

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения  
Кафедра «Мосты и транспортные тоннели»

А. М. Шишов

## ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

Екатеринбург  
УрГУПС  
2017

Федеральное агентство железнодорожного транспорта  
Уральский государственный университет путей сообщения  
Кафедра «Мосты и транспортные тоннели»

А. М. Шишов

## ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ для студентов  
специальности 23.05.04 – «Эксплуатация железных дорог»  
всех форм обучения

Екатеринбург  
УрГУПС  
2017

УДК 528.9

Ш65

**Шишов, А. М.**

Ш65 Топографические карты и планы : метод. указания / А. М. Шишов. – Екатеринбург : УрГУПС, 2017. – 46, [6] с.

Составлены в соответствии с учебным планом и программой дисциплины «Основы геодезии» для студентов первого курса специальности 23.05.04 – «Эксплуатация железных дорог» всех форм обучения.

Методические указания используются при решении инженерных задач по топографическим картам и планам, оценке точности измерений. По окончании выполнения каждой лабораторной работы предусмотрено составление отчета.

В качестве приложений даны фрагменты топографической карты и топографического плана.

Методические указания могут использоваться как на аудиторных занятиях, так и при самостоятельной работе студентов.

УДК 528.9

*Издано по решению  
редакционно-издательского совета университета*

Автор: А. М. Шишов, старший преподаватель кафедры «Мосты и транспортные тоннели», УрГУПС

Рецензент: Г. В. Десятых, доцент кафедры «Мосты и транспортные тоннели», кандидат технических наук, УрГУПС

© Уральский государственный университет  
путей сообщения (УрГУПС), 2017

# Оглавление

1. Топографические карты и планы, их масштабы, содержание, условные знаки. Определение прямоугольных координат заданной на карте точки.....	4
2. Ориентирование линий. Измерение дирекционного угла заданной по карте линии. Передача дирекционного угла на стороны теодолитного хода.....	14
3. Изучение рельефа местности по топографической карте. Определение отметок точек по горизонталям. Проведение горизонталей по цифровой модели рельефа .....	19
4. Решение инженерных задач по топографическим картам и планам .....	26
5. Определение границ водосборной площади для заданной на карте точки. Измерение площади бассейна с помощью полярного планиметра .....	33
6. Оценка точности геодезических измерений и функций измеренных величин .....	39
Библиографический список .....	46

# 1. Топографические карты и планы, их масштабы, содержание, условные знаки. Определение прямоугольных координат заданной на карте точки

## Задание

1. Ознакомиться с топографическими картами и планами, их масштабами и зарамочным оформлением.
2. Выписать в тетрадь определение плана, карты, масштаба, точности масштаба.
3. Изучить условные знаки, которыми изображаются на картах и планах ситуация и рельеф.
4. Вычертить в тетради график поперечного масштаба и отложить на нем две линии заданной длины в масштабе 1:2000.
5. Определить прямоугольные координаты  $x$ ,  $y$  заданной на карте точки  $G$ , указать, где расположена точка с этими координатами.
6. С помощью поперечного масштаба определить прямоугольные координаты точки, заданной на плане масштаба 1:2000.
7. Составить отчет о выполненной работе.

## Методические указания к выполнению работы

### 1.1. Понятие о плане и карте

Строительство и содержание железных дорог невозможно без использования изображений местности на плоскости – карт и планов.

При изображении физической поверхности Земли на плоскости точки поверхности переносят по отвесным линиям на уровенную поверхность, т. е. на поверхность океанов. Такая проекция называется горизонтальной.

Если изображаемый участок невелик, то кривизной уровенной поверхности на нем можно пренебречь и считать эту поверхность горизонтальной плоскостью. Тогда уменьшенное изображение участка на плоскости будет подобно натуре.

**Топографическим планом** называется уменьшенное и подобное изображение на плоскости горизонтальной проекции небольшого участка местности (до 320 км<sup>2</sup>), в пределах которой кривизной Земли можно пренебречь. Топографические планы создают в масштабах 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 и 1: 500.

**Масштабом** карт (планов) называется отношение отрезка на карте (плане) к горизонтальному проложению того же отрезка на местности. Например, масштаб 1:2000 означает: одному сантиметру длины линии на плане соответствует 2000 сантиметров на местности по горизонтальному проложению. Следовательно, знаменатель масштаба означает, во сколько раз на карте уменьшены линии местности.

В инженерных работах используют топографические планы с квадратной разграфкой следующих размеров:

Масштаб плана	Размеры листа	
	На плане, см	На местности, км
1 : 5000	40 × 40	2 × 2
1 : 2000	50 × 50	1 × 1
1 : 1000	50 × 50	0,5 × 0,5
1 : 500	50 × 50	0,25 × 0,25

Листы таких планов имеют две рамки: внутреннюю и внешнюю (оформительскую – толщиной 1,2 мм).

Внутреннюю рамку образуют координатные линии местной системы прямоугольных координат  $x, y$ .

Координатные линии на планах всех масштабов проводят через 10 см и надписывают в километрах на планах масштабов 1:5000 и 1:2000 и в метрах – на планах масштабов 1:1000 и 1:500.

Пересечение координатных линий показывают на планах крестами зеленого цвета. Над северной стороной рамки планов выписывается условная нумерация листа. Под южной стороной рамки приводится масштаб плана и высота сечения рельефа.

При изображении горизонтальных проекций значительных участков кривизной урванной поверхности пренебречь нельзя и при развертывании этой поверхности в плоскость изображение будет искаженным.

Топографическая карта – это уменьшенное подробное изображение на плоскости значительного участка местности, построенное в картографической проекции и позволяющее определять как плановое, так и высотное положение точек. Государственные топографические карты России издаются в масштабах 1:1 000 000, 1:500 000,

1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 и 1:10 000. Перечисленные масштабы топографических карт и планов называются масштабным рядом.

На топографических картах и планах все элементы местности изображаются с примерно одинаковой подробностью и точностью.

Топографические карты имеют общегосударственный характер они создаются на основе единых Общих положений и Условных знаков, предназначены для нужд народного хозяйства и обороны страны. Топографические карты для удобства пользования издаются отдельными листами со сторонами примерно 40-50 см. Листы карт имеют три рамки: внутреннюю, минутную и внешнюю (оформительскую, толщиной 0,8 мм).

Внутреннюю рамку образуют отрезки параллелей и меридианов. В каждом углу рамки надписаны его географические (геодезические) координаты – широта и долгота. Между внутренней и внешней рамками карты находится минутная рамка, которой представлена на карте система геодезических координат. На минутной рамке нанесены деления, соответствующие одной минуте широты (слева и справа) и долготы (вверху и внизу). Точками на минутной рамке отмечены десятки секунд. Расстояние, соответствующее одной минуте дуги меридиана (слева или справа), называется морской милей (1852 м).

Система плоских прямоугольных координат  $x, y$  представлена на карте километровой сеткой.

Над северной стороной внешней рамки приводится номенклатура – специальная нумерация листа.

Под серединой южной стороны внешней рамки приводятся (на примере карты масштаба 1:10 000):

1. Масштаб карты в трех видах:
  - численный, в виде дроби: 1:10 000;
  - именованный, в виде фразы: «в 1 сантиметре 100 метров»;
  - линейный, в виде отрезка прямой, деления которой подписаны через 1 или 2 сантиметра.
2. Высота сечения рельефа: «Сплошные горизонталы проведены через 2,5 м».

3. Название принятой системы высот: «Система высот Балтийская».

Слева от масштаба приводятся сведения о сближении меридианов и магнитном склонении, схема взаимного расположения истинного, осевого и магнитного меридианов на данном листе.

Справа от масштаба приводится график заложений, указываются выходные данные карты.

Фрагмент листа карты масштаба 1:10 000 показан в приложении 1.

Следует обратить внимание на то, где начинаются слева и где заканчиваются справа все надписи в зарамочном оформлении карт и планов: границами этих надписей служат вертикальные линии внутренней рамки карт и планов.

Содержание карт и планов составляют рельеф и ситуации (контуры). Объекты ситуации и рельефа местности изображаются на картах и планах условными знаками, которые приводятся в специальных таблицах «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500».

Условные знаки делятся на площадные, линейные и внемасштабные.

**Площадными** (контурными) условными знаками изображаются объекты значительных размеров, форма которых может быть передана в данном масштабе. К таким условным знакам относятся леса, питомники, сады, пашни, луга, болота, водоемы, а для крупных масштабов – здания и сооружения. Контуром объектов может служить точечный пунктир или линейный условный знак. Внутри контура вычерчиваются заполняющие условные знаки (цветная заливка и специальные значки), раскрывающие содержание объекта.

**Линейные** условные знаки применяются для изображения линейных объектов. В масштабе карты (плана) у таких объектов выражается только длина. Это дороги, линии связи и электропередачи, трубопроводы, ограды.

**Внемасштабными** условными знаками изображаются объекты местности, которые вследствие малых размеров не могут быть выражены в масштабе карты. Объекты, изображенные такими знаками, занимают на карте больше места, чем следовало бы по масштабу. Так изображаются геодезические пункты, сооружения при железных дорогах, колодцы, столбы и т. д. К внемасштабным относятся пояснительные условные знаки: надписи, цифры, знаки видов растительности. Большую часть надписей на картах и планах размещают параллельно южной стороне рамки.

В разных масштабах один и тот же объект может изображаться условным знаком разного типа. Чем крупнее масштаб, тем большее число объектов местности изображаются площадными условными знаками.

Многие условные знаки сопровождаются пояснительными надписями. Для лесов указывают преобладающие породы деревьев и средние значения высоты (в числителе), толщины ствола (в знаменателе),



расстояния между деревьями. Для насыпей и выемок показывают их высоту и глубину. Для геодезических пунктов - их номер по каталогу (или название) и отметку. На дорогах и проезжих частях улиц - материал покрытия: А – асфальтобетон, Б – булыжник, Ц – цементобетон. На шоссе дополнительно показывают ширину. У линий связи и электропередачи - число проводов. На картах у мостов показывают длину-ширину (числитель) и грузоподъемность (знаменатель).

Для отделки планов и карт применяются краски. Черный цвет используется для показа элементов ситуации и надписей. Голубым цветом показывается гидрография. Зеленым цветом закрашиваются площади, занятые лесами и кустарниками. Коричневым цветом показывается рельеф. Розовым и желтым показывают дороги с твердым покрытием.

На лабораторной работе студенты знакомятся с условными знаками, учатся давать характеристику участка местности по плану масштаба 1:2000.

## 1.2. Точность масштаба. Измерение длин линий на картах и планах

При решении инженерных задач требуется большая точность отложения и измерения отрезков : обычно 0,1–0,2 мм.

**Точностью масштаба** называется расстояние на местности, соответствующее 0,1 мм на плане (карте).

Масштаб карты	Точность масштаба, м	Масштаб плана	Точность масштаба, м
1 : 100 000	10	1 : 5000	0,5
1 : 50 000	5	1 : 2000	0,2
1 : 25 000	2,5	1 : 1000	0,1
1 : 10 000	1	1 : 500	0,05

Для выполнения измерений со средней погрешностью, равной точности масштаба, пользуются специальным графиком – **поперечным масштабом**.

Для построения поперечного масштаба на прямой  $AE$  длиной 10–12 см (рис. 1) откладывают несколько раз основание масштаба  $AB$  (2 см). В полученных точках восстанавливают перпендикуляры к линии  $AE$ . На двух крайних перпендикулярах откладывают 10 равных отрезков (например, по 3 мм) и через точки деления проводят прямые, парал-

лельные линии  $AE$ . Основания  $AB$  и  $CD$  делят на 10 равных частей (по 2). Нулевую точку  $B$  соединяют с точкой  $F$  на основании  $CD$ , а через все остальные точки деления проводят линии, параллельные  $BF$ .

Из построения следует, что каждый отрезок на левом основании равен  $0,1 AB$  (десятые доли основания). Отрезки, заключенные между перпендикуляром  $BD$  и наклонной  $BF$ , равны сотым долям основания  $AB$ . Наименьший из этих отрезков  $t$  будет в 10 раз меньше  $DF$ , т. е.  $0,01 AB$  ( $0,2$  мм). Длины последующих отрезков увеличиваются на  $0,01 AB$  и соответственно равны  $0,02 AB$ ,  $0,03 AB$ , номер линии соответствует количеству сотых долей основания. Такой график можно использовать при работе с планом любого масштаба. Будет изменяться только цена делений графика, выраженная в метрах.

График поперечного масштаба (рис. 1) оцифрован для масштаба  $1:2000$ . Цена основания масштаба —  $40$  м, цена каждого деления на левом основании —  $4$  м, длина наименьшего отрезка  $t$  равна  $0,4$  м.

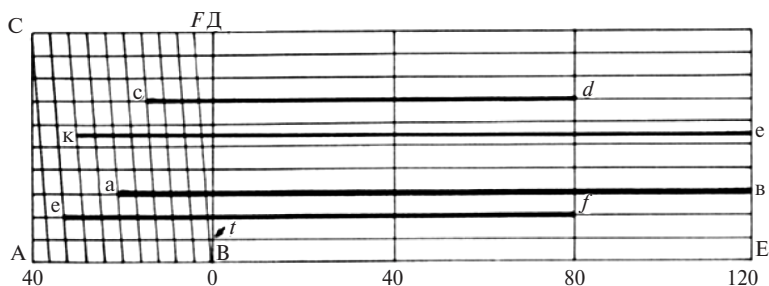


Рис. 1. График поперечного масштаба

Если требуется определить горизонтальное проложение заданной на плане линии с помощью поперечного масштаба, берут эту линию с плана в раствор циркуля-измерителя. Ставят циркуль-измеритель на поперечный масштаб так, чтобы одна игла приходилась на перпендикуляр справа от нуля, а вторая — на одну из наклонных линий слева от нуля, при этом обе иглы должны находиться на одной горизонтальной линии.

Искомая длина получается суммированием уложившихся между иглами измерителя оснований масштаба, их десятых и сотых долей. Длины отрезков  $av$  и  $cd$  на рис. 1 равны:

$$av = 40 \times 3 + 4 \times 5 + 0,4 \times 3 = 141,2 \text{ м,}$$

$$cd = 40 \times 2 + 4 \times 3 + 0,4 \times 7 = 94,8 \text{ м.}$$

Аналогично можно решать обратную задачу, т. е. брать с поперечного масштаба в раствор циркуля-измерителя длину горизонтального проложения линии местности для откладывания ее на плане.

Пример: горизонтальное проложение линии  $ef$  на местности равно 112,8 м. Следует отложить его на плане масштаба 1:2000. Для быстрого решения задачи используют микрокалькулятор. Заданное расстояние делят на величину основания масштаба (40 м). Цифры в полученном частном (2,82) соответствуют количеству целых (2), десятых (8) и сотых (2) долей основания. Последняя цифра показывает также номер горизонтальной линии, на которую следует установить иглы измерителя. Ставят левую иглу измерителя в точку пересечения 8-й наклонной и 2-й горизонтальной линий, а правую на том же уровне на вторую вертикальную линию справа от нуля (80 м). Полученный отрезок будет искомым.

Наименьшее деление поперечного масштаба можно уменьшить вдвое, установив иглы измерителя посередине между горизонтальными линиями. Полученный отрезок равен 0,1 мм, т. е. точности масштаба. Пример: на рис. 1 отрезок  $kl$  равен

$$kl = 40 \times 3 + 4 \times 7 + 0,4 \times 5,5 = 150,2 \text{ м.}$$

### 1.3. Определение прямоугольных координат заданной на топографическом плане точки

Ось  $x$  на планах направлена вертикально. Абсцисса  $x$  увеличивается в направлении с юга на север, а ордината  $y$  — с запада на восток.

Для определения прямоугольных координат  $x$  и  $y$  точки опускают из нее перпендикуляры на ближайшие линии координатной сетки (рис. 2). С помощью измерителя по графику поперечного масштаба определяют длины отрезков  $\Delta x$  и  $\Delta y$ . Полученные значения прибавляют к значениям абсциссы и ординаты соответствующих линий координатной сетки.

*Пример:* на плане масштаба 1:2000 для точки  $A$  в квадрате 79,2–66,2 (координаты юго-западного угла квадрата на рис. 2):

$\Delta x = 155,6 \text{ м}$ ,  $\Delta y = 123,2 \text{ м}$ ,  
 $X_A = 79\,200 + \Delta x = 79\,200 + 155,6 = 79\,355,6 \text{ м}$ ,  
 $Y_A = 66\,200 + \Delta y = 66\,200 + 123,2 = 66\,323,2 \text{ м}$ .  
 Если измерить  $\Delta x'$  и  $\Delta y'$ , то координаты точки А  
 $X_A = 79\,400 - \Delta x'$ ,  $Y_A = 66\,400 - \Delta y'$ .

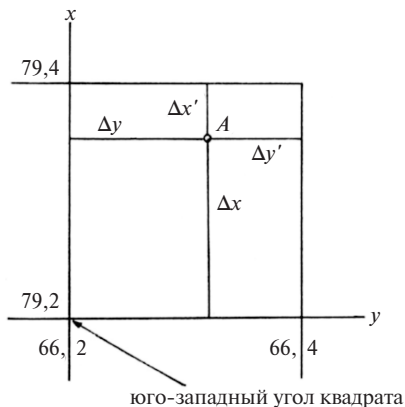


Рис. 2. Определение прямоугольных координат точек на плане

## Задание на выполнение графической работы

Познакомившись с картами и планами, студенты изучают книгу «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500» и на листе чертежной бумаги формата А4 вычерчивают карандашом следующие условные знаки для планов масштаба 1 : 2000, которые будут использованы при выполнении графической работы по составлению контурного плана (знаки 5.1; 12; 13.2; 16.1; 115.5; 136; 155; 174.1; 193.1; 366.1; 367.2; 368; 395; 401; 417). Условные знаки вычерчиваются согласно размерам. Сами размеры тоже указываются на чертеже. Схема компоновки условных знаков на листе бумаги может быть любой. В некоторых случаях задание выдается на специальном бланке. При вычерчивании рамки работы отступают слева, справа и сверху по 5 мм, снизу 30 мм для размещения подписи.

Размер строчных букв в пояснительных надписях пород деревьев, огорода, пашни принимают равным 1,5 мм, цифр в номерах геодезических пунктов, отметках, пояснительных надписях леса — 2 мм,

в этажности зданий – 3 мм. Высота цифр и заглавных (прописных) букв в 1,5 раза больше строчных букв. Правила начертания условных знаков приведены в пояснениях на с. 121–254 книги «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500».

Для правильного размещения подписи работы студенты изучают образец оформления рамки планов по табл. 87 на вкладке книги «Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500». Размер строчных букв в подписи этой и всех последующих работ принимают равным 2 мм, заглавных букв и цифр – 3 мм, цифр масштаба – 4 мм.

## Начертание букв и цифр для зарамочного оформления

АБВГДЕЖЗИКЛМНОПРСТУФХЦЧШЩЬЫЪЭЮЯ 1234567890  
абвгдежзиклмнопрстуфхцчшщьюыъэюя

*Пример размещения подписи работы:*

Преподаватель: Родин В. С.      **1:2000**      ЭД-116 Рыбин С. П.

При подготовке отчетов о выполненной работе следует изучить нужные параграфы «Практикума по инженерной геодезии» и учебника «Инженерная геодезия (с основами геоинформатики)», а затем в отдельной тетради привести ответы на контрольные вопросы.

*Название тетради:*

**ТЕТРАДЬ**

для отчетов о лабораторных работах  
по основам геодезии

студентки группы ЭД – 126

Вишневской С. Н.

*Название отчета:*

Отчет о лабораторной работе 1 на тему:

«Топографические карты и планы, их масштабы, содержание, условные знаки. Определение координат заданной на карте точки»

Текст следует *отделять от заголовка* пробельной строкой. Сначала выписывают вопрос, затем приводят ответ. Вопросы следует внимательно прочитать, а затем ответить правильно, кратко и полно только по тем *пунктам*, которые поставлены в вопросе.

#### 1.4. Отчетом по работе являются:

1. Вычерченный график поперечного масштаба с основанием 5 см для масштаба 1 : 10 000.
2. Таблица условных знаков.
3. Ответы на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

1. Что называется планом, картой?
2. В каком виде приводится масштаб на картах и планах?
3. Что называется масштабом карты и плана?
4. Что называется точностью масштаба карты и плана?
5. Какие линии составляют внутреннюю рамку листа карты?
6. Какие линии составляют внутреннюю рамку листа плана?
7. Как строится график поперечного масштаба?
8. Как определяется длина отрезков с помощью поперечного масштаба?
9. Как откладываются длины отрезков с помощью поперечного масштаба?
10. Как определить координаты  $(x, y)$  заданной на плане точки?

## 2. Ориентирование линий.

### Измерение дирекционного угла заданной по карте линии. Передача дирекционного угла на стороны теодолитного хода

#### Задание

1. Измерить на карте дирекционные углы  $CD$  и  $TA$  с помощью геодезического транспорта. Привести пояснительный чертеж.
2. Вычислить обратный дирекционный угол линии  $CD$ .
3. Изучить связь дирекционных углов линий и горизонтального угла между ними.
4. Вычислить дирекционные углы сторон геометрического построения — теодолитного хода.
5. Составить отчет о выполненной работе.

#### Методические указания к выполнению работы

##### 2.1. Общие сведения об ориентировании линий

Ориентировать линию — значит определить ее положение относительно исходного направления. В качестве исходных в геодезии принимают северные направления меридианов: истинного (географического), магнитного и осевого меридиана зоны. Схема взаимного расположения меридианов приводится на карте слева под южной стороной рамки (см. приложение 1).

Угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана (внутренней рамки карты) до заданного направления, называется истинным азимутом  $A$ .

Угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана (магнитной стрелки компаса, буссоли) до заданного направления, называется магнитным азимутом  $A_m$ .

Угол, отсчитываемый от северного (положительного) направления осевого меридиана зоны или вертикальной линии координатной сетки до заданного направления, называется дирекционным углом  $\alpha$ .

Данные углы могут принимать значения от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ .

Измерив дирекционный угол  $\alpha$  линии на карте, пользуясь схемой взаимного расположения меридианов и величинами сближения меридианов и магнитного склонения, можно вычислить истинный и магнитный азимут линии.

## 2.2. Измерение дирекционных углов линий на карте или плане

Дирекционные углы линий на картах или планах измеряют с помощью геодезического транспортира, на шкале (лимбе) которого нанесены деления через  $30'$ . Эта величина, т. е. угловой размер одного деления, называется ценой деления шкалы транспортира. Измерения выполняют в следующей последовательности (рис. 3):

1. Продолжают ориентируемую линию до пересечения с ближайшей вертикальной линией координатной сетки.

2. Совмещают центр транспортира с полученной точкой пересечения, нулевой диаметр транспортира ( $0^\circ$ – $180^\circ$ ) совмещают с вертикальной координатной линией нулем на север.

3. Берут отсчет по шкале транспортира, оцифрованной от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ , с точностью до половины наименьшего деления, т. е.  $15'$ . Если измеряемый дирекционный угол больше  $180^\circ$ , то нулевое деление шкалы транспортира направляют вниз, к южной части карты и берут отсчет по внутренней (красной) шкале транспортира, оцифрованной от  $180^\circ$  до  $360^\circ$ .

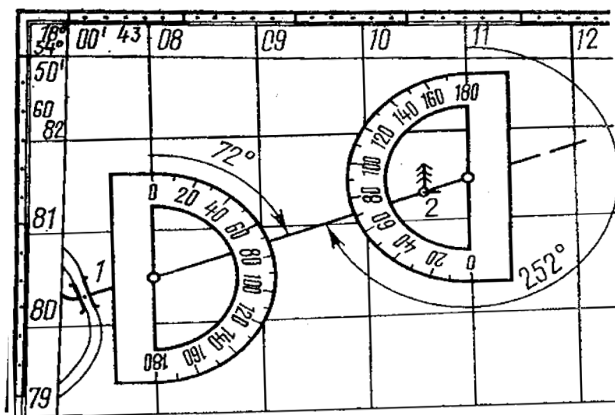


Рис. 3. К измерению дирекционных углов линий



### 2.3. Связь прямого и обратного дирекционных углов

Для каждой линии различают прямое и обратное (противоположное) направления. Прямой угол  $\alpha_{1-2}$  и обратный  $\alpha_{2-1}$ , дирекционные углы линии связаны соотношением (см. рис. 3):

$$\alpha_{2-1} = \alpha_{1-2} + 180^\circ,$$

или

$$\alpha_{\text{обр}} = \alpha_{\text{прям}} \pm 180^\circ$$

Поскольку пределы измерения дирекционного угла от  $0^\circ$  до  $360^\circ$ , в этих формулах используется тот или иной знак.

### 2.4. Передача дирекционного угла на стороны геометрического построения – теодолитного хода

В практике геодезических работ на местности создают геометрические построения произвольной конфигурации, в которых измеряют углы и длины линий. Такое построение носит название теодолитного хода (по названию угломерного прибора – теодолита).

При вычислениях в системе прямоугольных координат дирекционные углы линий – сторон теодолитного хода не измеряют, а вычисляют по дирекционному углу исходной стороны и горизонтальным углам  $\beta$  между смежными сторонами хода (рис. 4).

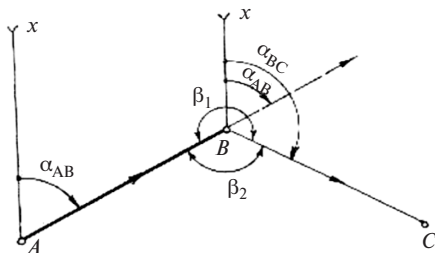


Рис. 4. Геометрическая связь дирекционных углов и горизонтального угла между ними

Передача дирекционного угла от исходной (предыдущей) стороны А–В на последующую сторону хода В–С производится по формулам

$$\alpha_{B-C} = \alpha_{A-B} + 180^\circ - \beta_{\text{прав}},$$

или

$$\alpha_{B-C} = \alpha_{A-B} - 180^\circ + \beta_{\text{лев}},$$

где  $\beta_{\text{прав}}$  (на рис. 4  $\beta_2$ ) и  $\beta_{\text{лев}}$  (на рис. 4  $\beta_1$ ) – соответственно правый и левый по ходу горизонтальные углы.

Формулы показывают связь дирекционных углов смежных линий и горизонтального угла между ними.

Пример: дирекционный угол исходной стороны  $\alpha_{A-B} = 345^\circ 20'$ , горизонтальный угол  $\beta_{\text{прав}} = 120^\circ 11'$  (см. рис. 4). Дирекционный угол следующей стороны  $\alpha_{B-C} = \alpha_{A-B} + 180^\circ - \beta_{\text{прав}} = 345^\circ 20' + 180^\circ - 120^\circ 11' = 45^\circ 09'$ .

Если результат вычисления больше  $360^\circ$ , то  $360^\circ$  необходимо исключить.

После разбора примера необходимо перейти к выполнению контрольной работы № 1. Вычисления выполняют в специальном бланке, в котором выписаны из полевого журнала измеренные горизонтальные углы (правые) между сторонами замкнутого теодолитного хода и дирекционный угол исходной стороны 1-2.

Схема хода и методические указания к выполнению работы изложены в руководстве «Контрольные и расчетно-графическая работы по дисциплине «Основы геодезии».

## 2.5. Отчет по работе являются:

1. Результаты выполненного задания с графической иллюстрацией.
2. Ответы на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Что означает выражение «ориентировать линию»?
2. Какие направления приняты в геодезии в качестве исходных при ориентировании линий?
3. Что называется истинным азимутом, и в каких пределах он измеряется?
4. Что называется дирекционным углом линии, и в каких пределах измеряется?
5. Как измерить дирекционный угол заданной на карте или плане линии (рис.)?

6. Как связаны между собой дирекционные углы прямого и обратного направлений линии?
7. По каким формулам вычисляют дирекционные углы сторон теодолитного хода? Приведите схему геометрической связи дирекционных углов и горизонтального угла между ними.

### 3. Изучение рельефа местности по топографической карте. Определение отметок точек по горизонталям.

#### Проведение горизонталей по цифровой модели рельефа

##### Задание

1. Изучить рельеф местности по топографической карте и плану.
2. Найти пять основных форм рельефа. Показать характерные точки и структурные линии рельефа.
3. Определить отметки точек на карте или плане.
4. Провести горизонталы по цифровой модели рельефа с высотой сечения рельефа 1 м.
5. Составить отчет о выполненной работе.

##### Методические указания к выполнению работы

#### 3.1. Изучение рельефа местности по топографической карте и плану

**Рельеф** – совокупность неровностей земной поверхности. Рельеф и гидрография составляют основное содержание топографической карты или плана с точки зрения инженера-железнодорожника, так как эти два элемента местности определяют стоимость строительства и содержания железнодорожного пути.

На топографических картах и планах рельеф изображается горизонталями, отметками точек и специальными условными знаками для показа крутых склонов. **Отметка** – это численное значение высоты над отсчетной уровенной поверхностью.

**Горизонталь** – это линия, соединяющая точки с одинаковыми отметками. Горизонталы образуются от пересечения местности уровенными поверхностями, проходящими через одинаковые расстояния по высоте.

Вертикальное расстояние между уровенными поверхностями, в которых лежат соседние горизонталы, называется высотой сечения рельефа  $h$  (рис. 5).

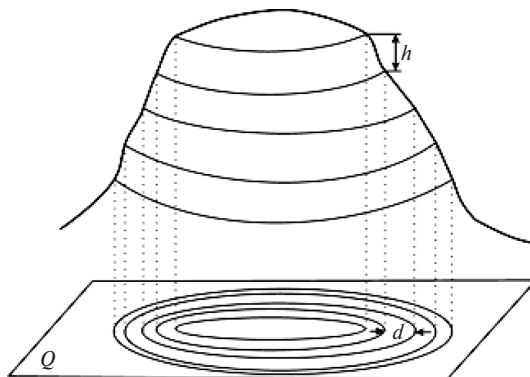


Рис. 5. Горизонталы:  
 $h$  – высота сечения рельефа;  $d$  – заложение

На топографических картах применяются стандартные высоты сечения рельефа: 2,5 м; 5 м; 10 м и т. д., а на топографических планах – 0,5 м; 1 м; 2 м; 5 м. В отдельных случаях для решения инженерных задач составляют планы с высотой сечения рельефа 0,1 м и 0,25 м.

Под южной стороной листа карты и плана приводятся сведения о системе высот и высоте сечения рельефа, например фраза: «Сплошные горизонталы проведены через 2,5 метра».

Различают горизонталы следующих видов:

1. *Основные* – проводят через превышения, равные высоте сечения рельефа, указанной на карте (толщина линии 0,15 мм).

2. *Основные утолщенные* – их применяют для облегчения счёта горизонталей и большей наглядности рисунка рельефа; утолщается каждая пятая горизонталь при высоте сечения рельефа 1; 2; 5; 10 м и каждая четвертая (или десятая) при высоте сечения рельефа 0,5 и 0,25 м (толщина линии 0,25 мм).

3. *Дополнительные (полгоризонталы)* – их проводят через половину высоты сечения рельефа. Их используют для показа характерных форм рельефа, не изображающихся основными горизонталями, а также для показа изменений в крутизне склонов (дополнительные горизонталы показывают пунктиром).

Для рисовки горизонталей используют коричневый цвет.

На картах и планах надписывают отметки точек местности и горизонталей (в их разрыве) в Балтийской системе высот, а также относительные высоты отдельных форм рельефа (глубины оврага, вы-

соты насыпей). Надписи горизонталей ориентируют основанием цифр вниз по скату.

Надписываться может любая горизонталь. Эти надписи вместе с отметками точек обеспечивают быстрое определение высоты любой точки на карте (плане).

*Направление ската* показывают *бергштрихами* (длиной 0,5 мм), которые ставятся перпендикулярно к горизонталям. Одна из главных задач при чтении карты это определение направления ската. Для ее решения нужно знать и уметь видеть на карте основные формы рельефа.

**Основные формы рельефа** (рис. 6):

- холм (гора);
- котловина (яма);
- хребет;
- лощина (ущелье);
- седловина (перевал).

**Характерные точки рельефа:**

- вершина холма;
- дно котловины;
- низкая точка седловины (точка А на рис. 6).

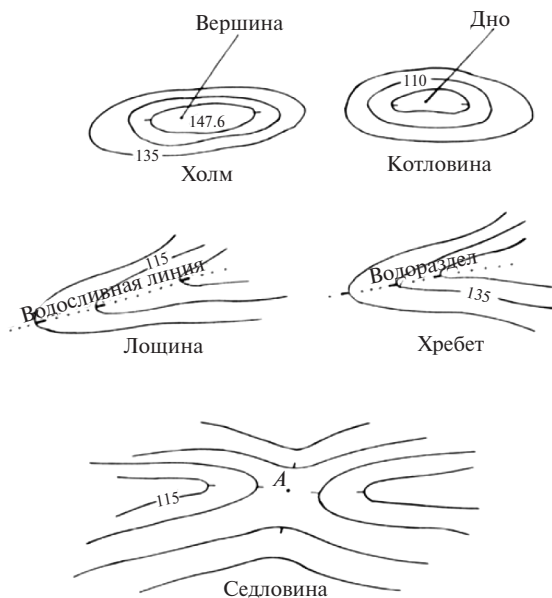


Рис. 6. Основные формы рельефа

### Характерные (структурные) линии рельефа:

- водораздел – линия пересечения склонов хребта;
- водослив (талweg) – линия пересечения склонов лощины (рис. 6).

Следует помнить, что линии водослива и водораздела проходят по местам наибольшего изгиба горизонталей и что на изображениях хребтов горизонтали имеют изгиб от вершины, а на изображениях лощин – к вершине. Студенты должны научиться свободно читать рельеф на карте, проводить водораздельные и водосливные линии, определять отметки любых горизонталей.

## 3.2. Определение отметок точек на карте или плане

Если точка расположена на горизонтали, то ее отметка равна отметке горизонтали (рис. 7):  $H_A = 100$  м. Если точка С находится между горизонталями, отметку ее определяют аналитически.

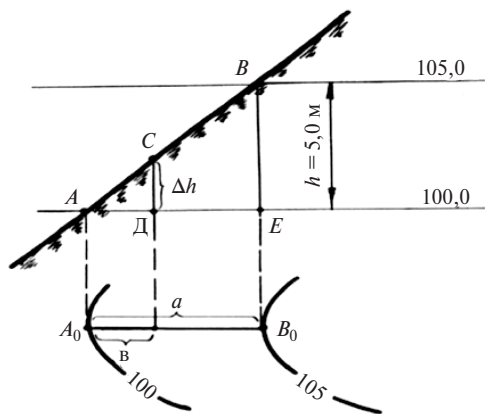


Рис. 7. К определению отметок точек по горизонталям

На рис. 7 точки местности А и В имеют отметки 100 и 105 м. На плане они лежат на соответствующих горизонталях. При этом горизонталь с отметкой 100 м считается младшей. Точка С лежит выше младшей горизонтали на величину превышения  $\Delta h$ . Отметка ее определяется из выражения

$$H_c = H_A + \Delta h.$$

Для определения  $\Delta h$  на плане проводят заложение  $A_0 - B_0$  по кратчайшему расстоянию (по нормали к младшей горизонтали) и измеряют с точностью до 1 мм расстояния  $a$  и  $b$ . Превышение определяют из выражения

$$\Delta h = \frac{b \cdot h}{a},$$

где  $a$  – заложение между последовательными горизонталями,  
 $b$  – расстояние от младшей горизонтали до искомой точки на плане,  
 $h$  – высота сечения рельефа.

*Пример:*  $a = 14$  мм,  $b = 4$  мм,  $h = 5$  м.

$$\Delta h = \frac{4 \times 5}{14} = 1,4 \text{ м}, \quad H_c = 100,0 + 1,4 = 101,4 \text{ м}.$$

Отметки таких характерных точек рельефа, как вершины холма, дна котловины, низкой точки седловины вычисляют исходя из следующих соображений. Если точка лежит внутри замкнутой горизонтали или между горизонталями с одинаковыми отметками, то ее отметка равна отметке этих горизонталей минус половины высоты сечения рельефа, если это точка дна котловины или точка седловины (точка А на рис. 6), и плюс эта же величина, если точка лежит на вершине холма.

### 3.3. Проведение горизонталей по цифровой модели рельефа

При съемочных геодезических работах определяют плановые координаты ( $X$ ,  $Y$ ) и высоты ( $H$ ) множества характерных точек местности, т. е. получают цифровую модель рельефа – ЦМР. Съемочные точки (съемочные пикеты) стараются расположить на структурных линиях и характерных точках рельефа и в местах изменения крутизны склонов (рис. 8), т. е. получить структурную ЦМР. Пример такой ЦМР – результат тахеометрической съемки.

При выполнении лабораторной работы студенты проводят горизонтали через  $1 \text{ метр}$  по структурной ЦМР. Работу начинают с определения формы рельефа местности, изображенного ЦМР, которая предлагается студентам. Между точками, имеющими отметки, определяют линии одного уклона (без перегиба), по которым выполняют интерполирование. Интерполирование – это нахождение положения промежуточных точек, через которые пройдут горизонтали с отметками, кратными высоте сечения рельефа.



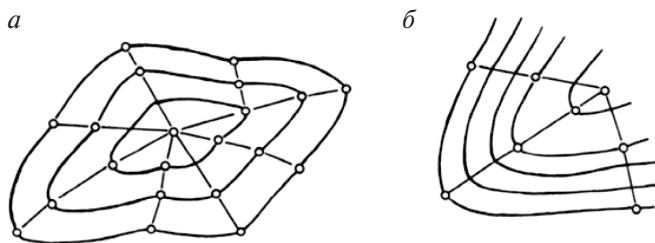


Рис. 8. Положение точек в структурной модели рельефа

Эти точки определяют способом графического интерполирования с помощью палетки. Палетка строится на прозрачном листе бумаги – кальке размером примерно  $8 \times 10$  см. На кальке проводят на одинаковом расстоянии ряд параллельных линий, через равные промежутки (обычно 5 или 10 мм). Линии на палетке – следы сечения рельефа горизонтальными плоскостями, им придают соответствующие отметки, кратные высоте сечения (рис. 9).

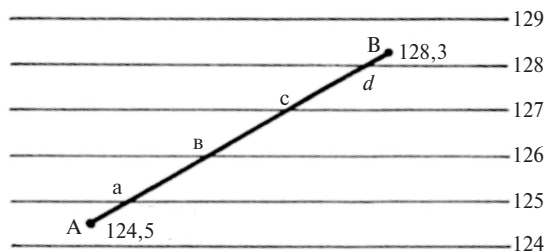


Рис. 9. Палетка для графического интерполирования

Необходимое количество линий на палетке можно определить по формуле

$$n = (H_{\max} - H_{\min}) : h_0 + 2,$$

где  $H_{\max}$ ,  $H_{\min}$  – наибольшая и наименьшая отметки на заданной ЦМР;  $h_0$  – заданная высота сечения рельефа.

*Пример:*  $H_{\max} = 129,6$  м,  $H_{\min} = 124,5$  м,  $h_0 = 1$  м.

$$n = (129,6 - 124,5) : 1 + 2 = 7.$$

Отметки линий палетки будут 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130 м.

Палетку накладывают на одну из точек, соединенных линией (например, точка *A* (рис. 9) так, чтобы она заняла между линиями положение, соответствующее ее отметке. Прижимают палетку в этой точке карандашом и поворачивают ее до тех пор, пока точка *B* не займет между линиями палетки положение, соответствующее своей отметке. Измерителем перекалывают на чертеж видимые на просвет точки *a*, *b*, *c*, *d* – пересечения линий палетки с линией *AB* и карандашом подписывают их отметки (только единицы метров). Они равны отметкам соответствующих линий палетки. Полученные точки определяют положение горизонталей. Закончив интерполирование по всем заданным линиям, соединяют точки с одинаковыми отметками плавными кривыми линиями и получают горизонталю.

Рисовку горизонталей удобно начинать от самой высокой или самой низкой точки. При оформлении работы в местах наибольшего изгиба горизонталей показывают Бергштрихи и утолщают горизонталю, кратные пяти высотам сечения рельефа (5 м). Некоторые горизонталю надписывают, для этого в разрывах горизонталей пишут их высоту, основание цифры обращают в сторону понижения местности.

### 3.4. Отчетом по работе являются:

1. Результат рисовки горизонталей по ЦМР.
2. Ответы на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

1. Что называется рельефом местности, горизонталью и высотой сечения рельефа?
2. Перечислите основные формы и характерные линии рельефа (рис.)?
3. Как называется указатель направления ската, и в каких местах горизонталей он обычно ставится?
4. Перечислите виды горизонталей и укажите их толщину, которую необходимо соблюдать при рисовке рельефа.
5. Как определить отметку заданной по карте точки, если она находится между горизонталями (рис.)?
6. Как выполняется интерполирование горизонталей с помощью палетки?
7. Приложите к отчету оформленный результат проведения горизонталей по ЦМР.

## 4. Решение инженерных задач по топографическим картам и планам

### Задание

1. Построить профиль местности по линии  $AT$  в заданных масштабах.
2. Определить крутизну ската по линии  $EF$ .
3. Определить уклоны по линиям  $AT$ ,  $EF$ ,  $OP$ .
4. Между точками  $O$  и  $P$  построить на карте линию так, чтобы уклон по ней не превышал  $0,025$ .
5. Составить отчет о выполненной работе.

### Методические указания к выполнению работы

#### 4.1. Построение профиля местности в заданных масштабах

**Профиль** — это уменьшенное изображение вертикального разреза местности по заданной линии. Профиль строят по отметкам точек и расстояниям между ними. Эти данные можно взять с топографических карт и планов. Профили строят на листах миллиметровой бумаги или в тетради.

Работу начинают с выбора масштаба профиля. Горизонтальный масштаб принимают равным масштабу карты. Вертикальный масштаб подбирают в 10–20 раз крупнее горизонтального и удобным для построения. Рекомендуется принять: одна клетка тетради (5 мм) соответствует высоте сечения рельефа. В таком случае для карты масштаба 1:10 000 при высоте сечения 2,5 м вертикальный масштаб будет 1:500. Соотношение масштабов получается 1:20.

В тетради строят сетку профиля по образцу (рис. 10). Необходимо запомнить стандартную ширину граф сетки: 5 мм для «Номера точек», 10 мм для «Горизонтальные расстояния» и 15 мм для «Отметки». Такие графы обязательно присутствуют на профилях, составляемых при любом виде строительной деятельности.

В графу «Горизонтальные расстояния» переносят с карты начальную и конечную точки заданной линии и точки пересечения этой линии с горизонталями и характерными точками рельефа. Перенос

точек с карты на профиль удобно выполнить с помощью полоски бумаги, накладываемой на карту вдоль заданной линии. Расстояния между точками определяют линейкой или при помощи циркуля-измерителя по шкале линейного масштаба и выписывают в графу «Горизонтальные расстояния».

В графу «Отметки» выписывают определенные по карте отметки, которые равны отметкам соответствующих горизонталей или получаются интерполированием.

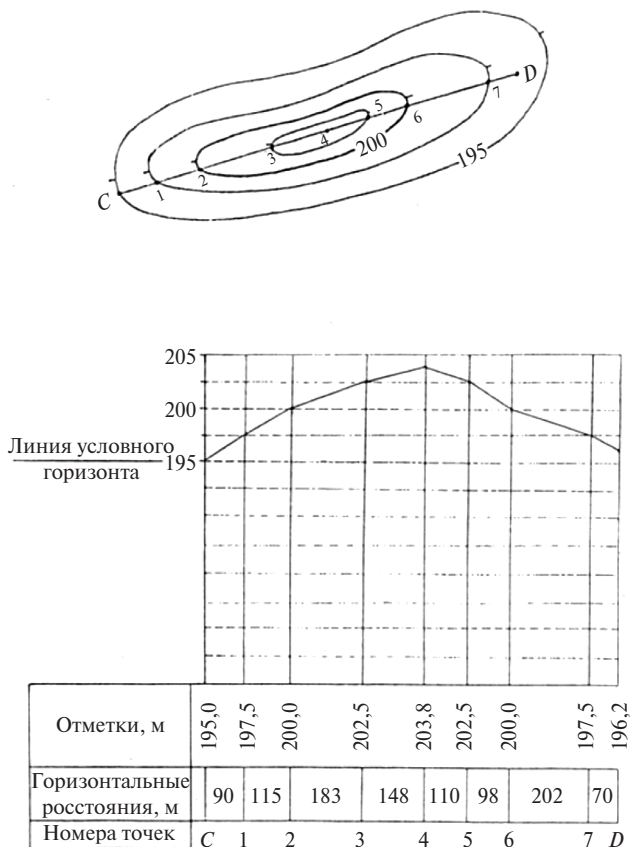


Рис. 10. Построение профиля по заданному на карте направлению:  
*a* – линия *CD* на карте; *b* – профиль по линии *CD*

Отступив от верхней линии сетки 2-3 см, назначают линию условного горизонта. Ей присваивают отметку, равную минимальной отметке точек профиля и округленной до ближайших меньших пяти или десяти метров. Тогда весь профиль разместится над линией условного горизонта.

Во всех перенесенных с карты точках восстанавливают перпендикуляры и на них откладывают в принятом вертикальном масштабе отметки точек. Концы полученных отрезков соединяют прямыми линиями и получают профиль местности. Так как вертикальный масштаб во много раз крупнее горизонтального, профиль получается более выразительным.

#### 4.2. Определение крутизны ската

**Скат** — линия местности не имеющая перегибов.

**Крутизна ската** — это угол наклона ската  $v$  к горизонтальной плоскости (рис. 11).

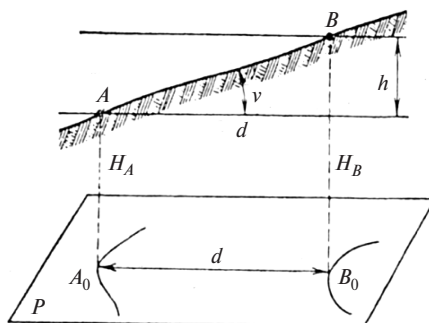


Рис. 11. Элементы ската:  $h$  — высота сечения рельефа,  $d$  — горизонтальное расстояние (заложение),  $v$  — угол наклона

Из треугольника:  $\operatorname{tg} v = \frac{h}{d}$ ;  $v = \operatorname{arctg} \frac{h}{d}$ .

Для графического определения крутизны ската на карте под южной стороной рамки приведен график заложений. На этом графике по горизонтальной оси отложены значения углов наклона в градусах, а по вертикальной оси в этих точках в масштабе карты отложены заложения, соответствующие указанным углам наклона. Полу-

ченные точки соединены плавной кривой. Заложения определяют по формуле

$$d = \frac{h}{M} \times \text{ctg } \nu,$$

где  $M$  — знаменатель масштаба карты.

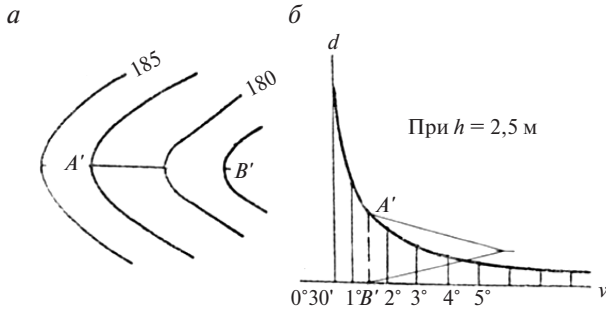


Рис. 12. К определению крутизны ската:  
а — фрагмент рельефа карты; б — график заложений

Для определения крутизны ската АВ (см. рис. 11) в раствор циркуля-измерителя берут заложение  $d$  — линию  $A'B'$  на карте (рис. 12, а). Установив одну иглу измерителя на горизонтальную линию графика, перемещают измеритель до тех пор, пока вторая игла не коснется кривой. Интерполируя на глаз, определяют соответствующую данному заложению крутизну ската с точностью до  $0,1^\circ$ . На рис. 12, б крутизна ската  $\nu = 1,5^\circ$ .

### 4.3. Определение уклона линии

В инженерной практике при проектировании, строительстве и эксплуатации линейных сооружений (железных дорог) крутизну ската чаще всего характеризуют тангенсом угла наклона — **уклоном**  $i$ :

$$i = \text{tg } \nu = \frac{h}{d};$$

где  $i$  — уклон;  
 $h = H_2 - H_1$  — разность отметок конечных точек линии;  
 $d$  — горизонтальное проложение.

Таким образом, уклон есть превышение на единицу длины. Если концы линии лежат на смежных горизонталях карты, то превышение равно высоте сечения, а горизонтальное проложение равно заложению.

Уклон выражается в тысячных долях единицы – промилле (‰).

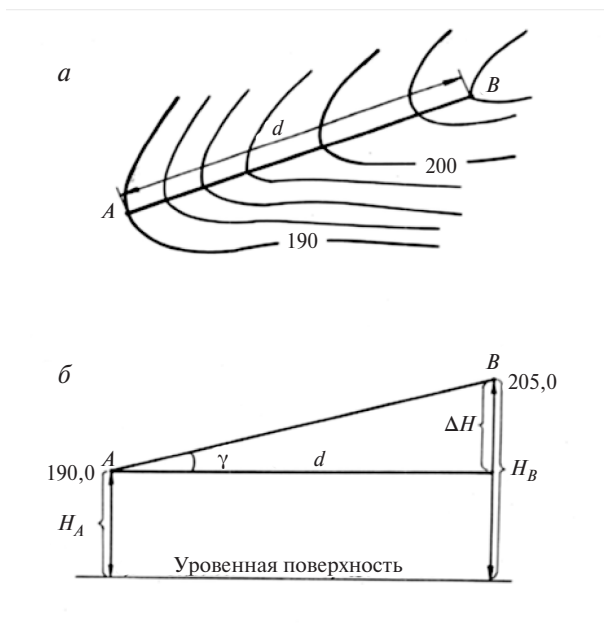


Рис. 13. К определению уклона линии:  
 а – линия  $AB$  на карте; б – профиль линии  $AB$

*Пример:* определить уклон линии  $AB$  (рис. 13)

$$d = 550 \text{ м}, \quad H_A = 190 \text{ м}, \quad H_B = 205 \text{ м}.$$

$$h = H_B - H_A = 205 - 190 = 15 \text{ м};$$

$$i = \frac{h}{d} = \frac{15}{550} = 0,027 = 27 \text{ ‰}.$$

#### 4.4. Построение на карте линии с заданным уклоном (камеральное трассирование)

При проектировании линейных сооружений (железных и автомобильных дорог) возникает необходимость предварительно на топографических картах или планах наметить варианты прохождения оси будущего сооружения, по которой уклон линии не превышал бы заданного предельного значения, определенного нормативными документами.

Для построения на карте или плане линии с предельным уклоном нужно вычислить минимальное заложение, соответствующее заданному максимальному уклону по формуле

$$d_0 = \frac{h_0}{i_0 \times M},$$

где  $h_0$  – высота сечения рельефа,  
 $M$  – знаменатель масштаба карты,  
 $i_0$  – заданный предельный уклон.

Пример: из точки А в точку В провести линию так, чтобы уклон ее не превышал  $i_0 = 25\% = 0,025$ . Масштаб карты  $1: 10\,000$   $M = 10000$ , высота сечения рельефа  $h_0 = 2,5$  м. Искомое минимальное заложение

$$d_0 = \frac{2,5}{0,025 \times 10000} = 0,010 = 10 \text{ мм.}$$

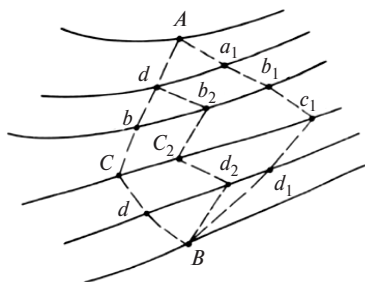


Рис. 14. Построение на карте линии заданного уклона

Взяв в раствор циркуля-измерителя вычисленное заложение  $d_0$  (10 мм), от начальной точки А (рис. 14) засекают на смежной гори-



горизонталью точку  $a$ , из точки  $a$  тем же раствором засекают точку  $b$  и далее до точки  $B$ . При этом расстояние между последовательными горизонталями не может быть меньше рассчитанного, так как в этом случае между точками будет уклон, превышающий заданный. Если расстояние между горизонталями больше вычисленного заложения, то проводят линию прямо до точки  $B$ , так как уклон на этом участке будет меньше предельного. Соединив точки прямыми, получают искомую линию.

Можно наметить несколько вариантов трассы ( $A, a_1, b_1, c_1, d_1$  и т. д.). Из них выбирают наиболее приемлемый вариант. Оптимальным будет вариант наименьшей длины с минимальным количеством углов поворота.

При выполнении работы намечают не менее двух вариантов. Работу выполняют на кальке, на которую карандашом переносят рельеф в горизонталях и исходные точки.

#### 4.5. Отчетом по работе являются:

1. Построенный профиль местности по линии АТ в заданных масштабах (см. приложение 1).
2. Ответы на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

1. Что называется профилем, и по каким данным он строится?
2. Каким принимают соотношение между горизонтальным и вертикальным масштабами на профиле?
3. Как выбирают на профиле линию условного горизонта?
4. Для чего и как строится график заложений?
5. Что называется уклоном линии? В чем выражается уклон?
6. Как провести на карте (плане) линию с заданным уклоном?

## 5. Определение границ водосборной площади для заданной на карте точки. Измерение площади бассейна с помощью полярного планиметра

### Задание

1. Построить на карте границы водосборной площади для заданной точки  $Q$ .
2. Перечислить формы рельефа и инженерные сооружения вдоль показанной на карте линии.
3. Изучить устройство планиметра и правила работы с ним.
4. Определить цену деления планиметра.
5. Измерить площадь участка, изображенного на карте или плане.
6. Составить отчет о выполненной работе.

### Методические указания к выполнению работы

#### 5.1. Определение границ водосборной площади для заданной на карте точки

Эта задача встречается при расчете водопропускных сооружений на трассе железной дороги, в частности, при расчете стока воды, где одним из параметров является водосборная площадь.

Водосборной площадью, или бассейном водотока, называется часть земной поверхности, с которой вода от атмосферных осадков по условиям рельефа стекает к данной точке. Границами водосборной площади являются водораздельные линии ( $afk$  и  $cde$  на рис. 15) и гребни седловин ( $abc$ ).

Границы водосборной площади намечают на кальке, накладываемой на карту. Начинать проводить ее следует от заданной точки  $Q$  в обе стороны по линии наибольшего ската (т. е. по перпендикулярам к горизонталям) до ближайших водоразделов, а затем по водоразделам до гребня седловины. Границами водосборной площади будет линия  $QfabcdQ$ .

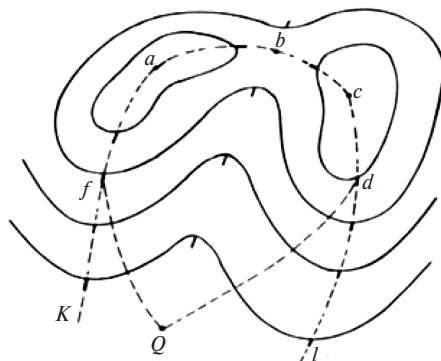


Рис. 15. Определение границ водосборной площади

При расчете водопропускных сооружений в качестве нижней границы водосборной площади принимают земляное полотно, т. е. линию самой дороги.

## 5.2. Формы рельефа и инженерные сооружения вдоль заданной линии

Рассмотрим участок улучшенной грунтовой дороги от совхоза Беличи до восточной границы фрагмента карты в приложении 1.

Начало дороги находится на холме, вершина которого прорезается выемкой глубиной 2 м. Затем дорога спускается по хребту в долину реки Голубая, пересекая ее насыпью высотой 1 м. Водопропускное сооружение – мост длиной 20 м, шириной 5 м, грузоподъемностью 10 т. После долины реки дорога пересекает небольшой хребет, за ним насыпью высотой 1 м пересекает небольшую ложину (лог). По водосливу этой ложины уложено водопропускное сооружение – труба. Далее дорога поднимается на холм, пересекая его выемкой глубиной 2 м.

## 5.3. Устройство полярного планиметра и правила работы с ним

Полярный планиметр – прибор для механического измерения площадей плоских фигур произвольной формы, изображенных на картах и планах, путем обвода его контуров.

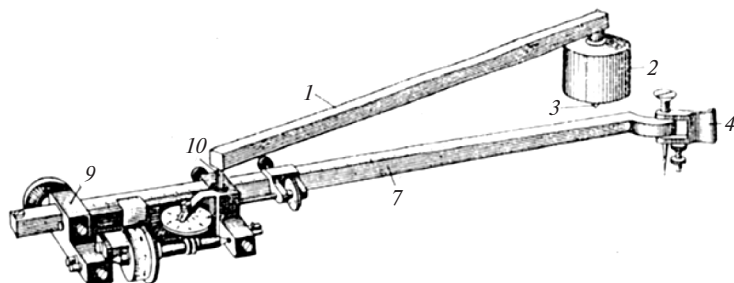


Рис. 16. Полярный планиметр

Планиметр (рис. 16) состоит из двух рычагов: полюсного 1 и обводного 7. На полюсном рычаге имеется груз 2 с иглой 3, при помощи которой рычаг закрепляется на карте в точке — полюсе. На обводном рычаге находится передвижная каретка 9 со счетным механизмом. Заканчивается обводной рычаг маркой для обвода контура и ручкой 4. При работе штифт 10 полюсного рычага вставляется в отверстие на каретке обводного рычага.

Счетный механизм планиметра состоит из счетного колеса 5, циферблата 6 и верньера 8. Отсчет по счетному механизму (рис. 17) состоит из четырех цифр. Первую цифру берут по указателю 11 с циферблата. Это цифра, которую прошел указатель (4).

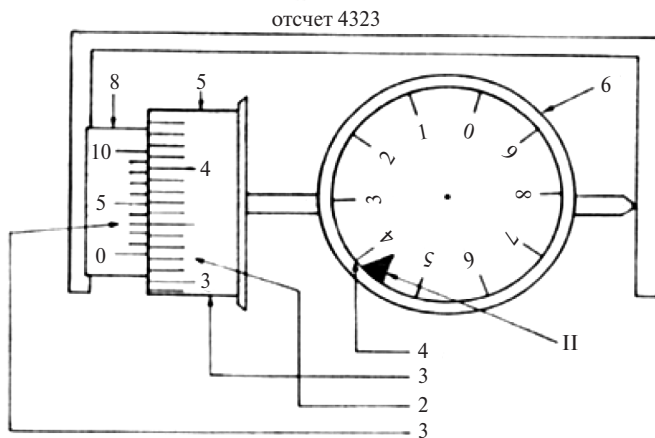


Рис. 17. Отсчетный механизм полярного планиметра

Вторая цифра – это номер деления, подписанного на счетном колесе, которое прошел нулевой штрих верньера (3). Третья цифра отсчета – номер малого деления на счетном колесе, которое прошел нуль верньера (2). Четвертую цифру отсчитывают по верньеру – это номер штриха верньера (всего штрихов десять), совпадающего с каким-нибудь штрихом счетного колеса (3). Полный отсчет выражается четырехзначным числом (на рис. 17 он равен 4323). При обводе фигуры счетное колесо катится по бумаге. Площадь будет выражена в оборотах счетного колеса. Единица четвертой цифры отсчета соответствует 0,001 оборота счетного колеса. Одному обороту циферблата соответствует 10 000 делений счетного колеса.

Чтобы при отсчете по циферблату не допустить просчета, нужно помнить следующее: если указатель на циферблате стоит вблизи, например цифры 4, то на счетном колесе против нуля верньера должны быть цифры 1, 2. Если на счетном колесе окажутся цифры 8, 9, то с циферблата следует записать в отсчет предыдущую цифру 3.

Чтобы при измерении получать надежные результаты, необходимо соблюдать следующие правила.

Карту следует расположить на гладком горизонтальном столе. Длину обводного рычага следует выбрать в зависимости от размеров обводимого контура: чем меньше контур, тем короче должен быть рычаг. В процессе работы углы между обводным и полюсным рычагами не должны быть менее 30° и более 150°. При обводе контура нужно следить за тем, чтобы обводная марка проходила по всем изгибам контура. В процессе работы полюс планиметра должен быть неподвижен.

## 5.4. Определение цены деления планиметра

Цену деления планиметра  $C$  определяют путем обвода фигуры, площадь которой  $S_u$  известна, например квадрата координатной сетки карты или плана. Так как цена деления планиметра зависит от длины обводного рычага, то перед работой необходимо винтом крепления зафиксировать положение счетного механизма на рычаге.

Работу выполняют в такой последовательности.

Устанавливают обводной индекс в центре обводимой фигуры. Поворачивают полюсной рычаг так, чтобы оба рычага составили приблизительно прямой угол. Нажимая на груз, закрепляют полюс.

Располагают обводной индекс над выбранной точкой начала обвода контура фигуры. Берут отсчет  $a_1$  по счетному механизму и записывают в журнал (табл. 1)

Журнал измерения площади участка земной поверхности  
по карте масштаба 1:10 000

Площадь Обводимого контура	Отсчеты по плани- метру $a_i$	Разность отсчетов $n_i = a_{i+1} - a_i$	Среднее чис- ло делений $n$ в обводимой фигуре	Вычисления
1. Определение цены деления планиметра				
Квадрат $10 \times 10$ см на листе карты. $S_n =$ $1 \text{ км}^2 = 100 \text{ га}$	6752			
	7741	989	992	$C = Su/n =$ $100\text{га}/992 =$ $= 0,1008 \text{ га}$
	8735	994		
2. Измерение площади участка земной поверхности				
Водосборная площадь	7563	246	244	$S = C \times n =$ $= 0,1008 \text{ га} \times 244$ $= 24,6 \text{ га}$
	7809	242		
	8051			

Плавно обводят контур по часовой стрелке и возвратившись в точку начала обвода, берут отсчет  $a_2$ . Еще раз обводят контур в том же направлении и берут отсчет  $a_3$ .

Вычисляют разности отсчетов  $n_1 = a_2 - a_1$  и  $n_2 = a_3 - a_2$ . Разность отсчетов из двух обводов не должна превышать пяти делений планиметра. Среднее значение разности отсчетов  $n$  будет соответствовать площади обводимой фигуры в делениях планиметра.

Цену деления планиметра вычисляют по формуле

$$C = Su/n,$$

где  $Su$  – известная площадь (в  $\text{м}^2$ ,  $\text{км}^2$ , гектарах);

$n$  – число делений планиметра, содержащееся в обводимой фигуре.

Результаты измерений и вычислений оформляют в журнале (табл. 1).

### 5.5. Измерение планиметром площади участка по карте

Порядок измерения площади участка по карте тот же, что и при определении цены деления планиметра.

Площадь вычисляют по формуле

$$S = C \times n,$$

где  $C$  – цена деления планиметра в единицах площади;

$n$  – число делений планиметра, содержащееся в определенной площади.

Результаты измерений и вычислений заносят в тот же журнал, где определялась цена деления планиметра.

Точность измерений планиметром зависит от состояния прибора, состояния листа карты или плана, размера обводимой фигуры и в общем случае не превышает 0,5 %.

## 5.6. Отчетом по работе являются:

1. Журнал измерений и вычисление.
2. Ответы на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Что понимают под водосборной площадью?
2. Какие линии составляют границы водосборной площади?
3. Какие правила следует соблюдать при работе с планиметром?
4. Как определить цену деления планиметра?
5. Какова последовательность работы при измерении площади участков на картах, планах?

## 6. Оценка точности геодезических измерений и функций измеренных величин

### Задание

1. Закрепить знания по теории погрешностей измерений.
2. Решить предлагаемые задачи.
3. Составить отчет о работе, в котором привести ответы на контрольные вопросы.

#### 6.1. Краткие сведения из теории погрешностей

Измерением называется процесс сравнения измеряемой величины с единицей меры. В геодезии измеряют три величины: углы, линии, время. Системные единицы для измерения: углов – радиан, линий – метр, времени – секунда. Внесистемные единицы для измерения углов: градус – минута – секунда, град (или гон) – миллигон;  $1 \text{ миллигон} = 3,24''$ .

Все геодезические измерения подвергаются математической обработке, цель которой – контроль правильности выполненных измерений, нахождение вероятных значений измеренных величин и их функций, оценка точности измерений и их функций.

Измерения различают прямые и косвенные. Прямые измерения – это непосредственное сравнение измеряемой величины с единицей меры. Так измеряют линию рулеткой, угол теодолитом. Косвенно измеренной называют величину, вычисляемую по результатам прямых измерений других величин. Так измеряют линии любым дальномером. Прямые измерения различают равноточные и неравноточные. В данной работе рассматриваются только равноточные измерения.

**Погрешность измерения** – это отклонение результата измерения от истинного, действительного значения измеряемой величины.

Различают погрешности грубые, систематические и случайные.

**Грубые погрешности** – это брак в работе. Они значительно превышают допуски. Устраняются такие погрешности заменой неисправных приборов, повторными измерениями.

**Систематические** – это односторонние погрешности, проявляющиеся в результатах измерений постоянной величиной и (или) зна-



ком. В сумме измерений такие погрешности быстро накапливаются. Устраняют их влияние тремя способами:

1. Юстировкой (исправлением) приборов. Например, юстировка уровня теодолита для получения горизонтальной проекции измеряемого угла.

2. Использованием правильной методики измерений. Например, измерение горизонтальных и вертикальных углов при двух положениях вертикального круга для устранения влияния коллимационной погрешности и места нуля; нивелирование из середины для устранения влияния негоризонтальности визирного луча.

3. Введением поправок в результаты измерений. Например, определение места нуля вертикального круга теодолита и вычисление угла наклона по формуле  $v = \text{Л-МО}$ .

После устранения грубых и систематических погрешностей в результатах измерений остаются **случайные погрешности**.

Измерений всегда выполняют больше чем это нужно для однозначного определения искомой величины. Такие измерения называются избыточными.

Пусть дан ряд, содержащий  $n$  равнозначных измерений одной и той же величины. Отклонение  $\Delta_i$  ( $i=1, \dots, n$ ) результата измерения  $l_i$  от истинного значения  $L$  измеряемой величины называется истинной погрешностью

$$\Delta_i = l_i - L. \quad (1)$$

Например, измеренная сумма углов треугольника  $l = 179^\circ 58'$ , истинное значение этой суммы  $L = 180^\circ$ , тогда истинная погрешность измерений (невязка)

$\Delta = -2'$ . Обычно истинное значение измеряемой величины неизвестно. Тогда вместо него используют среднее арифметическое из результатов многократных измерений,

$$\bar{l} = \frac{\sum l}{n}, \quad (2)$$

а вместо истинных погрешностей  $\Delta_i$  вычисляют отклонения  $v_i$  от среднего арифметического

$$v_i = l_i - \bar{l}. \quad (3)$$

Для оценки точности измерений используют два показателя: среднюю квадратическую и предельную погрешности.

Среднюю квадратическую погрешность  $m$  отдельного измерения из ряда, содержащего  $n$  измерений одной и той же величины, вычисляют по формулам

$$\text{Гаусса} \quad m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}}, \quad (4)$$

или

$$\text{Бесселя} \quad m = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n-1}}. \quad (5)$$

Формулой Гаусса пользуются тогда, когда известно истинное значение измеряемой величины. Формулу Бесселя используют тогда, когда истинное значение неизвестно. Среднюю квадратическую погрешность  $M$  среднего арифметического определяют по формуле

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Предельную допустимую для данных условий измерений погрешность  $\Delta_{\text{пред}}$  вычисляют по формуле

$$\Delta_{\text{пред}} = t \times m, \quad (7)$$

где коэффициент  $t$  принимают равным 2; 2,5 или 3 в зависимости от назначения выполняемых работ. В СНиПах и Наставлениях величина  $\Delta_{\text{пред}}$  называется допуском.

Погрешности  $\Delta$ ,  $m$  называются абсолютными, они выражаются в тех же единицах, что и измеряемая величина. Отношение  $m/l$  абсолютной погрешности к самой измеряемой величине называется относительной погрешностью. Относительная погрешность – безразмерная величина. Она выражается дробью с числителем, равным 1, или в процентах. Точность измерения углов характеризуется абсолютными погрешностями ( $m_{\beta} = 30''$ ). Точность измерения линий выражается как в абсолютной ( $m_s = 5$  см), так и в относительной мере (1/2000). Точность измерения площадей обычно выражают в процентах ( $m_p/P = 1/200 = 0,5\%$ ).

Среднюю квадратическую погрешность  $m_F$  функции  $F$  непосредственно измеренных величин  $x_1, x_2, \dots, x_n$  находят по формуле полного дифференциала

$$m_F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1} m_{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2} m_{x_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_n} m_{x_n}\right)^2}, \quad (8)$$

где  $\partial F/\partial x_i$  – частные производные функции,  $m_{x_i}$  – частные погрешности.

С помощью формулы (8) можно оценить точность косвенно определенных величин. При работе с формулой (8) поступают так:

1. Устанавливают вид функции  $F$ , т. е. записывают формулу, по которой вычисляется определяемая величина; например, сумма углов в треугольнике

$$F = \Sigma \beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3.$$

2. Находят частные производные: в нашем примере они все равны 1.

3. Находят значения частных погрешностей:  $m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = m_{\beta_3} = m_{\beta}$ .

4. Подставляют найденные значения в формулу (8):  $m_F = m_{\Sigma\beta} = m_{\beta} \sqrt{3}$ .

Составим ряд формул для оценки точности наиболее распространенных функций:

1) суммы или разности независимо измеренных величин

$$F = \pm a \pm b \pm \dots \pm n \Rightarrow m_F = \sqrt{m_a^2 + m_b^2 + \dots + m_n^2}. \quad (9)$$

Если эти величины измерены равноточно, то  $m_F = m\sqrt{n}$ , (10)

2) произведения константы  $k$  и измеряемой величины  $a$ :

$$F = k \times a \Rightarrow m_F = k \times m_a, \quad (11)$$

3) произведения  $F = a \times b$  или частного  $F = a/b$ :

$$\frac{m_F}{F} = \sqrt{\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_b}{b}\right)^2}, \quad (12)$$

$$\frac{m_F}{F} = F \sqrt{\left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_b}{b}\right)^2}. \quad (13)$$

Для определения предельной погрешности  $\Delta_{\text{пред}}$  функции  $F$  непосредственно измеренных величин используют формулу (7), т. е.

$$\Delta_{\text{пред}} = t \times m_F \quad (14)$$

Так как невязки есть функции результатов измерений, то предельные (допустимые) значения невязок доп  $f$  можно вычислить по формуле (14)

$$\text{доп } f = t \times m_f \quad (15)$$

Например, допустимая угловая невязка в треугольнике доп  $f_\beta = 2'$ , если

$$m_\beta = 30'' \text{ и } t = 2,5.$$

## 6.2. Примеры решения задач по оценке точности

1. Линия измерена стальной лентой пять раз. Найти вероятнейшее значение длины линии, абсолютную и относительную средние квадратические погрешности отдельного измерения, среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического. Результаты измерений  $l_i$  приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ измерений	$l_i$ , м	$v_i = l_i - \bar{l}$ , см	$v^2$
1	292,81	+21	441
2	292,55	-5	25
3	292,60	0	0
4	292,53	-7	49
5	292,51	-9	81
$\Sigma$		0	596
$\bar{l}$	292,60		

*Решение:* если истинное значение величины неизвестно, то вероятнейшим значением этой величины будет среднее арифметическое из результатов измерений. По формуле (2) получим

$$\bar{l} = 292,60.$$

Абсолютная и относительные средние квадратические погрешности отдельного измерения

$$m = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}} = 12 \text{ см}, \quad \frac{m}{l} = \frac{1}{2400}.$$

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{12}{\sqrt{5}} = 5,4 \text{ см}.$$

*Примечание:* относительную погрешность представляют в виде дроби с единицей в числителе, а в знаменателе удерживают не более двух значащих цифр.

2. Найти среднюю квадратическую погрешность  $m_h$  измерения превышения  $h$  при геометрическом нивелировании, если средняя квадратическая погрешность  $m_0$  отсчета по рейке равна 2 мм.

*Решение.* Превышение  $h$  при геометрическом нивелировании вычисляется как разность отсчетов  $a$  и  $b$  по рейкам, т. е. превышение определяется как функция прямых измерений. Определим вид, функции, т. е. запишем формулу  $F = h = a - b$ .

Так как по условию  $m_a = m_b = m_0$ , то для оценки точности воспользуемся формулой (10)

$$m_h = m_0 \sqrt{2} = 3 \text{ мм}.$$

3. Найти относительную и абсолютную средние квадратические погрешности вычисления площади прямоугольника со сторонами  $a = 20$  м и  $b = 30$  м, если  $m_a = 2$  см,  $m_b = 3$  см.

*Решение:* площадь прямоугольника — функция длин его сторон, т. е.

$$F = P = a \times b = 600 \text{ м}^2.$$

Для оценки точности вычисления площади воспользуемся формулой (12)

$$\frac{m_P}{P} = \sqrt{\left(\frac{0,02}{20}\right)^2 + \left(\frac{0,03}{30}\right)^2} = \frac{1}{1000} \sqrt{2} = \frac{1}{700};$$

$$m_P = P \times \frac{m_P}{P} = \frac{600}{700} = 0,85 \text{ м}.$$

### 6.3. Задачи для самостоятельного решения

1. Горизонтальный угол измерен пятью приемами, и получены следующие значения:  $76^\circ 25,2'$ ,  $76^\circ 25,3'$ ,  $76^\circ 25,3'$ ,  $76^\circ 25,3'$ ,  $76^\circ 25,1'$ . Вычислить вероятнейшее значение измеренного угла, средние квадратические погрешности измерения угла одним приемом и результата, указать тип теодолита, которым можно измерить угол с такой точностью.

2. В треугольнике ABC измерены углы A и B со средней квадратической погрешностью  $m_a = m_b = 5''$ . Найти среднюю квадратическую погрешность  $t_c$  вычисления угла C.

3. Составить формулу для вычисления допустимой угловой невязки доп  $f_\beta$  в замкнутом теодолитном ходе, если измерения будут выполняться теодолитом 2Т30. Принять  $t = 2$ .

4. Составить формулу для вычисления допустимой невязки доп  $f_h$  в ходе технического нивелирования, приняв  $t = 2$ , а среднюю квадратическую погрешность определения превышения на станции  $m_h = 5$  мм.

5. Найти относительную и абсолютную погрешности вычисления площади треугольника, если его основание  $a = 100$  м и высота  $h = 40$  м измерены с одинаковыми относительными средними квадратическими погрешностями  $1/2000$ .

#### Контрольные вопросы

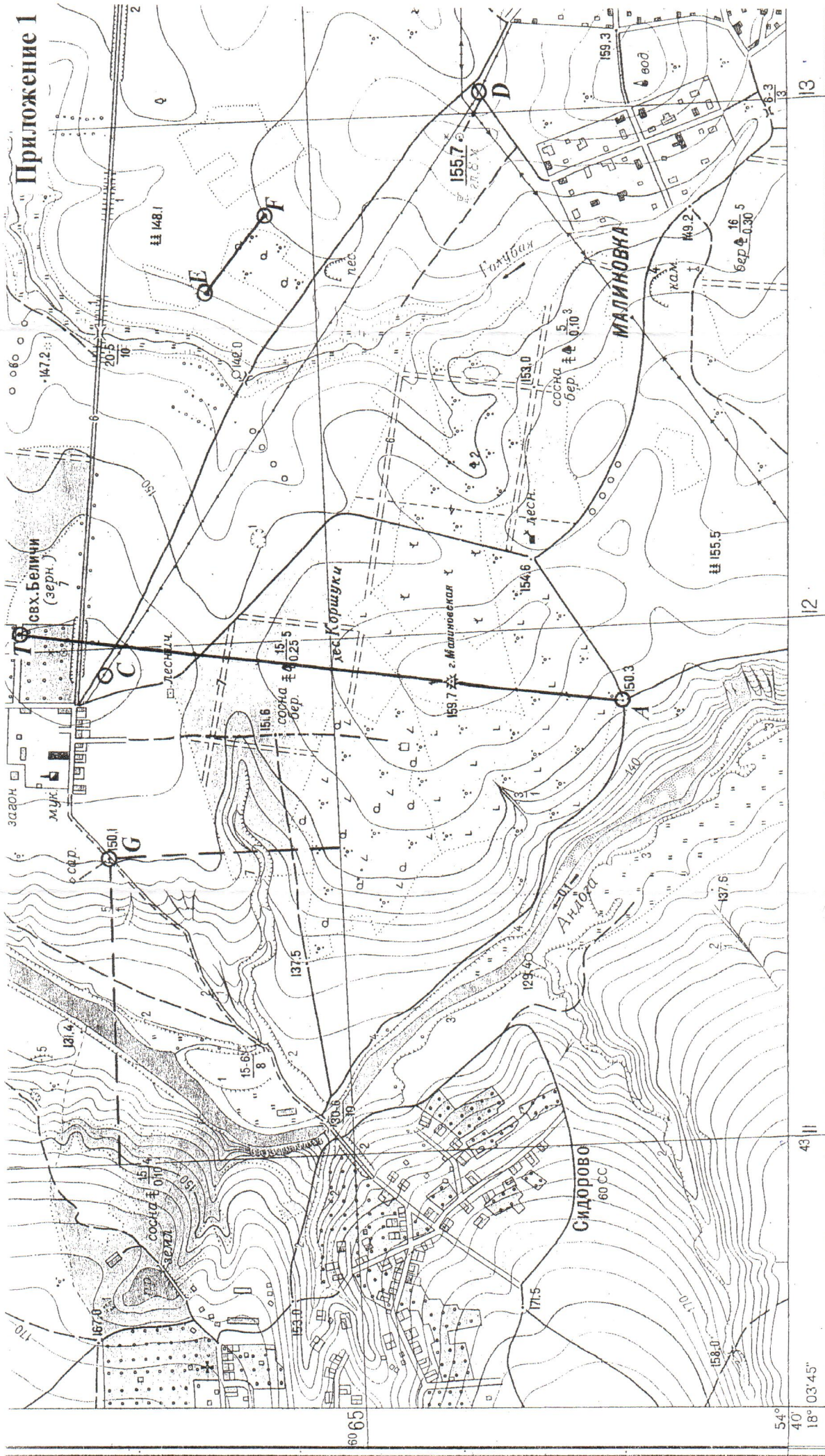
1. Какие единицы измерения углов Вам известны?
2. Приведите примеры прямых и косвенных измерений.
3. Какие Вы знаете виды погрешностей измерений?
4. Какими способами устраняются из результатов измерений систематические погрешности?
5. Какие два показателя используют для оценки качества измерений? Как обычно называется предельное допустимое значение погрешности?
6. Как выражается относительная погрешность?
7. Когда для оценки точности используется формула Гаусса, а когда формула Бесселя?

## Библиографический список

1. Инженерная геодезия : учеб. для студентов вузов / под ред. Д. Ш. Михелева. – М. : Академия, 2008. – 479 с.
2. Инженерная геодезия (с основами геоинформатики) : учеб. для студентов вузов ж.-д. трансп. / под ред. С. И. Матвеева. – М. : Учебно-методический центр по образованию на ж.- д. транспорте, 2007. – 548 с.
3. Визгин А. А. Практикум по инженерной геодезии : учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта / А. А. Визгин, В. А. Коугия, Л. С. Хренов. – М. : Недра, 1989. – 284 с.
4. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1: 500 : учеб. пособие. – М. : Недра, 1989. – 285 с.



# Приложение 1



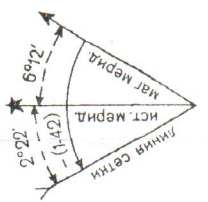
у-34-49-А-2

1:10 000

в 1 сантиметре 100 метров



Сплошные горизонтали проведены через 2,5 метра  
Балтийская система высот



Склонение на 1977 г. восточное  $6^{\circ}12' (1.03)$ . Среднее  
сближение меридианов западное  $2^{\circ}22' (0.39)$ . При при-  
ближении буссоли (компаса) к вертикальным линиям  
координатной сетки среднее отклонение магнитной стрел-  
ки восточное  $8^{\circ}34' (1.42)$ . Годовое изменение склонения  
восточное  $0^{\circ}02' (0.01)$ . Поправка в дирекционный угол  
при переходе к магнитному азимуту минус  $(1.42)$ .  
Примечание. В скобках показаны деления угломера  
(одно деление угломера = 3.5)

36 59

99

54° 40' 18" 03' 45"

43

12

13

3700



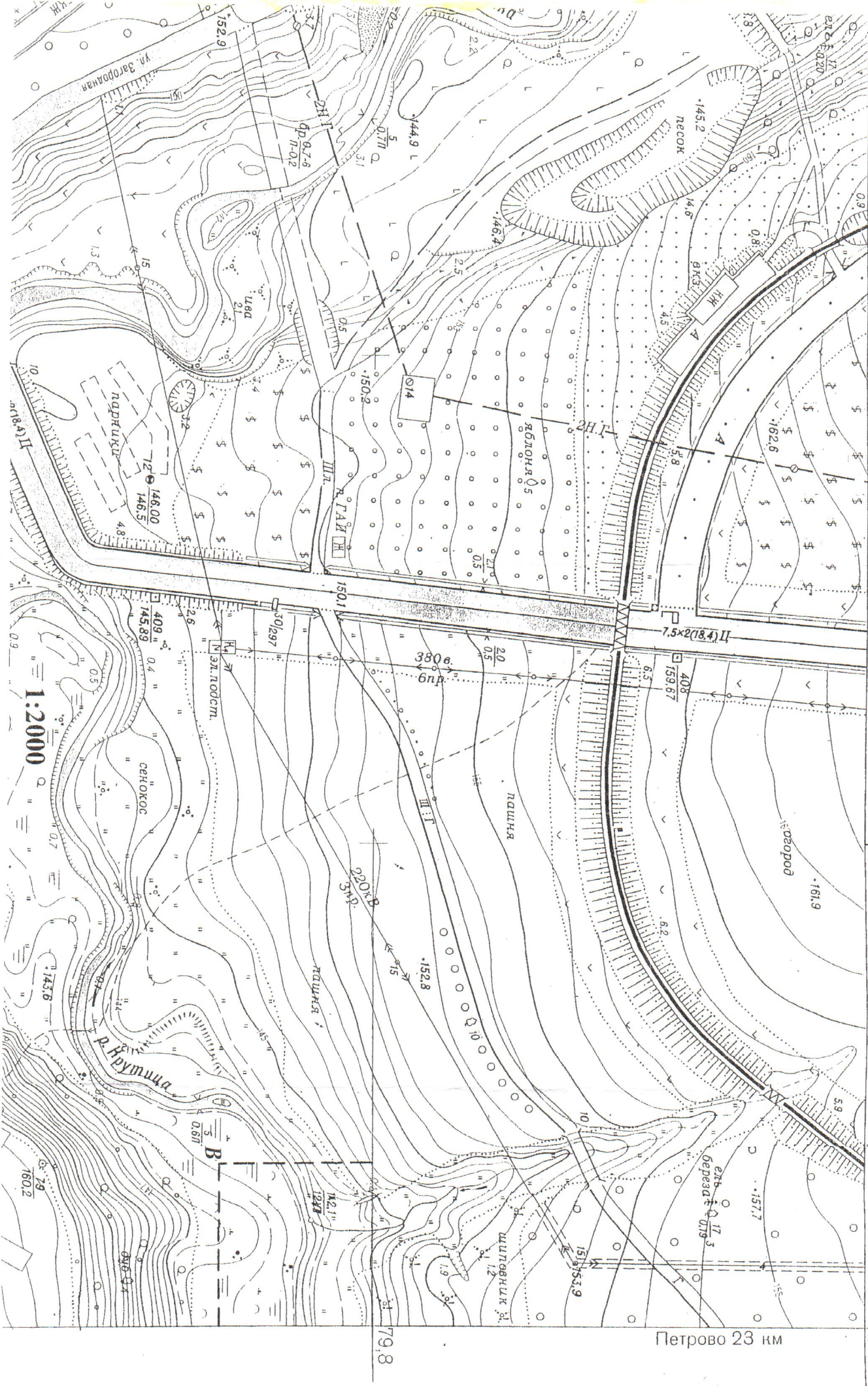
Лигово 15,5 км

Нрасное 43 км

Петрово 21 км

Петрово 23 км

80,0



1:2000

ул. Садовая

пашня

сенюкос

Р. Крутица

В

2Н.Т.

380в бпр.

250кв

шпелник

яблоня

пашня

Б

песок

2Н.Т.

7,5x2(18,4)Ц

огород

ель береза

145,2

162,6

408

161,9

157,7

152,9

144,9

146,4

150,2

150,1

145,89

143,6

152,8

160,2

151,5

153,9

179,8

152,9

144,9

146,4

150,2

150,1

145,89

143,6

152,8

160,2

151,5

153,9

179,8

152,9

144,9

146,4

150,2

150,1

145,89

143,6

152,8

160,2

151,5

153,9

179,8

152,9

144,9

146,4

150,2

150,1

145,89

143,6

152,8

160,2

151,5

153,9

179,8

*Учебное издание*

**Шишов** Алексей Михайлович

## ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ для студентов  
специальности 23.05.04 – «Эксплуатация железных дорог»  
всех форм обучения

Редактор *С. В. Пилюгина*  
Верстка *Н. А. Журавлевой*

Подписано в печать 20.12.2016. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 3,0. Тираж 40 экз. Заказ 45.

УрГУПС  
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66