меньше допустимой (1:1500), то невязки в приращениях  $f_{\Delta x}$  и  $f_{\Delta y}$  распределяют пропорционально длинам сторон диагонального хода с противоположным знаком аналогично



случаю замкнутого полигона, вычисляют исправленные приращения по формулам (8) и определяют координаты съёмочной точки (станции)  $IV$  по формулам (9).

Контролем правильности вычислений по диагональному ходу является получение координат съёмочной точки (станции)  $IV$  ( $X_{IV}$  и  $Y_{IV}$ ), к которым должно привести последовательное вычисление координат съёмочных точек диагонального хода (столбцы 12 и 13).

### 1.5. Вычисление углов наклона и превышений между съёмочными точками (станциями) опорного полигона

Для определения превышений между съёмочными точками (станциями) опорного полигона и их высот сначала вычисляют углы наклона  $v$ . Для этого нужно определить значения места нуля  $M0$  на каждой станции, используя отсчеты по вертикальному кругу  $L$  и  $\Pi$  при его левом и правом положениях (столбец 6 на стр. 5 журнала). Место нуля вычисляют по формуле

$$M0 = \frac{L + \Pi}{2}, \quad (11)$$

а углы наклона по одной из следующих формул:

$$\begin{aligned} v &= \frac{L - \Pi}{2}; \\ v &= L - M0, \\ v &= M0 - \Pi. \end{aligned} \quad (12)$$

В указанные формулы подставляют отсчеты по вертикальному кругу теодолита с учетом их знака. К примеру, на станции  $I$  при измерении угла наклона линии  $I-V$  получены отсчеты по вертикальному кругу:  $\Pi = +1^\circ 00'$  и  $L = -0^\circ 58'$ . При расчетах по формулам (11) и (12) получим

$$M0 = \frac{L + \Pi}{2} = M0 = \frac{-0^\circ 58' + (+1^\circ 00')}{2} = +0^\circ 01';$$

$$v = L - M0 = -0^\circ 58' - (+0^\circ 01') = -0^\circ 59';$$

$$v = \frac{L - \Pi}{2} = \frac{-0^\circ 58' - (+1^\circ 00')}{2} = -0^\circ 59';$$

$$v = M0 - \Pi = +0^\circ 01' - 1^\circ 00' = -0^\circ 59'.$$

Вычисление угла  $v$  нужно выполнять по одной из трех формул (12), дающих одинаковый результат, и произвести контроль по другой.

Превышения между станциями полигона  $h$  рассчитывают по основной формуле тригонометрического нивелирования

$$h = h' + i - l = dtgv + i - l, \quad (13)$$

где  $h'$  – превышение наведения;  $d$  – горизонтальная проекция длины линии между станциями полигона;  $v$  – угол наклона;  $i$  – высота прибора;  $l$  – высота наведения визирного луча.

При проведении топографической съёмки по возможности визирный луч целесообразно наводить на высоту, равную высоте прибора ( $i=l$ ), отмеченную заранее на вешке или рейке. В этом случае упрощенная формула тригонометрического нивелирования имеет вид

$$h = h' = dtgv. \quad (14)$$

Результаты расчетов превышений наведений  $h'$  заносят в столбец 10 (стр. 5 журнала). Расчеты по формуле (14) производят на микрокалькуляторе с тригонометрическими функциями, округляя окончательный результат до 0,01 м. В столбец 13 записывают полные превышения, вычисленные с учетом соответствующих высот прибора и наведений.

Углы и превышения по каждой стороне опорного полигона определяют дважды – в прямом и обратном направлениях. За прямое принимают направление, при котором движение по полигону от станции к станции осуществляется по ходу часовой стрелки.

Вычисленные превышения (прямые и обратные) переписывают в ведомость узязки превышений на стр. 9 журнала (столбцы 3 и 4). Прямые и обратные превышения должны быть близки по абсолютным значениям, но противоположны по знакам. Расхождение по каждой паре не должно превышать 0,04 м на каждые 100 м длины стороны. При выполнении этого условия из каждой пары вычисляют среднее превышение по их абсолютным величинам и присваивают ему знак прямого. Результаты записывают в столбец 5 ведомости узязки превышений.

Далее вычисляют алгебраическую сумму превышений, которая определит величину и знак невязки  $f_h = \sum h_{(i)cp}$ . Если эта невязка не превышает допустимую  $f_{hдоп} = \frac{0,04 \cdot P}{100\sqrt{n}}$  м (где  $P = \sum d_i$  — периметр полигона в метрах, а  $n$  — количество превышений), то невязку в превышениях распределяют пропорционально длинам сторон полигона с противоположным знаком, вводя в средние превышения поправки,

$$П_{hi} = \frac{-f_h \cdot d_i}{P}. \quad (15)$$

Исправленные превышения записывают в столбец 7 ведомости. Алгебраическая сумма исправленных превышений должна быть равна нулю, что является контролем правильности вычислений при замкнутом полигоне.

В столбец 8 записывают условную высоту  $H_I$  станции  $I$ , заданную каждому студенту, а высоты последующих вершин полигона определяют по формуле

$$H_{i+1} = H_i + h_{(i)исп}, \quad (16)$$

где  $H_{i+1}$  — высота последующей съёмочной точки;  $H_i$  — высота предыдущей съёмочной точки;  $h_{(i)исп}$  — исправленное превышение между данными съёмочными точками.

В конце вновь вычисляют высоту съёмочной точки  $I$ , которая должна получиться равной ее исходной величине.

Высоты съёмочных точек (станций) диагонального хода вычисляются так же, как по основному полигону, используя формулы (11)–(16). Разницу составляет лишь определение невязки в превышениях, которая вычисляется по формуле

$$f_h = \sum h_{(i)cp} - \sum h_{теор} = \sum h_{(i)cp} - (H_{кон} - H_{нач}) = \sum h_{(i)cp} - (H_{IV} - H_{II}),$$

где  $f_h$  — невязка в превышениях по диагональному ходу;  $\sum h_{(i)cp}$  — сумма средних превышений по диагональному ходу;  $(H_{кон} - H_{нач})$  — разность высот конечной и начальной съёмочных точек диагонального хода (для нашей работы  $H_{кон} = H_{IV}$  и  $H_{нач} = H_{II}$ ).

Результаты вычислений заносят в соответствующие столбцы ведомости узязки превышений. Высоты начальной и конечной съёмочных точек диагонального хода  $H_{нач}$  ( $H_{II}$ ) и  $H_{кон}$  ( $H_{IV}$ ) переписывают из ведомости узязки превышений по замкнутому ходу.

## 2. ОБРАБОТКА ЖУРНАЛА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

В процессе обработки журнала топографической съёмки определяют плановое и высотное положение характерных точек ситуации и рельефа, называемых речными точками. Плановое положение речной точки определяется расстоянием, измеренным нитяным дальномером со станции опорного полигона и горизонтальным углом, отсчитываемым от базисной линии по ходу часовой стрелки (см. на стр. 10-21 журнала соответствующие столбцы) до данной точки.

Высотное положение речных точек определяют, вычисляя превышения между рассматриваемой станцией полигона и рассматриваемыми точками. Вычисления ведут следующим образом.

По отсчетам, полученным при визировании на любую ясную точку, вычисляют место нуля  $M0$ . Например, на станции  $I$  (стр. 11 журнала)  $M0$  вычислено по отсчетам  $\Pi = -1^\circ 16'$  и  $\Pi = +1^\circ 18'$  по формуле (11)

$$M0 = \frac{\Pi + \Pi}{2} = \frac{-1^\circ 16' + (+1^\circ 18')}{2} = +0^\circ 01'$$

Полученный результат заносят в заглавную строку журнала топографической съемки.

Используя отсчеты по вертикальному кругу, записанные для каждой реечной точки в соответствующий столбец, рассчитывают углы наклона со станции полигона на соответствующие реечные точки по формуле

$$v = \Pi - M0.$$

При углах наклона, превышающих  $2^\circ$ , вычисляют горизонтальные проекции длин  $d$  от съемочной точки опорного полигона до реечных точек по дальномерным расстояниям  $L$ , по формуле

$$d = L \cos^2 v.$$

При углах наклона менее  $2^\circ$  расстояния до реечных точек можно считать горизонтальными, т. е.  $d \approx L$ .

Для вычисления полных превышений между съемочной точкой опорного полигона и реечными точками сначала вычисляют превышения наведений точек по формуле

$$h' = \frac{1}{2} L \sin 2v;$$

а затем полные превышения

$$h = h' + i - l = \frac{1}{2} L \sin 2v + i - l, \quad (17)$$

где  $L$  – дальномерное расстояние реечной точки, м;  $v$  – угол наклона;  $i$  – высота прибора, м;  $l$  – высота наведения визирного луча, м.

Вычисления по формуле (17) производят в том случае, когда наблюдения на данную реечную точку велись при наведении визирной

оси теодолита на другую высоту, а не на высоту прибора  $i$ , отмеченную для данного случая на рейке.

Высоты реечных точек вычисляют по формуле

$$H_{(i)} = H_{cm(m)} + h_{mi};$$

где  $H_{cm(m)}$  – высота  $m$ -й станции опорного полигона;  $h_{mi}$  – превышение между  $m$ -й станцией и  $i$ -й реечной точкой.

Результаты вычислений записывают в соответствующие столбцы журнала топографической съемки.

### 3. ПОСТРОЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА

#### 3.1. Построение сетки квадратов

Построение топографического плана выполняют на листе чертежной бумаги формата  $A1$  (размером  $840 \times 594$ ) мм в масштабе  $1:2000$ . Кроме плана на листе также располагают необходимые подписи, графики заложений и стандартный геодезический штамп МАДИ (ГТУ).

Построение сетки в количестве  $5 \times 5$  квадратов выполняют с помощью линейки профессора Дробышева (рис. 3, а).

Основной квадрат размером  $50 \times 50$  см вычерчивают в следующей последовательности:

- оставив снизу листа бумаги примерно  $25-28$  см, проводят по скошенному краю линейки тонкую горизонтальную линию  $AB$  (рис. 3, б);
- на данной линии отмечают точку  $A$  на расстоянии  $6$  см от левого края листа и укладывают линейку на прочерченную линию так, чтобы нулевой штрих на скошенном крае первого окошечка совпал с точкой  $A$ , а линия  $AB$  была видна по середине окошечек;

- по скошенным краям всех окошечек тонким карандашом проводят засечки, которые разбивают линию  $AB$  на 5 отрезков по 10 см. Точки  $A$  и  $B$  являются нижними вершинами основного квадрата со стороной 50 см;

- совместив нулевой штрих линейки с точкой  $A$  и установив линейку вверх на глаз или ориентируя ее с помощью угольника примерно перпендикулярно к линии  $AB$ , прочерчивают штрихи по всем скошенным краям окошечек (рис. 3, в);

- укладывают линейку от точки  $B$  по диагонали так, чтобы нулевой штрих на скошенном крае первого окошечка совпал с точкой  $B$ , а скошенный торец линейки пересек дугу последней засечки, расположенной на расстоянии 50 см вверх от точки  $A$  (рис. 3, г). В результате пересечения скошенного торца линейки с этой засечкой образуется точка  $D$ , которая будет еще одной вершиной квадрата;

- аналогично находят и вершину  $C$  с правой стороны листа;
- прикладывают нулевой штрих линейки к точке  $C$  и проверяют, равна ли сторона  $CD$  точно 50 см. Для этого по скошенному краю последнего окошечка линейки делают третью засечку в точке  $D$  и проверяют, пересекаются ли все три засечки в одной точке. Размер треугольника погрешностей не должен превышать 0,2 мм;

- если построения верны, то сторону  $CD$  также делят с помощью линейки на 5 частей по 10 см (рис. 3, д);

- для получения координатной сетки со стороной квадрата 10 см соединяют точки  $A$  и  $D$ ,  $D$  и  $C$ ,  $C$  и  $B$ , а также соответствующие противоположные точки пересечения полученных линий с прочерченными дугами (см. рис. 3, д);

- контроль правильности вычерчивания сетки также выполняют, соединяя вершины  $A$  и  $C$ ,  $B$  и  $D$  (по диагонали), при этом в вершинах

квадратиков  $10 \times 10$  см все линии из трех направлений должны пересекаться в одной точке.

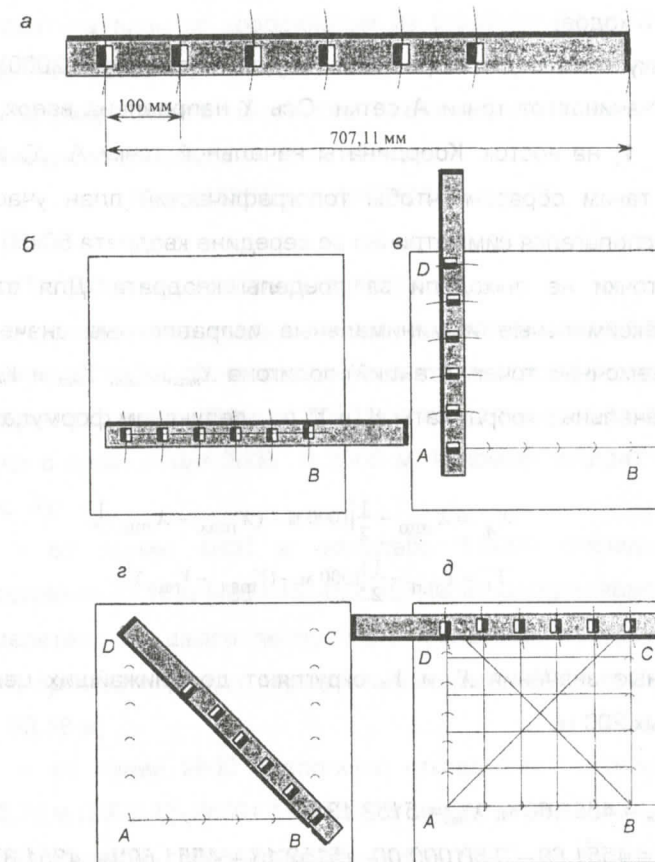


Рис. 3

После выполнения указанных требований осуществляют оцифровку сетки квадратов.

Для оцифровки координатной сетки используют исправленные значения координат всех съемочных точек (как замкнутого, так и диагонального ходов).

Оцифровку производят через 200 м (для масштаба 1:2000) по осям  $X$  и  $Y$ , начиная от точки  $A$  сетки. Ось  $X$  направлена вверх, на север, а ось  $Y$ , на восток. Координаты начальной точки  $A$   $X_A$  и  $Y_A$  определяют таким образом, чтобы топографический план участка местности располагался симметрично по середине квадрата 50x50 см, а реечные точки не выходили за пределы квадрата. Для этого выбирают максимальные и минимальные исправленные значения координат съемочных точек (станций) полигона  $X_{max}$ ,  $X_{min}$ ,  $Y_{max}$  и  $Y_{min}$  и вычисляют начальные координаты  $X_A$  и  $Y_A$  по следующим формулам:

$$X_A = X_{min} - \frac{1}{2}[1000 \text{ м} - (X_{max} - X_{min})],$$

$$Y_A = Y_{min} - \frac{1}{2}[1000 \text{ м} - (Y_{max} - Y_{min})].$$

Полученные значения  $X_A$  и  $Y_A$  округляют до ближайших целых чисел, кратных 200 м.

**Пример:**  $X_{min} = 4551,60 \text{ м}; X_{max} = 5152,13 \text{ м};$

$$X_A = 4551,60 - 0,5[1000,00 - (5152,13 - 4551,60)] = 4351,87 \text{ м}.$$

Округляя данное значение по вышеупомянутому правилу, получим  $X_A = 4400 \text{ м}$ . Далее оцифруют сетку по оси  $X$  через 200 м, т.е. 4600, 4800 ... Аналогично поступают и с координатной осью  $Y$ .

### 3.2. Нанесение на план съемочных точек (станций) опорного полигона и диагонального хода

Съемочные точки опорного полигона и диагонального хода наносят на план по координатам из столбцов 12 и 13 ведомостей (стр. 7 и 8 журнала).

**Пример:** нанести на план съемочную точку (станцию)  $II$ , имеющую координаты

$$X_{II} = 4853,18 \text{ м и } Y_{II} = 2973,75 \text{ м}.$$

*Последовательность действий:*

- определяют квадрат сетки, в котором расположена данная съемочная точка: по направлению оси  $X$  он ограничен линиями сетки, абсциссы которых 4800 и 5000 м, а по направлению оси  $Y$  — линиями сетки с ординатами 2800 и 3000 м. Искомый квадрат заштрихован (рис. 4);

- от линии 4800 в масштабе 1:2000 откладывают вверх расстояние 53,18 м ( $4853,18 - 4800 = 53,18 \text{ м}$ ), определяемое раствором измерителя по шкале поперечного масштаба, и через полученную точку проводят прямую, параллельную линии 4800 и отстоящую от нее на 53,18 м;

- от линии 2800 аналогично откладывают вправо расстояние 173,75 м ( $2973,75 - 2800 = 173,75 \text{ м}$ ) в том же масштабе по проведенной ранее прямой, параллельной линии 4800 м. Полученная точка является местоположением съемочной точки  $II$  полигона.

**Контроль построения полигона производят сравнением расстояний между его съемочными точками**, взятыми со стр. 4 журнала. Например, расстояние между станциями  $I$  и  $II$  должно соответствовать значению 247,00 м. Это расстояние устанавливают

на измеритель, используя поперечный масштаб, и, прикладывая к линии  $I-II$ , контролируют построение. Расхождение при этом не должно превышать  $\pm 0,2$  мм.

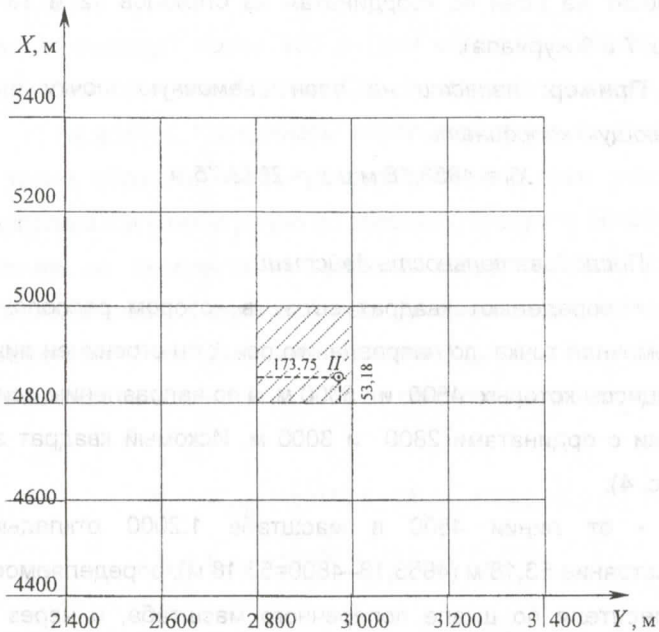


Рис. 4

### 3.3. Нанесение на план речных точек

Речные точки наносят на план с помощью тахеографа, сочетающего в себе транспортир и линейку (рис. 5). Работу выполняют (к примеру, возьмем речную точку 1, снятую из станции  $I$ ) в следующей последовательности:

- берут из журнала (стр. 11) отсчет по горизонтальному кругу  $\alpha$ ,

горизонтальное проложение  $d$  и высоту рассматриваемой речной точки  $H_p$  (например, для 1-й речной точки  $\alpha=22^\circ 50'$ ,  $d=140,50$  м и  $H_p=245,89$  м);

- совмещают центр тахеографа со съемочной точкой  $I$  полигона и закрепляют его с помощью тонкой булавки (при этом лист бумаги должен ровно лежать на чертежной доске);

- вращают тахеограф так, чтобы его нулевой штрих  $0^\circ$  совместился с направлением  $I-1$ . Для этого по кругу тахеографа устанавливают отсчет  $\alpha=22^\circ 50'$  (с точностью  $\pm 15'$ ) на линии ориентирования  $I-V$ ;

- по линейке тахеографа откладывают с точностью  $\pm 0,2$  мм горизонтальное проложение линии  $I-1$  (в нашем случае  $d=140,50$  м) в масштабе плана и отмечают точку 1, подписывая рядом ее номер и высоту (см. рис. 5 и 6);

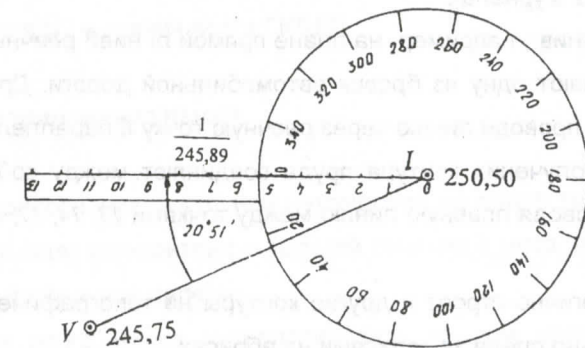


Рис. 5

- аналогично наносят и все остальные речные точки первой и последующих станций, ориентируя тахеограф в каждом случае на соответствующие задние съемочные точки (например, со станции VI диагонального хода тахеограф ориентируют на станцию II и откладывают горизонтальные проложения и углы по ходу часовой стрелки).

Правильность нанесения речных точек частично можно проконтролировать по контурам местности, например, по точкам бровок автомобильных дорог и других точек в абрисах.

### 3.4. Вычерчивание ситуации на плане

Вычерчивание ситуации производят по речным точкам согласно абрисам топографической съемки (стр. 10,12,14,16,18, 20 журнала). Например, для построения контуров автомобильной определяют через какие речные точки на абрисе проходят бровки дороги ( см. стр. 10 и 12 журнала).

Соединив , например, на плане прямой линией речные точки 2, 8 и 9, получают одну из бровок автомобильной дороги. Другую бровку получают, проводя линию через речную точку 6 параллельно первой.

Для получения контура пруда соединяют между собой речные точки, проводя плавную линию между точками 13, 14, 17, 19, 20, 23, 27, 28, 29,30.

Аналогично строят и другие контуры на топографическом плане, внимательно следя за записями на абрисах.

Условные знаки железобетонного моста (см. речные точки 16 и 22), железобетонной трубы (по водосливной линии возле ст. VI), зданий, заборов и т.д. нужно нанести в соответствии со стандартными условными знаками.

Границами контуров растительности являются соответствующие речные точки или линии автомобильных дорог, указанные на абрисах.

На участке плана находятся пост Государственной инспекции по безопасности дорожного движения (ГИБДД) и дорожно-эксплуатационный участок (ДЭУ). Здесь съемку подробностей выполняли в системе прямоугольных координат. С этой целью был составлен помещенный на стр.22 журнала специальный абрис.

Вычерчивание жилой зоны ДЭУ осуществляют в системе прямоугольных координат. За ось  $X$  принимают линию  $V-IV$ , а за начало системы координат- съемочную точку (станцию)  $V$  полигона. От данной точки по оси  $X$  откладывают измерителем отрезки  $X_1=198,07$  м и  $X_2=248,10$  м. В полученных точках восстанавливают перпендикуляры (по направлению оси  $Y$ ). Отложив измерителем на этих линиях отрезки  $Y_1=10,12$  м и  $Y_2= 10,10$  м, их концы соединяют и получают ближнюю от дороги сторону территории ДЭУ, обнесенную деревянным забором. Аналогично вычерчивают остальные элементы ситуации в зоне ДЭУ, а также площадку и здания поста ГИБДД.

### 3.5. Интерполирование высот

Интерполирование высот или нахождение на плане точек, через которые проходят горизонтали с высотой сечения 1 метр, производят с помощью прозрачной палетки.

Прежде всего нужно интерполировать по тем направлениям точек, которые соединены и указаны стрелками в абрисах. Перед интерполированием на плане эти направления необходимо предварительно соединить тонкими линиями. Интерполирование по дополнительным направлениям выполняют согласно указаниям

преподавателя.

Для интерполирования изготавливают палетку на листе кальки размерами около 20x20 см, проводя на нем около 10 тонких параллельных линий с одинаковым шагом, (например, 1 см, хотя размер шага не имеет значения). Проведенные параллельные линии необходимо оцифровать с учетом высот съемочных точек (станций) полигона и речных точек (количество оцифрованных линий должно быть на две больше количества высот сечений— одна линия со стороны максимальной высоты и одна со стороны минимальной). Пример оцифровки палетки представлен на рис. 6, а.

Для пояснения правил пользования палеткой на рис.6,б изображена съемочная точка (станция) *I* теодолитного хода и три речные точки, снятые от данной станции. Согласно абрису *I* на стр. 10 журнала нужно проинтерполировать направления *I-1*, *I-2*, *I-3* и т.д. Рассмотрим интерполирование направления *I-1* палеткой в следующей последовательности:

- палетку укладывают на подлежащую интерполированию линию и перемещают ее относительно более высокой точки (например, станции *I*) до тех пор, пока высота станции *I* (250,50 м) не займет (на глаз) соответствующее положение между линиями 250 и 251 м (см. рис. 6,в);

- в данном положении палетку фиксируют на съемочной точке иглой или булавкой и вращают ее вокруг этого центра до тех пор, пока высота речной точки *1* (245,89 м) не займет (на глаз) соответствующее положение между линиями 245 и 246 м;

- после выполнения высотного ориентирования по отрезку *I-1* нужно аккуратно переколоть иглой точки пересечения линий палетки с интерполируемым отрезком *I-1*.

В нашем примере этих точек будет пять. После прокалывания

отодвигают палетку в сторону и рядом с полученными точками записывают их высоты, например, 246, 247, 248, 249 и 250 м. Аналогично определяют положения точек с заданной высотой сечения на всех интерполируемых линиях.

Горизонтали вычерчивают путем соединения одноименных точек (точек с одинаковыми высотами), полученных в результате интерполирования (см. рис. 6,г). При этом соединительные линии должны быть тонкими и плавными без каких-либо переломов. Места перегибов горизонталей определяют исключительно взаимным положением интерполяционных точек.

Горизонтали, имеющие высоту кратную пяти или десяти высотам сечения рельефа (например, 250 м), разрывают и подписывают с основанием в сторону падения рельефа.

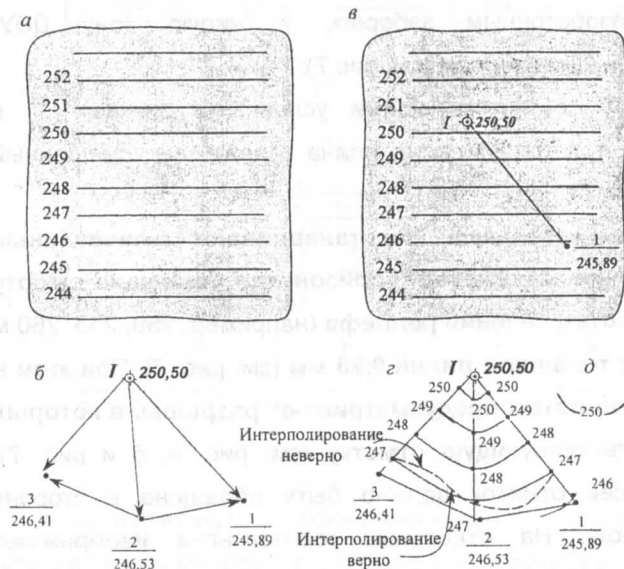


Рис. 6



### 3.6. Оформление топографического плана

Оформление топографического плана выполняют в приводимой ниже последовательности:

- на пересечениях линий координатной сетки оставляют крестообразные метки зеленого цвета размером 6х6 мм (рис. 7).

На съемочных точках полигона вычерчивают кружки с точкой (см. рис. 7) и рядом с кружками слева записывают номера станций полигона, а справа – их высоты с точностью до 0,01 м;

- стирают все вспомогательные линии: линии координатной сетки, сторон теодолитного хода, интерполирования и т. д.;

- показывают соответствующими условными знаками (по ГОСТу) линии автомобильных дорог с покрытиями, грунтовые дороги, тропу, пруд, железобетонный мост, трубу, территорию поста ГИБДД, обнесенную железобетонным забором, и жилую зону ДЭУ, обнесенную деревянным забором (см. рис 7);

- вычерчивают соответствующими условными знаками в указанных местах топографического плана залежи, луг, смешанный лес, огород (см. рис. 7);

- убрав следы карандаша, восстанавливают вычерченные горизонтали коричневым цветом. Горизонтали, имеющие высоту кратную пяти высотам сечения рельефа (например, 250, 255, 260 м и т. д.), выделяют толщиной линии 0,25 мм (см. рис. 7). При этом в утолщенных горизонталях предусматривают разрывы, в которых записывают соответствующую отметку (см. рис. 6, д и рис. 7). Основание подписей отметок должно быть обращено в сторону понижения рельефа. На отдельных горизонталях изображают бергштрихи, указывающие направления понижения высот (см. рис. 7);

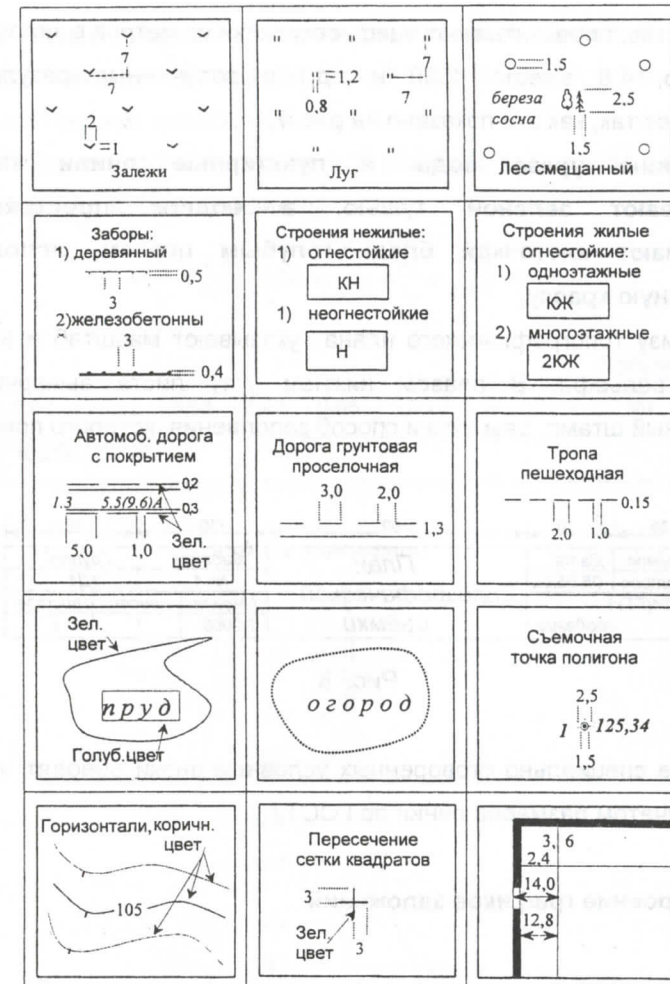


Рис. 7

- вычерчивают оформительскую (наружную) рамку топографического плана в соответствии с размерами, указанными на рис. 7. Выносят продолжения координатной сетки в междумрамочное

пространство, пересчитывают оцифровку сетки из метров в километры (например, 4,8 вместо 4800 и т.д.) и полученные результаты записывают так, как это показано на рис. 7;

▪ линию уреза воды и пунктирные линии кювета вычерчивают зеленой тушью, а водное пространство закрашивают кисточкой бледно-голубым цветом, используя акварельную краску;

▪ внизу топографического плана указывают масштаб и высоту сечения рельефа. В правом нижнем углу листа вычерчивают стандартный штамп, размеры и способ заполнения которого показаны на рис. 8.

20			20			20			60			30			30		
Чертил	Иванов	Дата	План Топографической съёмки						Задание			Группа					
Принял	Петров	05.05.05							№ 1			1Д1					
МАДИ(ГТУ) кафедра геодезии			Масшт.			лист			листов								
			1:2000			1			1								

Рис. 8

Кроме специально оговоренных условные знаки обводят черной тушью с учетом размеров линий по ГОСТу.

### 3.7. Построение графиков заложений

Под чертежом строят два графика заложений: один, характеризующий зависимость между уклонами и расстояниями (график в уклонах), а второй – между углами наклона и расстояниями (график в углах наклона).

График заложений в уклонах строят по зависимости

$$i = \frac{h_c}{d} \Rightarrow d = \frac{h_c}{i} = \frac{1 \text{ м}}{i},$$

где  $i$  – уклон, который принимают от 0,01 до 0,10 с шагом 0,01;  $h_c$  – высота сечения (в нашем случае  $h_c = 1$  м);  $d$  – вычисленные горизонтальные проложения.

Задавая уклоны с шагом 0,01 (табл. 2), вычисляют расстояния  $d$  и заносят в таблицу. Например,

$$d_1 = \frac{h_c}{i_1} = \frac{1 \text{ м}}{0,01} = 100 \text{ м}; \quad d_2 = \frac{h_c}{i_2} = \frac{1 \text{ м}}{0,02} = 50 \text{ м и т.д.}$$

Таблица 2

$i$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10
$d$	100,00	50,00								

Графики заложений

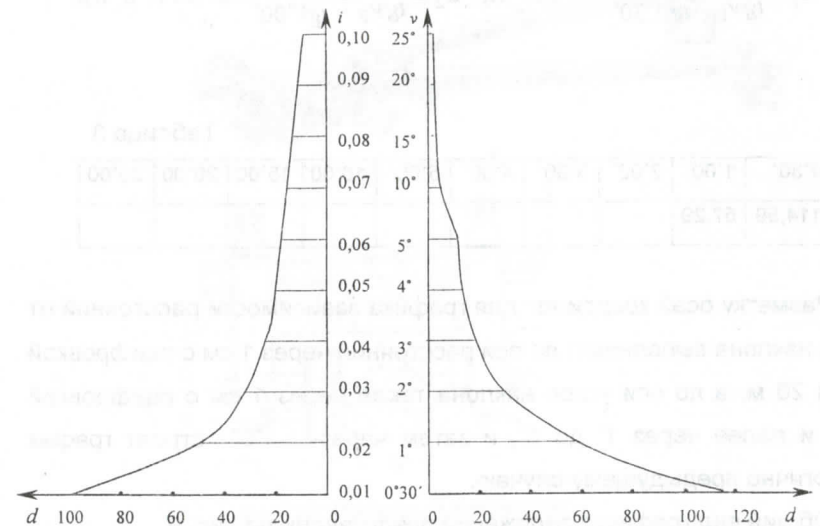


Рис. 9

Разметку осей координат графика в уклонах выполняют: по оси расстояний, откладывая через 1 см с оцифровкой через 20 м (исходя из масштаба плана 1:2000), и по оси уклонов— через 1 см с оцифровкой через 0,01. Затем строят график зависимости расстояний от уклонов (рис. 9).

График заложений в углах наклона строят по следующей зависимости:

$$i = \frac{h_c}{d} = \operatorname{tg} v \Rightarrow d = \frac{h_c}{\operatorname{tg} v} = \frac{1 \text{ м}}{\operatorname{tg} v}.$$

Задавая углы наклона,  $v=0^{\circ}30'$ ,  $1^{\circ}00'$  и далее с шагом  $1^{\circ}$  до  $5^{\circ}$  и с шагом  $5^{\circ}$  до  $25^{\circ}$  (табл. 3), вычисляют расстояния  $d$ . Например,

$$d_1 = \frac{h_c}{\operatorname{tg} v_1} = \frac{1 \text{ м}}{\operatorname{tg} 0^{\circ}30'} = 114,59 \text{ м}; \quad d_2 = \frac{h_c}{\operatorname{tg} v_2} = \frac{1 \text{ м}}{\operatorname{tg} 1^{\circ}00'} = 57,29 \text{ м и т. д.}$$

Таблица 3

$v$	$0^{\circ}30'$	$1^{\circ}00'$	$2^{\circ}00'$	$3^{\circ}00'$	$4^{\circ}00'$	$5^{\circ}00'$	$10^{\circ}00'$	$15^{\circ}00'$	$20^{\circ}00'$	$25^{\circ}00'$
$d$	114,59	57,29								

Разметку осей координат для графика зависимости расстояний от углов наклона выполняют: по оси расстояний через 1 см с оцифровкой через 20 м, а по оси углов наклона также через 1 см с оцифровкой  $0^{\circ}30'$  и далее через  $1^{\circ}$  до  $5^{\circ}$ , и затем через  $5^{\circ}$  строят график аналогично предыдущему случаю.

Общий вид графиков заложений представлен на рис. 9.

Общий вид оформленного топографического плана представлен в приложении.

#### 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ УЧАСТКА НА ТОПОГРАФИЧЕСКОМ ПЛАНЕ С ПОМОЩЬЮ ПЛАНИМЕТРА

Измерение площадей на планах и картах необходимо для решения различных инженерно-экономических задач при изысканиях и проектировании автомобильных дорог, аэродромов, мостовых переходов и т. д.

Различают три способа измерения площадей на планах и картах: *графический*, *аналитический* и *механический* (электронно-механический). Первыми двумя способами измерение площадей студенты должны выполнять самостоятельно. На лабораторном занятии рассматривается механический способ измерения площадей полярным планиметром.

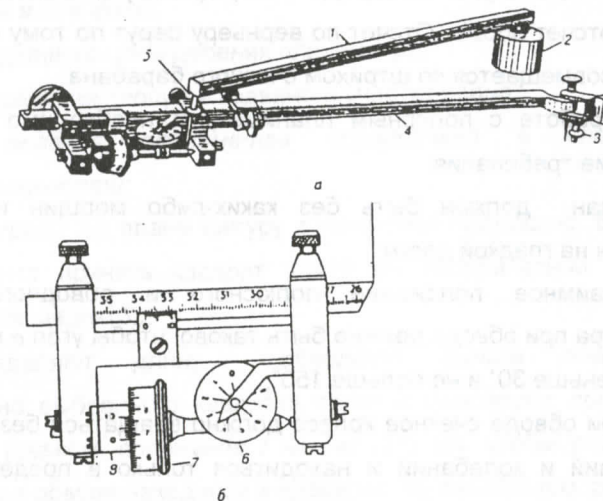


Рис. 10. Полярный планиметр:  
а — внешний вид; б — отсчётное устройство (отсчёт 3682)

Для измерения площади участка на планах или картах, в частности в учебных целях, применяется полярный планиметр (рис. 10). Он предназначен для определения площади механическим способом, путем обвода по контуру геометрической фигуры.

Полярный рычаг 1 (см. рис. 10, а) на одном конце имеет грузик с иглой 2 для фиксирования положения полюса, а на другом – штифт 5 для шарнирного соединения с обводным рычагом 4. Обводной рычаг на одном конце имеет обводной индекс 3 в виде иглы или стеклянной лупы с точкой в центре, а на другом – счетный механизм, включающий в себя циферблат 6, счетный барабан 7 и верньер 8 (см. рис. 10, б).

**Отсчет по счетному механизму записывают четырьмя цифрами:** первую цифру берут по циферблату, вторую и третью – по счетному барабану, а четвертую – по верньеру (в нашем случае на рис. 9 – отсчет 3682). Отсчет по верньеру берут по тому его штриху, который совмещается со штрихом счетного барабана.

При работе с полярным планиметром необходимо соблюдать следующие требования:

- план должен быть без каких-либо морщин и сгибов и закреплен на гладкой доске;
- взаимное положение полюсного и обводного рычагов планиметра при обводе должно быть таково, чтобы угол  $\alpha$  между ними был не меньше  $30^\circ$  и не больше  $150^\circ$ ;
- при обводе счетное колесо должно вращаться без каких-либо препятствий и колебаний и находиться только в пределах бумаги плана (не переходя край листа);
- если при обводе фигуры по ходу часовой стрелки отсчет до обвода получается больше отсчета после обвода, то к последнему нужно прибавить 10000 единиц;

- при определении цены деления планиметра или измерении площади заданного участка обвод нужно выполнить дважды – с двух сторон рассматриваемого участка (рис. 11) – и применить среднюю разность отсчетов из двух приемов. При этом расхождение в разностях отсчетов между двумя положениями не должно превышать 1:200–1:300 (это приблизительно 2–3 единицы разности);

- не следует измерять площади полярным планиметром сильно вытянутой фигуры со значительно меньшим поперечным размером по сравнению с ее длиной (например, участок автомобильной дороги).

При соблюдении указанных требований максимальная точность измерения полярным планиметром составляет примерно 1:300.

Определение площади заданной фигуры полярным планиметром выполняется в два этапа:

- 1) определение цены деления планиметра;
- 2) определение площади заданного участка плана.

*Цену деления планиметра определяют в следующей последовательности:*

- выбирают на плане фигуру с известной площадью. В нашем случае можно принять квадрат  $10 \times 10$  см координатной сетки с известной площадью  $S_{кв}$ ;
- определяют длину обводного рычага планиметра относительно выбранного квадрата сетки и фиксируют первое его положение (скажем, положение I на рис. 11) так, чтобы угол между рычагами при обводе находился в пределах  $30^\circ \leq \alpha \leq 150^\circ$  (см. рис. 11);
- выбирают исходную точку (точку начала обвода). В качестве таковой желательно выбрать ту точку контура обводимой фигуры, при подводе обводного индекса 3 к которой вращение счетного барабана 7 становится наиболее замедленным;

- выбрав исходную точку, совмещают обводной индекс с ней и берут начальный отсчет (до обвода) при первом положении  $U_I^{\partial}$ ;
- держа одной рукой головку полюсного рычага 2 устойчиво в одной точке, другой рукой **обводят** по всему контуру квадрата **по ходу часовой стрелки** (некоторые приборы могут иметь противоположную конструкцию) до исходной точки уверенным поступательным движением с такой скоростью, чтобы цифры на счетном барабане 7 можно было читать, и берут отсчет после обвода  $U_I^n$  (отсчеты заносят в соответствующие строки табл. 4);

Таблица 4

Результаты действий	Положения полюса	
	I	II
Отсчеты после обвода $U_I^n$	9645	0246
Отсчеты до обвода $U_I^{\partial}$	8675	9274
Разность отсчетов $\Delta U = U_I^n - U_I^{\partial}$	970	972
Средняя разность $\Delta U_{cp}$	971	
Цена деления $p = S_{кв} / \Delta U_{cp}$	40000/971 = 41,19 м <sup>2</sup>	

- вычисляют разность отсчетов при I положении планиметра

$$\Delta U_I = U_I^n - U_I^{\partial}; \quad \text{если } U_I^n \leq U_I^{\partial}, \text{ то } \Delta U_I = U_I^n + 10000 - U_I^{\partial};$$

- переставляют планиметр во II положение и, соблюдая все вышеупомянутые требования, получают соответствующие отсчеты до и после обвода  $U_{II}^{\partial}$  и  $U_{II}^n$ , по которым вычисляют вторую разность

$$\Delta U_{II} = U_{II}^n - U_{II}^{\partial}; \quad \text{если } U_{II}^n \leq U_{II}^{\partial}, \text{ то } \Delta U_{II} = U_{II}^n + 10000 - U_{II}^{\partial};$$

- сравнивают  $\Delta U_I$  и  $\Delta U_{II}$  согласно требованию по точности, т.е. должно выполняться условие

$$\left| \frac{\Delta U_I - \Delta U_{II}}{\Delta U_{cp}} \right| \leq \frac{1}{200};$$

- при выполнении данного условия вычисляют среднюю разность

$$\Delta U_{cp} = \frac{\Delta U_I + \Delta U_{II}}{2};$$

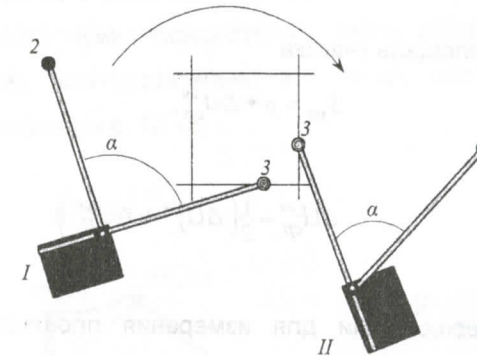


Рис. 11

- вычисляют цену деления планиметра по формуле

$$p = \frac{S_{кв}}{\Delta U_{cp}}, \text{ м}^2.$$

Определение площади заданного участка плана выполняют, соблюдая все действия и требования обмера, как это было при определении цены деления планиметра, и заполняют табл. 5.

Таблица 5

Результаты действий	Положения полюса	
	I	II
Отсчеты после обвода $U^{II}$	9625	0127
Отсчеты до обвода $U^I$	9163	9663
Разность отсчетов $\Delta U = U^{II} - U^I$	462	464
Средняя разность $\Delta U_{cp}^{yc}$	463	
Площадь участка $S_{yc} = p * \Delta U_{cp}^{yc}$	463 * 41,19 м <sup>2</sup> = 19070,97 м <sup>2</sup>	

Затем определяют площадь участка

$$S_{yc} = p * \Delta U_{cp}^{yc},$$

где

$$\Delta U_{cp}^{yc} = \frac{1}{2} (\Delta U_I^{yc} + \Delta U_{II}^{yc}).$$

Наиболее совершенными для измерения площади являются электронные планиметры. Они имеют встроенный калькулятор, который позволяет определить площадь без ручных вычислений. Результаты вычислений высвечиваются на 8 – символьном жидкокристаллическом дисплее. Различают электронные планиметры полярного и роликового типов.

Планиметр полярного типа имеет полюсное плечо для осуществления движения марки в пределах измеряемой площади, а роликового типа обеспечивает неограниченное перемещение как по горизонтальной, так и по вертикальной плоскости.

Точность измерения площади электронными планиметрами приблизительно 1:500.

## 5. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

После измерения площади заданного участка плана на лабораторном занятии полярным планиметром каждый студент самостоятельно определяет площади данного участка следующими способами:

### 1) аналитическим способом

- измерить координаты  $X_i$  и  $Y_i$  характерных точек (вершин) контура заданного участка, используя поперечный масштаб. Выбор точек (вершин) нужно осуществлять таким образом, чтобы линии, соединяющие последовательно эти точки, описывали близкую к исходной фигуру (рис. 12, а);

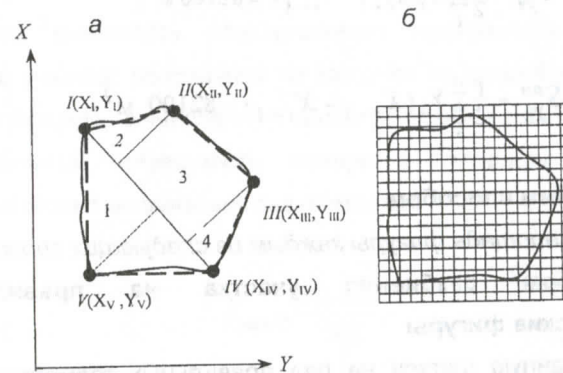


Рис. 12

- вычислить площадь полученной фигуры по одной из следующих формул:

$$S_{yc}^{ан} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1});$$

$$S_{уч}^{ан} = \frac{1}{2} \sum_1^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}),$$

где  $X_i, Y_i$  – координаты  $i$ -х вершин рассматриваемой фигуры.

**Пример:**

$$Y_I (X_V - X_{II})^* = (170 - 570) * 150 = -60000; \quad X_I (Y_{II} - Y_V) = (140 - 310) * 200 = -34000;$$

$$Y_{II} (X_I - X_{III}) = (200 - 580) * 140 = -53200; \quad X_{II} (Y_{III} - Y_I) = (280 - 150) * 570 = 74100;$$

$$Y_{III} (X_{II} - X_{IV}) = (570 - 390) * 280 = 50400; \quad X_{III} (Y_{IV} - Y_{II}) = (410 - 140) * 580 = 156600;$$

$$Y_{IV} (X_{III} - X_V) = (580 - 170) * 410 = 168100; \quad X_{IV} (Y_V - Y_{III}) = (310 - 280) * 390 = 11700;$$

$$Y_V (X_{IV} - X_I) = (390 - 200) * 310 = 58900; \quad X_V (Y_I - Y_{IV}) = (150 - 410) * 170 = -44200;$$

$$\Sigma = 164200;$$

$$\Sigma = 164200.$$

Таким образом,

$$S_{уч}^{ан} = \frac{1}{2} \sum_1^n X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}) = 82100 \text{ м}^2;$$

$$S_{уч}^{ан} = \frac{1}{2} \sum_1^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}) = 82100 \text{ м}^2.$$

## 2) графическим способом

определить площадь фигуры каждым из следующих способов:

### а) способом разбиения участка на правильные геометрические фигуры

- разбить данную фигуру на ряд правильных геометрических фигур (см. на рис. 12, а треугольники 1, 2, 4 и четырехугольник 3);
- измерить стороны данных фигур и определить в отдельности их площади:  $S_1, S_2, \dots, S_i$  по известным формулам;
- определить общую площадь участка по формуле

\* Предыдущей для вершины I является вершина V. Поэтому координата  $X_{I-1} = X_V$ .

$$S_{уч}^{разб} = \sum_1^n S_i.$$

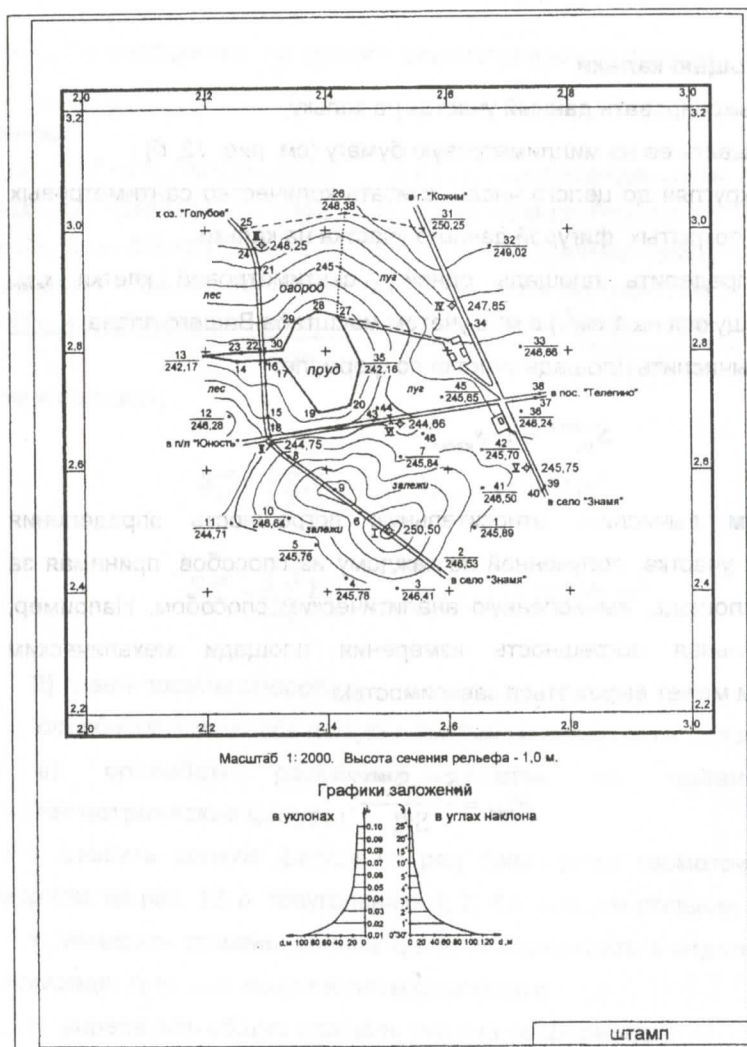
### б) с помощью кальки

- выкопировать данный участок на кальку; прикладывать ее на миллиметровую бумагу (см. рис. 12, б);
- округляя до целого числа, считать количество сантиметровых клеток  $n$ , покрытых фигурой данного участка на кальке;
- определить площадь одной сантиметровой клетки  $S_{клет}$  (приходящуюся на  $1 \text{ см}^2$ ) в  $\text{м}^2$  с учетом масштаба Вашего плана;
- вычислить площадь участка по формуле

$$S_{уч}^{кальк} = n * S_{клет}.$$

Затем вычислить относительную погрешность определения площади участка, полученной по каждому из способов, принимая за основу площадь, вычисленную аналитическим способом. Например, относительная погрешность измерения площади механическим способом может выражаться зависимостью

$$\delta_{мех} = \frac{S_{уч}^{ан} - S_{уч}^{мех}}{S_{уч}^{ан}}.$$



1. Федотов Г.А. Инженерная геодезия: Учебник. - М.: Высшая школа, 2004.
2. Булгаков Н.П., Рыбкина Е.М., Федотов Г.А. Прикладная геодезия. - М.: Недра, 1990.
3. Федоров В.И., Титов А.И., Холдобаев В.А. Практикум по инженерной геодезии и аэрогеодезии. - М.: Недра, 1987.
4. Условные знаки для топографической съемки масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1: 500. - М.: Недра, 1989.

## Оглавление

Общие положения .....	3
1. Обработка результатов измерений по созданию съемочного обоснования.....	4
1.1. Вычисление длин сторон и горизонтальных углов в замкнутом полигоне.....	4
1.2. Вычисление дирекционных углов и румбов сторон замкнутого полигона.....	8
1.3. Вычисление прямоугольных координат съемочных точек (станций) опорного теодолитного хода.....	9
1.4. Обработка линейно-угловых измерений по разомкнутому (диагональному) ходу.....	11
1.5. Вычисление углов наклона и превышений между съемочными точками (станциями) опорного полигона .....	14
2. Обработка журнала топографической съемки .....	17
3. Построение топографического плана .....	19
3.1. Построение сетки квадратов.....	19



3.2. Нанесение на план съемочных точек (станций) опорного полигона и диагонального хода.....	23
3.3. Нанесение на план речных точек.....	24
3.4. Вычерчивание ситуации на плане.....	26
3.5. Интерполирование высот.....	27
3.6. Оформление топографического плана.....	30
3.7. Построение графиков заложений.....	32
<b>4. Определение площади участка на топографическом плане с помощью планиметра.....</b>	<b>35</b>
<b>5. Самостоятельная работа студентов .....</b>	<b>41</b>
Приложение.....	44
Литература.....	45

Редактор Н.П. Лапина  
Технический редактор Н.П. Лапина

---

Подписано в печать 27. 01. 2006 г. Формат 60x84/16

Печать офсетная. Усл. печ. л. 2,8 Уч.-изд. л. 2,3

Тираж 2000 экз. Заказ 46 Цена 19 руб.

---

Ротапринт МАДИ (ГТУ). 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64