

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА КАДАСТРА НЕДВИЖИМОСТИ,
ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И ГЕОДЕЗИИ

ГЕОДЕЗИЯ.

Раздел «План и карта»

Методические указания
к выполнению лабораторных и практических работ

по направлению 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»
всех форм обучения

Воронеж 2019

УДК 528
ББК 26.1

Составители: С.П. Гриднев, Ю.С. Нетребина

Геодезия. Раздел «План и карта»: метод. указания к выполнению лабораторных и практических работ по дисциплине «Геодезия» для студ. напр. 21.03.02 / ВГТУ; сост: С.П. Гриднев, Ю.С. Нетребина. – Воронеж, 2013. – 28 с.

Приводится последовательность выполнения лабораторных и практических работ по разделу «План и карта» курса «Геодезия»: цель работы, соответствующие теоретические положения, порядок проведения измерений по карте, способы обработки результатов и описание используемых методик.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлениям 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» всех форм обучения.

Ил. 9. Табл. 13. Библиогр.: 2 назв.

**УДК 528
ББК 26.1**

Введение

Цель работы: научиться читать топографическую карту (т.е. получать правильное представление о рельефе местности, гидрографии, населенных пунктах, путях сообщения, растительном покрове, естественных и сельскохозяйственных угодьях и т.п. по их изображению в условных знаках), решать по карте (плану) конкретные инженерно-геодезические задачи.

В соответствии с этим при выполнении задания студенту следует решить по карте (плану) следующие инженерно-геодезические задачи:

1. Определить горизонтальное проложение линий с помощью масштабов;
2. Определить геодезические и прямоугольные координаты точек;
3. Определить истинные и магнитные азимуты и дирекционные углы направлений;
4. Решить прямую и обратную геодезическую задачу на координаты;
5. Определить отметки точек по горизонталям;
6. Определить уклон и крутизну ската по горизонталям;
7. Запроектировать трассу с заданным уклоном;
8. Построить профиль местности по заданному направлению;
9. Определить границы водосборной площади.

Выполнение работы предусматривает обязательное изучение соответствующих разделов учебной литературы: [1, гл. 1.8 – 1.17; 2, §§ 8-20, 22-27].

Начиная работу с картой, студент должен ознакомиться с зарамочным оформлением, номенклатурой, масштабом карты, оцифровкой градусной и километровой сеток, схемой, поясняющей взаимное расположение истинного, магнитного и осевого меридианов и другими сведениями о карте.

В процессе выполнения студентами работ все результаты измерений, графических построений и расчетов должны быть аккуратно оформлены. Студенты направления 120700 «Землеустройство и кадастры» оформляют работы, в тетради в виде лабораторных работ, студенты направления 271101 «Строительство уникальных зданий и сооружений» оформляют работы в виде практических работ на листах А4.

Работа №1.

Определение горизонтальных расстояний с помощью масштабов

Цель: познакомиться с видами основных масштабов и решить с их помощью практические задачи с оценкой точности линейных построений и определений.

Принадлежности: карта масштаба 1:10 000, циркуль-измеритель, масштабная линейка.

Исходные данные: на учебной карте масштаба 1:10 000 (рис. 1) заданы четыре точки (1, 2, 3, 4).

Теоретические сведения

На картах и планах участки местности изображаются в уменьшенном виде. Степень уменьшения, выражаемая отношением длины отрезка на плане или карте ($d_{пл.}$) к горизонтальной проекции соответствующей линии на местности ($d_{мест.}$), называется **масштабом**, т.е. $\frac{d_{пл.}}{d_{мест.}}$ – масштаб.

Масштабы бывают численные и графические. **Численный масштаб** – аликвотная дробь, числитель которой единица, а знаменатель – число, показывающее, во сколько раз горизонтальные проекции линии местности уменьшены на плане или карте:

$$\frac{d_{пл.}}{d_{мест.}} = \frac{1}{d_{мест.} : d_{пл.}} = \frac{1}{M}, \quad (1)$$

где M – знаменатель численного масштаба.

В геодезической и землеустроительной практике наиболее часто применяются следующие масштабы: 1:500, 1:1 000, 1:2 000, 1:5 000 – для планов и 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000 и мельче – для топографических карт.

На планах и картах под значением численного масштаба указывают **именованный (пояснительный) масштаб** в виде «в 1 сантиметре 20 метров» (для масштаба 1:2 000).

С помощью масштабов решают две основные задачи:

1. Определение горизонтальной проекции линии местности по длине отрезка на плане масштаба $1:M$ по формуле

$$d_{мест.} = d_{пл.} \times M.$$

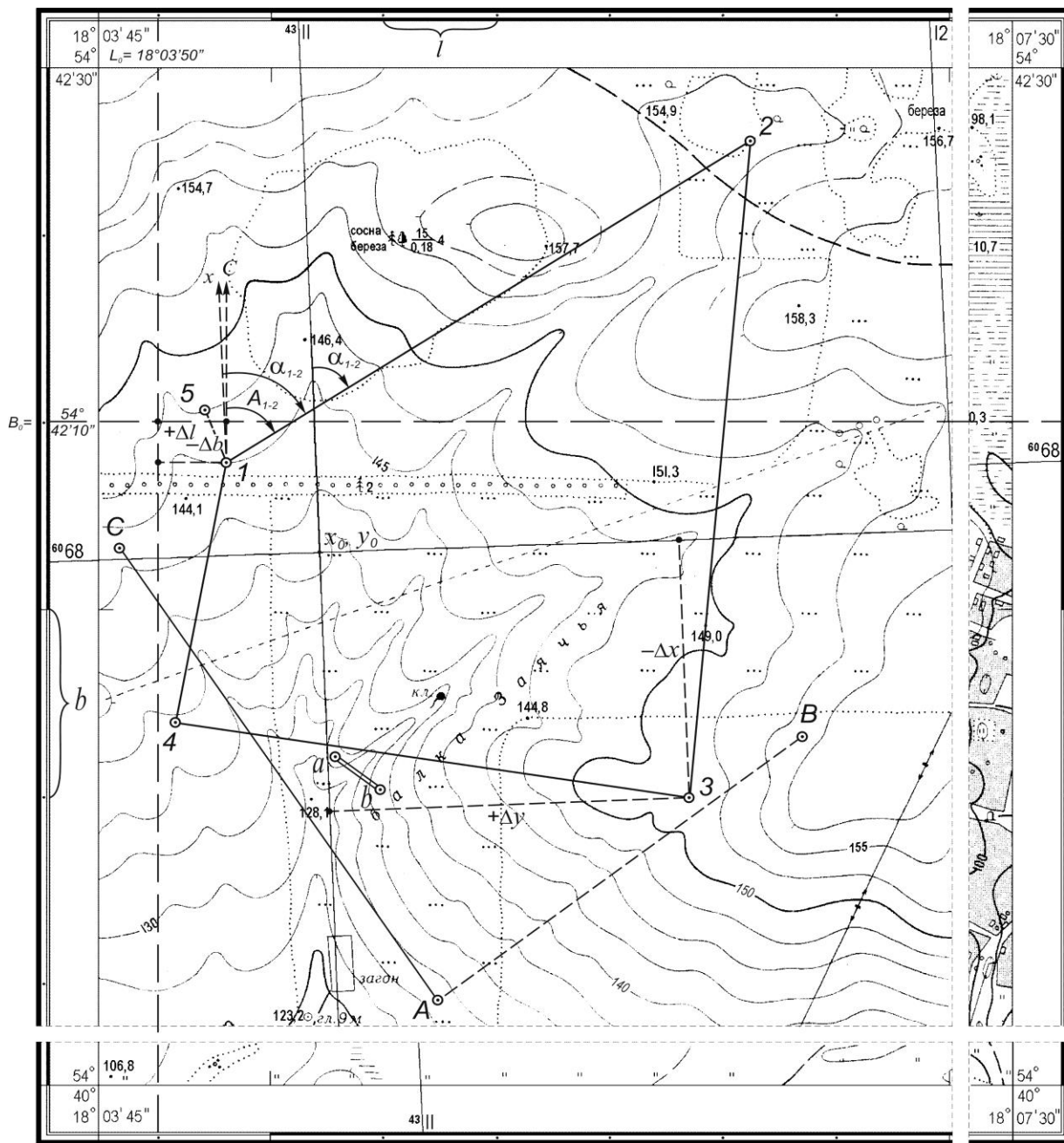
2. Определение длины отрезка на плане масштаба $1:M$, соответствующего горизонтальной проекции измеренной линии местности, по формуле

$$d_{пл.} = \frac{d_{мест.}}{M}.$$

При решении этих задач используют специальные графические построения: линейный и поперечный (трансверсальный) масштабы. Обычно как линейный, так и поперечный масштабы имеют основание $a = 2$ см.

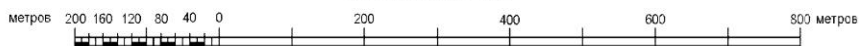
У-35-38-А-В-3

УЧЕБНАЯ КАРТА



1:10 000

в 1 сантиметре 100 метров



Сплошные горизонталы проведены через 2,5 метра

Балтийская система высот

Склонение на 1989г. восточное $6^\circ 12'$. Среднее сближение меридианов западное $2^\circ 22'$. При прикладывании буссоли (компаса) к вертикальным линиям координатной сетки среднее отклонение магнитной стрелки восточное $8^\circ 34'$. Годовое изменение склонения восточное $0^\circ 02'$. Поправка в дирекционный угол при переходе к магнитному азимуту минус $8^\circ 34'$.

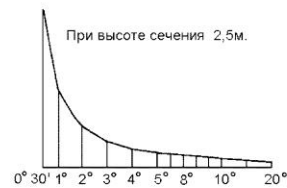
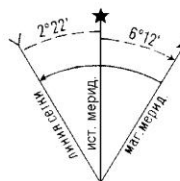


Рис. 1. Учебная карта масштаба 1:10 000

Линейный масштаб – графическое изображение численного масштаба в виде прямой линии с делениями для отсчета расстояний (рис. 2 а).

Крайний левый отрезок делят на 10 равных частей и на правом его конце ставят 0, а на левом – число метров, которое на плане соответствует основанию в заданном масштабе. Вправо от 0-го деления подписывают значения соответствующих расстояний. В правом конце линейного масштаба ставят размерность. При работе с этим масштабом десятые доли малого деления оценивают на глаз.

Расстояние на приведенном линейном масштабе равно 184,8 м

Поперечный масштаб является разновидностью линейного масштаба и отличается от предыдущего более высокой точностью определения расстояния за счет применения трансверселей («косых линий»), (рис. 2, б).

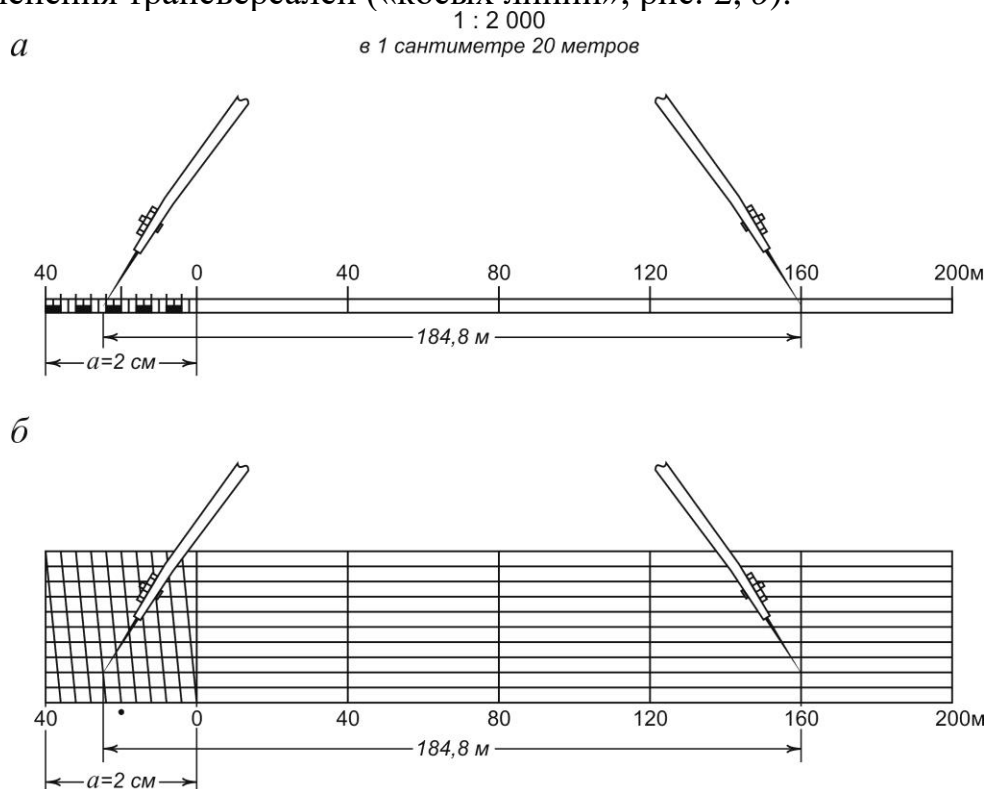


Рис. 2. Масштабы: а) линейный; б) поперечный

На горизонтальной прямой несколько раз откладывают основание масштаба, равное 2 см. Из концов отложенных отрезков восставляют к прямой перпендикуляры равной длины (обычно по 2,5 см). Крайние из них делят на 10 равных частей и соответствующие точки соединяют прямыми линиями. Затем крайнее левое основание и противолежащий ему верхний отрезок делят на 10 частей и точки деления соединяют наклонными линиями (трансверселями).

Такой поперечный масштаб называют *нормальным сотенным масштабом*, так как наименьшее деление масштаба (наименьший отрезок между перпендикуляром и трансверсалью) составляет 0,01 основания масштаба, т.е. 0,2 мм. Оцифровку делений поперечного масштаба выполняют по аналогии с линейным.

При работе с поперечным масштабом нужно следить, чтобы иголки обеих ножек циркуля-измерителя располагались на одной горизонтальной линии масштаба либо посередине между одноименными горизонтальными линиями.

Расстояние, показанное на поперечном масштабе (см. рис. 3, б), равно 184,8 м. Оно складывается из трех частей: целого числа оснований ($40 \times 4 = 160$ м), десятых долей основания масштаба ($4\text{м} \times 6 = 24$ м) и сотых долей основания (вверх по трансверсали $0,4\text{м} \times 2 = 0,8$ м).

При решении задач с использованием графических масштабов принимают, что практически длина отрезка на плане может быть оценена с точностью до 0,2 мм. *Горизонтальное расстояние на местности, соответствующее 0,2 мм (0,02 см) на плане данного масштаба, называется графической точностью масштаба*, т.е.

$$t_{\text{граф}} = \frac{0,02\text{см} \cdot M}{100}, \text{ м.} \quad (2)$$

Задание

1. Выразить в форме именованного масштаба численные масштабы, наиболее часто применяемые на практике, и указать их графическую точность. Данные представить в виде таблицы (табл. 1).

Таблица 1

Масштабы и их точность

Численный масштаб	Именованный масштаб	Графическая точность
1:500	в 1 см – 5 м	0,1 м
1:1 000
1:2 000
1:5 000
1:10 000
1:25 000

Таблица 2

Определение длин линий местности по карте

Наименование отрезков	Длины линий м, определенные по масштабам		Разность, м
	линейному	поперечному	
1-2	982	980	+2
2-3
3-4
4-1
1-3
2-4

Примечание: вычисленные длины линий будут использованы в последующих заданиях.

Работа № 2.

Определение координат точек по карте

Цель – научиться определять геодезические и прямоугольные координаты точек по карте.

Принадлежности: карта, масштабная линейка, циркуль-измеритель, микрокалькулятор.

Исходные данные: на карте масштаба 1:10 000 (см. рис. 1) заданы четыре точки (1, 2, 3, 4).

2. Определить с помощью линейного масштаба, приведенного на листе карты (см. рис. 2) и металлического поперечного масштаба отрезки 1-2, 2-3, 3-4, 4-1, 1-3 и 2-4, заданные на топографической карте. Данные занести в табл. 2.

Задание для самостоятельной работы

1. Вычертить карандашом на чертежной бумаге изображения линейного и поперечного масштабов; оцифровать их в соответствии с масштабом 1:25 000.

2. На изображенных линейном и поперечном масштабах 1:25 000 показать измеренные на карте длины линий 1-2, 2-3, ... и т.д. (см. табл. 2).

Задание для самостоятельной работы выполняется обязательно и оценивается при проверке рабочих тетрадей.

Теоретические сведения

Определение геодезических координат точек

Крупномасштабные и мелкомасштабные карты издаются отдельными листами, ограниченными в зависимости от масштаба определенными размерами по широте и долготе. Северная и южная линии *внутренней рамки* листа карты являются параллелями, а западная и восточная – меридианами (см. рис. 1). В углах внутренней рамки листа карты указывают их широту и долготу.

Между внутренней и внешней (оформительской) рамками листа карты имеется *градусная рамка* в виде двойной линии, разделенной по широте и долготу на интервалы, кратные 1'. Минутные интервалы выделяются попеременно черным и белым цветами. Каждый минутный интервал по широте и долготу с помощью точек разбит на 10-секундные интервалы. Используя разграфку градусной рамки, на листе карты можно вычертить *градусную сетку* (сеть меридианов и параллелей), позволяющую определить геодезические координаты точек карты – широту и долготу.

Геодезической широтой B точки называется угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора. Широта измеряется дугой меридиана от экватора до данной точки.

Геодезической долготой L точки называется двухгранный угол, составленный плоскостями начального (гринвичского) меридиана и геодезического меридиана данной точки. Долгота измеряется дугой экватора (или параллели) от гринвичского меридиана до меридиана данной точки.

Геодезические координаты точки B и L определяют относительно ближайших меридианов и параллелей, проведенных через одноименные минутные (сплошные заливные и двойные линии) или десятисекундные (показаны точками) деления градусной рамки. Из заданной точки опускаются перпендикуляры на ближайшие линии меридиана с долготой L_0 и параллели с широтой B_0 и с учетом их масштабов определяют приращения ΔB и ΔL .

Широту и долготу выражают в градусной мере.

Для определения $\Delta B''$ и $\Delta L''$ замеряют линейные отрезки Δb и Δl (с точностью до десятых долей миллиметра), а по градусной рамке – длины 10-секундных (или минутных) интервалов b и l (см. рис. 1). Тогда приращения геодезических координат в градусной мере будут равны

$$\Delta B'' = \frac{\Delta b \cdot 10''}{b}; \quad \Delta L'' = \frac{\Delta l \cdot 10''}{l}. \quad (3)$$

Геодезические координаты точки I

$$B_I = B_0 + \Delta B''; \quad L_I = L_0 + \Delta L''. \quad (4)$$

При расчетах координат по формулам (4) следует особо обращать внимание на знаки приращений координат $\Delta B''$ и $\Delta L''$.

Пример. Ближайшие к точке I северная параллель и западный меридиан (см. рис. 1) имеют координаты $B_0 = 54^\circ 42' 10''$ и $L_0 = 18^\circ 03' 50''$. Длины 10-секундных интервалов по широте $b = 30,8$ мм и долготе $l = 18,0$ мм, измеренные в линейной мере приращения координат $\Delta b = -6,7$ мм, $\Delta l = +10,8$ мм.

Согласно формулам (3)

$$\Delta B'' = + \frac{-6,7 \text{ мм} \cdot 10''}{30,8 \text{ мм}} = -2,2''; \quad \Delta L'' = + \frac{10,8 \text{ мм} \cdot 10''}{18,0 \text{ мм}} = +6,0''.$$

Тогда

$$B_I = 54^\circ 42' 10'' - 2,2'' = 54^\circ 42' 07,8'';$$

$$L_I = 18^\circ 03' 50'' + 6,0'' = 18^\circ 03' 56,0''.$$

Для контроля повторно определяют приращения координат относительно линий южной параллели и восточного меридиана. Расхождения между результатами двух определений координат не должны превышать $0,2''$.

Определение прямоугольных координат точек

Прямоугольные координаты точек x, y определяют с помощью координатной (километровой) сетки карты, представляющей собой сеть линий, парал-

лельных осевому меридиану зоны (оси Ox) и изображению экватора на плоскости проекции (оси Oy). Подписи горизонтальных линий соответствуют расстоянию в километрах от экватора, а вертикальных – их *преобразованным* (приведенным) ординатам (первая цифра обозначает номер зоны, а последующие – истинную ординату линии плюс 500 км).

Для определения прямоугольных координат заданной точки сначала находят координаты x_0, y_0 одного из углов квадрата километровой сетки, в котором находится эта точка. Из заданной точки опускают перпендикуляры на стороны квадрата и циркулем-измерителем замеряют их длины. Используя линейный масштаб, размещенный за оформительской рамкой в южной части листа карты, определяют приращения координат Δx и Δy .

Координаты заданной точки:

$$x = x_0 + \Delta x; \quad y = y_0 + \Delta y. \quad (5)$$

Пример. Заданная точка 3 (см. рис. 2) расположена в квадрате, северо-западный угол которого имеет координаты: $x_0 = 6\,068,000$ км, $y_0 = 4\,311,00$ км. Измеренные с учетом масштаба карты приращения координат составили:

$$\Delta x = -424 \text{ м} = -0,424 \text{ км};$$

$$\Delta y = +568 \text{ м} = +0,568 \text{ км}.$$

Согласно формуле (5)

$$x_3 = 6\,068,000 - 0,424 = 6\,067,576 \text{ км}.$$

$$y_3 = 4\,311,000 + 0,558 = 4\,311,558 \text{ км}.$$

Для контроля повторно находят приращения координат и координаты точки относительно другого угла квадрата километровой сетки. Расхождения в значениях соответствующих координат по результатам двух определений не должны превышать двойного значения графической точности масштаба карты.

Задание

1. Определить геодезические и прямоугольные координаты точек 1, 2, 3 и 4. Заполнить табл. 3 и 4.

Таблица 3

Геодезические координаты точек

Номер точки	Геодезические координаты, град., мин, с					
	B_0	ΔB	B_1	L_0	ΔL	L_1
1	54°42'10,0"	-2,2"	54°42'07,8"	18°03'50,0"	+6,0"	18°03'56,0"
2	...	...	...	...	...	...
3	...	...	...	...	...	...
4	...	...	...	...	...	...

Таблица 4

Прямоугольные координаты точек

Номер точки	Прямоугольные координаты, км					
	x_0	Δx	x	y_0	Δy	y
1	...	...	...	...	...	...
2	...	...	...	...	...	...
3	6 068,000	-0,424	6 067,576	4 311,000	+0,558	4 311,558
4	...	...	...	...	...	...

2. Рассчитать истинные (действительные) ординаты точек 1, 2, 3, 4. Определить номер и часть (восточная или западная) зоны, в которой находятся указанные точки, и долготу осевого меридиана. Данные поместить в табл. 5.

Таблица 5

Положение точек в зоне

Номер точки	Номер зоны	Часть зоны	Истинная ордината точки, км	Долгота осевого меридиана
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...
3	4	W	-188,442	21°
4	...	...	...	...

Работа № 3.**Определение ориентирных углов направлений по карте**

Цель – научиться определять азимуты и дирекционные углы направлений по карте и устанавливать связи между ними.

Принадлежности: карта масштаба 1:10 000, геодезический транспортёр.

Исходные данные: на учебной карте масштаба 1:10 000 заданы направления между точками 1, 2, 3, 4.

Задание

1. Определить по карте истинный и магнитный азимуты, дирекционные углы и румбы линий 1-2, 2-3, 3-4, 4-1.

2. Рассчитать величину сближения меридианов и сравнить ее с заданным на карте значением.

3. Вычислить дирекционные углы сторон 1-2, 2-3, 3-4 и 4-1 по измеренным горизонтальным углам между линиями; сравнить вычисленные и измеренные дирекционные углы сторон.

Теоретические сведения

Определение ориентирных углов направлений

Ориентировать линию – значит найти ее направление относительно другого направления, принимаемого за исходное. Горизонтальный угол между исходным направлением и ориентируемой линией называется **ориентирным углом**.

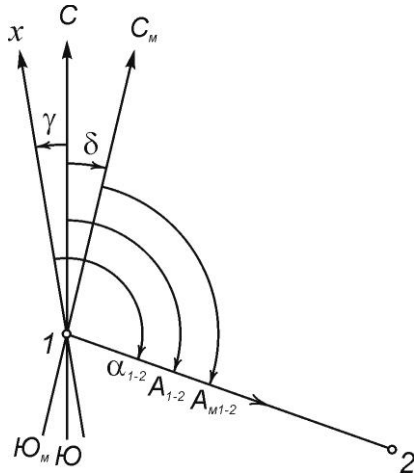


Рис. 3. Исходные направления и ориентирные углы направления 1–2

В качестве исходных принимают направления истинного (географического) меридиана, магнитного меридиана, осевого меридиана, (т.е. оси Ox зональной системы прямоугольных координат либо линии, ей параллельной, проходящей через заданную точку). В зависимости от выбранного исходного направления ориентирным углом может быть истинный азимут A , магнитный азимут A_m , дирекционный угол α (или румб r) (рис. 3).

Истинный азимут A данного направления 1–2 – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана, исходящего из заданной точки 1, до данного направления.

Магнитный азимут A_m данного направления 1–2 – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана, исходящего из заданной точки 1, до данного направления.

Дирекционный угол α данного направления 1–2 – горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления линии, параллельной осевому меридиану (т.е. оси Ox), исходящей из заданной точки 1, до данного направления.

Азимуты и дирекционные углы могут изменяться от 0° до 360° .

Румб r данного направления 1–2 – острый угол, отсчитываемый от ближайшего (северного или южного) направления меридиана, исходящего из заданной точки 1, до данного направления. Румб изменяется от 0° до 90° и его значение сопровождается наименованием четверти относительно сторон света.

Угол δ между направлениями истинного (C) и магнитного (C_m) меридианов называется *склонением магнитной стрелки*. Угол γ между направлениями истинного (C) и осевого (x) меридианов зоны (оси Ox зональной системы прямоугольных координат) называется *сближением меридианов*. Связь ориентирных углов между собой определяется выражениями:

$$\begin{aligned} A &= A_m + \delta; \\ \alpha &= A - \gamma = A_m + \delta - \gamma = A_m + \Pi, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\Pi = \delta - \gamma$ – суммарная поправка.

Значения углов δ и γ для изображенного на всем листе карты участка местности приведены в юго-западном углу листа карты; правее приводится схема взаимного расположения вертикальной линии километровой сетки (оси Ox), истинного и магнитного меридианов.

Для определения по карте истинного азимута линии через начальную ее точку, используя минутную оцифровку градусной рамки, проводят истинный меридиан, относительно которого геодезическим транспортиром измеряют с точностью до $0,1^\circ$ ($6'$) величину истинного азимута A (см. рис. 2). По истинному азимуту линии и известным значениям δ и γ рассчитывают магнитный азимут и дирекционный угол направления как

$$A_{M_{расч}} = A_{изм} - \delta, \quad \alpha_{расч} = A_{изм} - \gamma.$$

Для определения на карте дирекционного угла направления через начальную его точку проводят линию, параллельную оси абсцисс, т.е. вертикальной линии километровой сетки, и относительно ее измеряют транспортиром дирекционный угол α (см. рис. 1). Дирекционный угол линии можно замерить в любой точке ее пересечения с вертикальной линией километровой сетки. По измеренному дирекционному углу и известным значениям δ и γ рассчитывают значения истинного и магнитного азимутов по формулам:

$$A_{расч} = \alpha + \gamma, \\ A_{M_{расч}} = \alpha_{изм} - \delta + \gamma = \alpha - \Pi.$$

Результаты определения ориентирных углов сторон 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 заносят в табл. 6.

Таблица 6

Значения ориентирных углов сторон

Линии	δ	γ	Π	A		A_m	α		r
				Изм.	Рассч		Изм.	Рассч	
1-2	+6°1 2'	– 2°22'	+8°3 4'	57°06	57°02	50°54	59°24	59°28	СВ : 59°24'
2-3				...	...	...	...	...	...
3-4				...	...	...	...	...	...
4-1				...	...	...	...	...	...

Значение измеренных и расчетных ориентирных углов соответствующих направлений не должны различаться между собой более чем на $30'$.

Значения румбов (см. табл. 6) вычисляют по *измеренным* дирекционным углам сторон с учетом четверти, в которой располагается соответствующее направление (табл. 7).

Соотношения румбов и дирекционных углов

Четверти и их наименования	Значения дирекционных углов	Связь румбов (табличных углов) с дирекционными углами
I – СВ	$0^\circ - 90^\circ$	$r_1 = \alpha_1$
II – ЮВ	$90^\circ - 180^\circ$	$r_2 = 180^\circ - \alpha_2$
III – ЮЗ	$180^\circ - 270^\circ$	$r_3 = \alpha_3 - 180^\circ$
IV – СЗ	$270^\circ - 360^\circ$	$r_4 = 360^\circ - \alpha_4$

Расчет величины сближения меридианов

Среднее сближение меридианов для листа карты рассчитывают по формуле:

$$\gamma = \Delta L \cdot \sin B_{cp.}, \quad (7)$$

где $\Delta L = L_{cp} - L_o$ – разность долгот среднего меридиана листа карты и осевого меридиана зоны; B_{cp} – средняя широта листа карты.

Величины L_{cp} и B_{cp} определяют по оцифровке углов градусной рамки листа карты. Долгота осевого меридиана зоны находится исходя из номера зоны по формуле

$$L_o = 6^\circ N - 3^\circ.$$

Рассчитанное значение сближения меридианов сравнивается с величиной, приведенной на карте.

Пример.

$$L_{cp.} = \frac{L_3 + L_B}{2} = \frac{18^\circ 03' 45'' + 18^\circ 07' 30''}{2} = 18^\circ 05' 38'',$$

где L_3 и L_B – долготы западного и восточного меридианов листа карты;

$$L_o = 6^\circ N - 3^\circ = 6^\circ \cdot 4 - 3^\circ = 21^\circ,$$

где $N=4$ – номер зоны;

$$B_{cp.} = \frac{B_C + B_{Ю}}{2} = \frac{54^\circ 42' 30'' + 54^\circ 40' 00''}{2} = 54^\circ 41' 15'',$$

где B_C и $B_{Ю}$ – широты северной и южной параллелей листа карты;

$$\Delta L = 18^\circ 05' 38'' - 21^\circ = -2^\circ 54' 22'',$$

$$\gamma = -2^\circ 54' 22'' \cdot \sin 54^\circ 41' 15'' = -2^\circ 22' 17''.$$

Как видно, рассчитанное значение сближения меридианов практически не отличается от его величины, приведенной на карте ($\gamma = -2^\circ 22'$).

Вычисление дирекционных углов сторон

Для вычисления дирекционных углов сторон 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 необходимо измерить геодезическим транспортиром внутренние правые по ходу горизонтальные углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$. При этом сумма измеренных углов может отличаться от 360° не более чем на $30'$, т.е.

$$(\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4) - 360^\circ \leq \pm 30'.$$

В качестве дирекционного угла исходной стороны α_{1-2} принимается измеренное его значение. Вычисление дирекционных углов сторон выполняют по формуле

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_{np.}, \quad (8)$$

где α_{n-1} – дирекционный угол предыдущей стороны; α_n – дирекционный угол последующей стороны; $\beta_{np.}$ – правый по ходу горизонтальный угол.

Исходя из формулы (8), для каждой стороны можно записать:

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2(\text{изм})} + 180^\circ - \beta_2;$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_3;$$

$$\alpha_{4-1} = \alpha_{3-4} + 180^\circ - \beta_4;$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{4-1} + 180^\circ - \beta_1.$$

Результаты расчетов сводятся в табл. 8.

Таблица 8

Дирекционные углы сторон

Точки	Горизонтальные углы	Дирекционные углы		$\Delta\alpha = \alpha_{\text{расч.}} - \alpha_{\text{изм.}}$
		расчетные	измеренные	
1				
		$59^\circ 36'$	$59^\circ 24'$	$+0^\circ 12'$
2	$52^\circ 12'$			
		$187^\circ 12'$	$187^\circ 24'$	$-0^\circ 12'$
3	$86^\circ 36'$			
	
4	...			
	
1	...			

Рассчитанные значения дирекционных углов сторон сравнивают с измеренными, которые выписывают из табл. 7. Их расхождения не должны превышать $\pm 30'$.

Работа №4.

Решение прямой и обратной геодезических задач

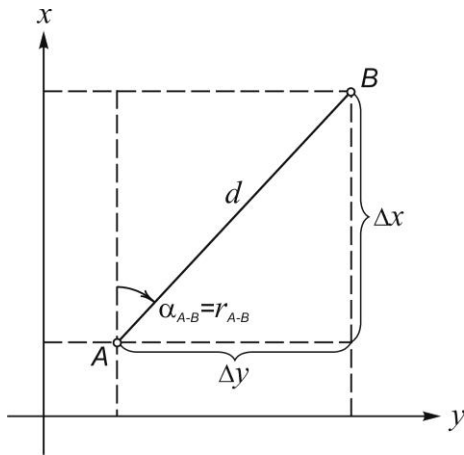


Рис. 4. Схема к решению прямой и обратной геодезических задач

Цель – научиться определять: координаты последующих точек по известным координатам предыдущих точек, длинам линий и дирекционным углам сторон (*прямая геодезическая задача*); дирекционные углы и длины линий по известным координатам их конечных точек (*обратная геодезическая задача*).

Исходные данные: значения координат точек, длин линий и дирекционных углов сторон.

Принадлежности: микрокалькулятор.

Задание

1. Рассчитать координаты точек 1, 2, 3, 4 по формулам прямой геодезической задачи; сравнить значения вычисленных и непосредственно измеренных координат точек 1, 2, 3, 4.
2. Рассчитать дирекционные углы и длины линий 1-2, 2-3, 3-4, 4-1 по формулам обратной геодезической задачи; сравнить вычисленные их значения с непосредственно измеренными величинами.

Теоретические сведения

Прямая геодезическая задача

По известным координатам точки (напр., точки A) линии AB , дирекционному углу линии α_{AB} и ее горизонтальному проложению d_{AB} требуется определить координаты точки B (рис. 4). В основу задачи положено решение прямоугольного треугольника. Расчеты выполняют по формулам:

$$x_B = x_A + \Delta x; \quad y_B = y_A + \Delta y \quad (9)$$

где $\Delta x = d_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB}$, $\Delta y = d_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}$.

Контроль вычислений приращений координат

$$\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = d_{AB}.$$

Следует помнить, что знаки приращений координат зависят от наименования румба (четверти), определяемого дирекционным углом заданного направления (табл. 9).

Знаки приращений координат

Четверти и их наименования	Знаки приращений координат	
	Δx	Δy
I – СВ	+	+
II – ЮВ	–	+
III – ЮЗ	–	–
IV – СЗ	+	–

Значения координат точки $I (x_1, y_1)$, длин линий ($d_{1-2}, d_{2-3}, d_{3-4}, d_{4-1}$) и дирекционных углов ($\alpha_{1-2}, \alpha_{2-3}, \alpha_{3-4}, \alpha_{4-1}$) сторон берут из результатов непосредственных измерений по карте, приведенных ранее в работах №№1, 2 и 3.

Значения вычисленных координат точек 1, 2, 3 и 4 сравнивают с их величинами, измеренными непосредственно по карте. Результаты вычислений приведены в табл. 10.

Таблица 10

Решение прямой геодезической задачи

Обозначения	Стороны			
	1-2	2-3	3-4	4-1
$x_{i+1} (изм)$	6 068 652	...	...	...
x_{i+1}	6 068 650	...	...	...
x_i	6 068 150	6 068 650	...	...
Δx	+500	...	...	...
d	980	...	...	...
α	59°24'	...	...	...
Δy	+844	...	...	...
y_i	4 310 860	4 311 704	...	...
y_{i+1}	4 311 704	...	...	...
$y_{i+1} (изм)$	4 311 704	...	...	...

Примечание:

1. Координаты точек, приращения координат и длины линий даны в метрах.

2. Значения величин $x_{i+1} (изм)$, $y_{i+1} (изм)$ выписывают из табл. 4.

Обратная геодезическая задача

По известным координатам двух точек (напр., точек A и B) требуется определить дирекционный угол α_{AB} и горизонтальное проложение линии d_{AB} (см. рис. 4). Расчеты выполняют по формулам:

$$\operatorname{tgr}_{AB} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}; \quad r_{AB} = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad \alpha_{AB} = \dots^\circ \dots'; \quad (10)$$

$$d_{AB} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_{AB}}. \quad (11)$$

Значение дирекционного угла направления находят, руководствуясь соотношением между румбом и дирекционным углом в зависимости от четверти, в которой лежит данное направление; номер четверти определяют по знакам приращений координат Δx и Δy (см. табл. 9).

Контролем правильности решения задачи является равенство значений горизонтального проложения стороны, вычисленной трижды по формуле (11).

Значения координат точек 1, 2, 3, 4 принимают из результатов непосредственных измерений по карте, приведенных в табл. 4 задания 2. Вычисленные величины α и d сравнивают с измеренными их значениями.

Результаты вычислений заносят в табл. 11.

Таблица 11

Решение обратной геодезической задачи

Обозначения		Стороны							
		1-2		2-3		3-4		4-1	
x_{i+1}	y_{i+1}	6 068	4 311	...	...	...	...	...	...
		652	704	...	...	...	...	...	...
x_i	y_i	6 068	4 310	...	...	...	...	...	...
		150	860	...	...	...	...	...	...
Δx_i	Δy_i	+502	+844	...	...	...	...	...	...
$\operatorname{tgr}_i = \frac{\Delta y_i}{\Delta x_i}$		1,68127		...		...		...
r_i		СВ : 59°15'		...		...		...
α_i		59°15'		...		...		...
$\alpha_{изм}$		59°24'		...		...		...
$d = \frac{\Delta x_i}{\cos \alpha_i}$		982		...		...		...
$d = \frac{\Delta y_i}{\sin \alpha_i}$		982		...		...		...
$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$		982		...		...		...
$d_{изм}$		980		...		...		...

Работа №5.

Решение задач по карте (плану) с горизонталями

Цель – научиться решать инженерно-геодезические задачи с учетом рельефа участка местности, изображенного на карте (плане) с горизонталями.

Принадлежности: топографическая карта 1:10 000, циркуль-измеритель, масштабная линейка, микрокалькулятор.

Задание

1. Изучить рельеф местности по топографической карте. Зарисовать образцы основных форм рельефа, имеющих на карте.
2. Определить отметки точек 1, 2, 3, 4, заданных на карте. Определить превышения между точками 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4, 4 и 1.
3. Построить график заложений для карты масштаба 1:10 000 с высотой сечения рельефа 2,5 м.
4. Определить уклон и крутизну ската между точками 1 и 5.
5. Запроектировать кратчайшую трассу с заданным уклоном между точками *A* и *B*.
6. Построить профиль местности по заданному направлению *A – C*.
7. Определить по карте границы водосборной площади дамбы *a – b*.

Теоретические сведения

Изучение рельефа местности по карте с горизонталями

Горизонталью называется линия на земной поверхности, соединяющая точки с равными высотами.

Расстояние по высоте между двумя соседними секущими горизонтальными плоскостями называется *высотой сечения рельефа h* . Иными словами, высота сечения h представляет собой разность высот (превышение) двух соседних горизонталей.

Расстояние между двумя смежными горизонталями в плане называется *заложением*.

Изгибы горизонталей позволяют судить о рельефе местности. Крутой склон изображают более частыми горизонталями, пологий – более редкими. Для облегчения чтения рельефа и определения направления скатов перпендикулярно к горизонталям ставят *бергштрихи*. Каждую пятую (или четвертую) горизонталь проводят утолщенной и подписывают в разрыве горизонтали основанием цифр в сторону падения ската. Для изображения скатов с углами наклонов более 45° используют особые условные знаки. К числу дополнительных знаков при изображении рельефа горизонталями относятся подписи отметок вершин, глубин и других высот, характеризующих рельеф.

В результате изучения рельефа по карте следует дать краткую характеристику рельефа местности с указанием его типа (равнинный, пересеченный,

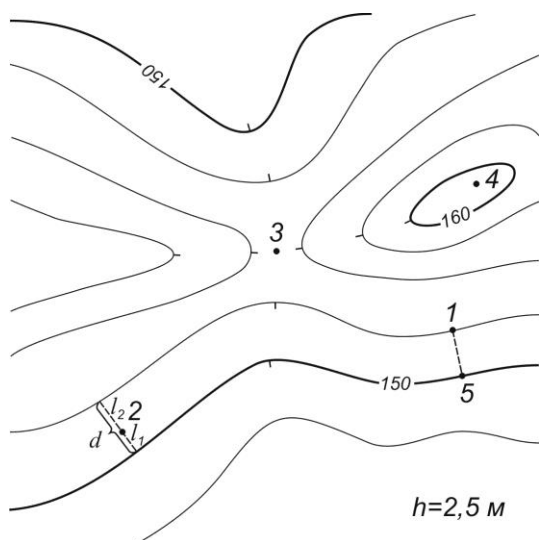


Рис. 5. Схема определения отметок точек по горизонталям

предгорный, горный) и зарисовать в рабочей тетради образцы основных форм рельефа, представленных на карте.

Определение высот точек и превышений между ними

Одной из наиболее распространенных задач, решаемых по карте (плану), является определение отметок (высот) точек местности. При решении этой задачи следует руководствоваться следующими правилами (рис. 5).

1. Отметка точки, расположенной на горизонтали, равна отметке этой горизонтали (напр., на рис. 5 $H_1 = 152,5$ м).

Отметки горизонталей находят с учетом высоты сечения рельефа, направления ската, подписей отметок утолщенных горизонталей и характерных точек рельефа. При этом следует помнить, что отметки горизонталей кратны высоте сечения рельефа.

2. Отметку точки, расположенной между горизонталями (напр., точки 2) определяют из выражения

$$H_2 = H_{мл.} + \Delta h_1 = H_{мл.} + \frac{l_1}{d} \cdot h, \quad (12)$$

где $H_{мл.}$ – отметка младшей горизонтали, ($H_{мл.} = 150,0$ м); Δh_1 – превышение точки 2 над младшей горизонталью; d – заложение ската; l_1 – расстояние в плане от младшей горизонтали до точки; h – высота сечения рельефа, м. Значения d и l_1 определяют на плане с помощью циркуля-измерителя с точностью 0,2 мм.

Для приведенного на рис. 5 примера

$$H_2 = 150 м + \frac{3,2 мм}{8,3 мм} \cdot 2,5 м = 151,0 м.$$

Для контроля отметку точки следует определить относительно старшей горизонтали как

$$H_2 = H_{см} - \Delta h_2 = H_{см} - \frac{l_2}{d} \cdot h. \quad (13)$$

3. Отметку точки, расположенной между горизонталями с одинаковыми отметками (точка 3 – седловина) либо внутри замкнутой горизонтали (точка 4 – вершина), можно определить лишь приближенно. При этом отметку точки при-

нимают меньше или больше отметки этой горизонтали на половину высоты сечения рельефа, т.е. $0,5 h$. Например:

$$H_3 = 155,0\text{ м} - 0,5 \cdot 2,5\text{ м} = 153,75\text{ м};$$

$$H_4 = 160,0\text{ м} + 0,5 \cdot 2,5\text{ м} = 161,25\text{ м}.$$

Превышения между точками определяют как разность отметок последующей и предыдущей отметок, т.е.

$$h_n = H_n - H_{n-1}. \quad (14)$$

Результаты вычислений приведены в табл. 12.

Таблица 12

Определение отметок точек и превышений

Точки	Отметки точек H , м	Превышения h , м
1	152,50	
2	151,00	-1,50
3	153,75	+2,75
4	161,25	+7,50
1	152,50	-8,75

Контролем правильности вычислений является равенство нулю суммы всех превышений, т.е. $h_{1-2} + h_{2-3} + h_{3-4} + h_{4-1} = 0$.

Расчет и построение графика заложений

Крутизну ската (угол наклона ската ν) и уклон линии i между точками, лежащими на соседних горизонталях, определяют по формулам:

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d},$$

отсюда
$$\nu = \operatorname{arctg} \frac{h}{d}. \quad (15)$$

Чтобы избежать расчетов, при решении указанных задач по карте используют графики заложений, которые рассчитывают и строят соответственно высоте сечения рельефа и масштабу данного плана (карты). Построение графика заложения выполняют в следующем порядке:

1. Горизонтальную линию делят на равные отрезки произвольной длины; у концов отрезков подписывают значения углов наклона, начиная с $0^\circ 30'$.

2. Вычисляют заложения, соответствующие каждому значению угла наклона при принятой высоте сечения рельефа, по формуле

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg} \nu} = h \cdot \operatorname{ctg} \nu, \text{ м.} \quad (16)$$

Длину каждого отрезка выражают в масштабе плана (карты) как

$$d' = \frac{d, \text{ м} \cdot 100}{M}, \text{ см,}$$

где M – знаменатель численного масштаба плана.

Результаты вычислений заносят в табл. 13.

Таблица 13

Расчет элементов графика заложений

ν	$\operatorname{ctg} \nu$	$d, \text{ м}$	$d', \text{ см}$
$0^{\circ}30'$	114,60	286,5	2,86
1°	57,29	143,2	1,43
2°
3°
4°
5°
...

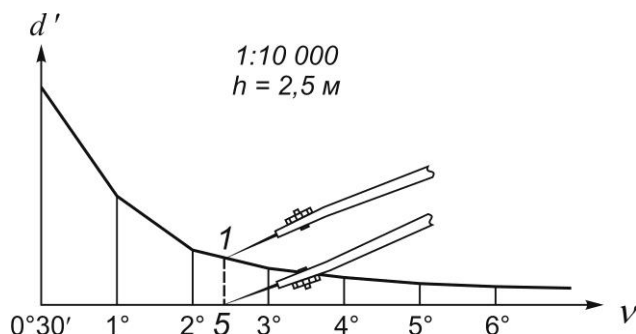


Рис. 6. График заложений

3. Полученные величины заложений d' откладывают на перпендикулярах линии против соответствующих углов наклона. Через полученные точки проводят плавную кривую и получают график крутизны (рис. 6).

Если у точек деления горизонтальной линии вместо углов наклона подписаны значения уклонов и на перпендикулярах отложены соответствующие заложения, то имеем график уклонов. График заложений вычерчивают на листке миллиметровой бумаги и вклеивают в рабочую тетрадь.

Определение уклона и крутизны ската

Заданием предусмотрено определение уклона и крутизны ската по линии 1–5 по карте масштаба 1:10 000 с $h = 2,5$ м расчетным и графическим способами.

Для этого на карте измеряют величину заложения и по масштабной линейке определяют соответствующие ему горизонтальное проложение линии местности d . Уклон ската рассчитывают по формуле

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{d}.$$

Рассчитанный уклон линии выражают в тысячных долях единицы (промилле) и процентах.

Пример. По линии 1-5 (см. рис. 5) $h = 2,5$ м, $d = 62,0$ м.

$$i = \frac{h}{d} = \frac{2,5\text{ м}}{62,0\text{ м}} = 0,040 = 40 \text{ ‰} = 4,0 \text{ ‰}.$$

Крутизну ската определяют по таблицам тригонометрических функций либо при помощи калькулятора исходя из выражения

$$v = \operatorname{arctg} \frac{h}{d}.$$

Для рассматриваемого примера $v = 2^\circ 18'$.

При малых (до 5°) углах наклона скатов крутизну можно рассчитать по формуле

$$v = \rho \cdot \operatorname{tg} v = 57,3^\circ \cdot 0,040 = 2,29^\circ = 2^\circ 17',$$

где $\rho = 57,3^\circ$ – радиан.

Для графического определения крутизны ската с плана берут в раствор циркуля заложение 1-5 и переносят его на график заложений (рис. 7) так, чтобы отрезок 1-5 оказался параллельным линиям графика, а одна ножка циркуля располагалась на горизонтальной линии, другая – на кривой графика. Значение крутизны определяют по оцифровке горизонтальной шкалы графика.

Полученные различными способами значения крутизны ската по линии 1-5 сравнивают между собой.

Проектирование трассы с заданным уклоном

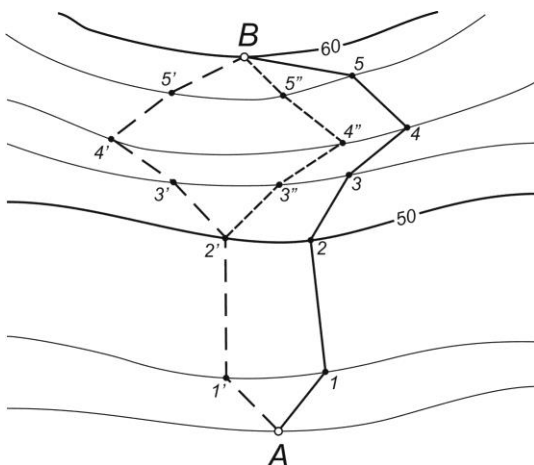


Рис. 7. Проектирование трассы с заданным уклоном

На карте масштаба 1:10 000 требуется наметить трассу дороги между точками A и B (рис. 7), чтобы уклон ее во всех частях не превышая $i_{пр.}$, т.е. на любом участке трассы должно соблюдаться условие $i \leq i_{пр.}$.

Пример. Заданный проектный уклон $i_{пр.} = 0,025$, $h = 2,5$ м.

Проектирование выполняют в следующем порядке.

1. Рассчитывают заложение, соответствующее заданному проектному уклону:

$$d = \frac{h}{i_{np.}} = \frac{2,5\text{ м}}{0,025} = 100\text{ м},$$

и выражают его в масштабе карты:

$$d' = \frac{d, \text{ м} \cdot 100}{M} = \frac{100\text{ м} \cdot 100}{10\,000} = 1,0\text{ см}.$$

Величину заложения d' можно определить также по графику заложений.

2. Раствором циркуля, равным заложению $d' = 1,0\text{ см}$, из точки A засекают соседнюю горизонталь и получают точку 1; из точки 1 тем же раствором засекают следующую горизонталь, получая точку 2, и т.д. Соединив полученные точки, проводят трассу с заданным уклоном.

Если рассчитанное заложение d' окажется меньше расстояния между соседними горизонталями (т.е. уклон ската на данном участке меньше заданного), то участок трассы проводится по кратчайшему расстоянию между ними. Решение этой задачи позволяет наметить несколько вариантов трассы, из которых выбирается наиболее приемлемый по технико-экономическим соображениям. Проектирование трассы следует вести на выкопировке с участка карты, выполненной на кальке.

Построение профиля местности

Профилем называется вертикальный разрез местности по заданному направлению.

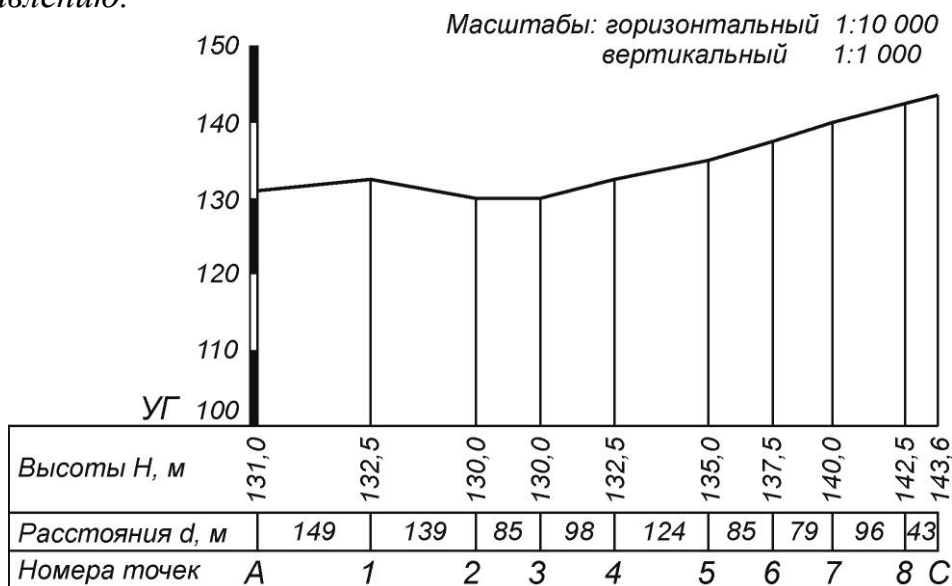


Рис. 8. Профиль местности по заданному направлению

Построение профиля по заданному на карте направлению $A-C$ (см. рис. 1) необходимо выполнять на листе миллиметровой бумаги в следующей последовательности (рис. 8).

1. На листе бумаги проводят горизонтальную линию (основание профиля) и на ней в масштабе плана откладывают отрезки $A-1$, $1-2$, ..., и т.д., т.е. точки

пересечения линии $A-C$ с горизонталями и характерными точками рельефа. В нижней строке записывают расстояния между точками профиля, а под соответствующими точками $A, 1, 2, \dots$ – их отметки.

Примечание. Для перенесения точек профиля с карты на основание профиля удобно использовать следующий прием. Полоску бумаги прикладывают на карте к линии $A-C$ и на нее сносят черточками начало и конец линии, места пересечения горизонталей и характерные точки рельефа. У каждой черты записывают обозначения точек, их отметки и расстояния между ними. Затем полоску бумаги прикладывают к основанию профиля и переносят на него все отмеченные точки и их данные.

2. Выбирают условный горизонт ($УГ$) с таким расчетом, чтобы его линия не пересекалась с линией профиля. Во всех отмеченных точках на основании профиля выставляют перпендикуляры и на них в выбранном вертикальном масштабе откладывают отметки точек, уменьшенные на высоту условного горизонта. Для наглядности и выразительности вертикальный масштаб профиля принимается в 10 раз крупнее горизонтального. Соединив верхние концы перпендикуляров отрезками, получают профиль местности по линии $A-C$.

Определение границы водосборной площади

Водосборной площадью или **бассейном** называется участок земной поверхности, с которого вода по условиям рельефа должна стекать в данный водоток (реку, лощину, тальвег).

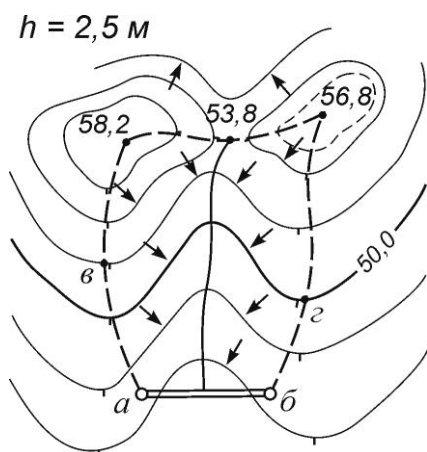


Рис. 9. Определение границы водосборной площади

Оконтуривание водосборной площади выполняют с учетом рельефа местности по горизонталям карты (плана). Граница водосборной площади проходит по водоразделу (хребту).

На карте указан участок местности с ярко выраженной лощиной и створ проектируемой дамбы $a-b$ (рис. 9).

В соответствии со свойствами отображения местности горизонталями граница водосбора проходит в обе стороны от крайних точек дамбы a и b перпендикулярно к горизонталям (по линиям наибольшего ската) до линий водоразделов (точки $в$ и $г$) и далее по этим линиям до вершин холмов. Между вершинами холмов эта граница проходит по водораздельным линиям, соединяющим вершины с отм. 58,2 м и 56,8 м с серединой седловины (отм. 53,8 м).

По самым низким точкам лощины синим цветом (карандашом, тушью или др.) наносят линию водослива (водотока).

Построение следует выполнять на листе кальки с выкопировкой участка карты в районе проектируемой дамбы.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое план и карта? Какие планы и карты называют топографическими?
2. Дайте определение масштаба. Укажите, какие задачи решаются с помощью масштабов.
3. Назовите виды масштабов.
4. Дайте определение графической точности масштабов.
5. Что называют горизонтальным проложением линии местности? Связь горизонтального проложения и наклонного расстояния.
6. Назовите основные виды условных знаков и дайте понятие о каждом из них. Приведите примеры.
7. Дайте определение координат точки? Назовите системы координат, применяемые в геодезии.
8. Что такое широта и какой величиной она измеряется на поверхности земного шара?
9. Что такое долгота и какой величиной она измеряется на поверхности земного шара?
10. Что представляют собой градусная и километровая сетки карты?
11. Какие линии принимают за оси абсцисс и ординат в зональной системе плоских прямоугольных координат?
12. Что означают величины абсциссы и ординаты точки, определенные по карте?
13. Что такое приращения координат Δx и Δy ?
14. Что значит ориентировать линию?
15. Что называют ориентирным углом? Назовите применяемые в геодезии исходные направления и ориентирные углы.
16. Дайте определение магнитного и истинного азимутов и дирекционного угла направления. Укажите, как они связаны между собой.
17. Что называют румбом? Укажите зависимости между румбами и дирекционными углами по четвертям.
18. Как измерить истинный азимут и дирекционный угол заданной линии на карте?
19. Чему равен дирекционный угол последующей линии, если известен дирекционный угол предыдущей линии и правый (или левый) по ходу угол.
20. Что называют рельефом местности?
21. Что называют высотой точки и превышением между точками местности?
22. Дайте определение горизонтали и высоты сечения рельефа.
23. Что называют заложением ската?
24. Назовите основные формы рельефа и покажите, как они изображаются на карте с помощью горизонталей.
25. Что относят к характерным точкам и характерным линиям рельефа?
26. Дайте определение уклона и крутизны ската и формулы их вычисления.

27. Как определить отметку точки по горизонталям?
28. Как использовать графики заложения для определения уклонов и крутизны скатов.
29. Что называют водосборной площадью и какими линиями она ограничивается?

Библиографический список

1. Геодезия. Учеб. Пособие для вузов/ Поклад Г.Г., Гриднев С.П., -2-е изд. –М.: Академ.Проект, 2008. - 592 с.
2. Практикум по геодезии: Учеб. пособие : рек. УМО / под ред. Г. Г. Поклада; Воронеж. гос. аграрный ун-т им. К. Д. Глинки. - М. : Академический проект : Трикста, 2011. - 485 с.

Оглавление

Введение.....	3
Работа №1.....	4
Работа № 2. Определение координат точек по карте	7
Работа № 3. Определение ориентирных углов направлений по карте	11
Работа №4. Решение прямой и обратной геодезических задач	16
Работа №5. Решение задач по карте (плану) с горизонталями	19
Вопросы для самоконтроля	26
Библиографический список.....	27

ГЕОДЕЗИЯ.

Раздел «План и карта»

Методические указания

*К выполнению лабораторных и практических работ
по направлению 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»*

Составители: Гриднев Сергей Петрович
Нетребина Юлия Сергеевна