

Федеральное агентство по образованию

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

РЕШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ НА ПЛАНАХ И КАРТАХ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство Политехнического университета
2006

УДК 528.48 (075.8)

Инженерная геодезия. Решение основных инженерных задач на планах и картах: Учеб. пособие / *Е.Б. Михаленко, Н.Н. Загрядская, Н.Д. Беляев и др.* СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. 105 с.

Пособие соответствует государственному стандарту по направлению 653500 «Строительство».

Приведены основные сведения о современных топографических картах. Даны характеристики карт и планов, рассмотрены способы изображения рельефа, контуров и объектов местности, различные системы координат и системы ориентирования, применяемые в геодезии, номенклатура топографических карт и планов.

Подробно изложена методика измерений по картам. Рассматриваются определение отметок и координат точек, построение профилей, измерение площадей. Приводятся сведения, необходимые для построения плана по материалам теодолитной съемки, составления проекта вертикальной планировки и разбивочных чертежей. Даются способы математической обработки результатов геодезических измерений и оценки их точности.

Предназначено для студентов инженерно-строительного факультета в пределах программы бакалавриата.

Табл. 12. Ил. 72. Библиогр.: 6 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Структуру и содержание учебного пособия определили программа, общий лимит времени, который отводится на дисциплину «Инженерная геодезия» на инженерно-строительном факультете (порядка 100 часов), принятая лекционно-практическая форма обучения.

Лекционно-практический метод предусматривает такую форму обучения, когда положения теории во всех необходимых случаях сразу же закрепляются практическими упражнениями – решением задач, выполнением работ. При этом, в зависимости от содержания темы, решение отдельных задач выполняется преподавателем. Соответственно в тексте приведены рекомендуемые задачи. В других случаях после законченного изложения теории вопроса практическая часть приводится в конце параграфа. Здесь предусматривается самостоятельная работа студентов, но с помощью и под контролем преподавателя.

Комплексное освоение материала курса осуществляется при самостоятельном выполнении студентами расчетно-графических работ.

1. ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ

Общая форма Земли, как материального тела, определяется действием внутренних и внешних сил на ее частицы. Если бы Земля была неподвижным однородным телом и подвергалась действию только внутренних сил тяготения, она имела бы форму шара. Действие центробежной силы, вызванной вращением Земли вокруг ее оси, определяет сплюснутость Земли у полюсов. Под воздействием внутренних и внешних сил физическая (топографическая) поверхность Земли образует фигуру неправильной, сложной формы. Одновременно на физической поверхности Земли встречаются самые различные неровности: горы, хребты, долины, котловины и т. д. Описать такую фигуру при помощи каких-либо аналитических зависимостей невозможно. В то же время для

решения геодезических задач в конечном виде необходимо основываться на определенной математически строгой фигуре – только тогда возможно получение расчетных формул. Исходя из этого задачу по определению формы и размеров Земли принято делить на две части:

- 1) установление формы и размеров некоторой типичной фигуры, представляющей Землю в общем виде;
- 2) изучение отступлений физической поверхности Земли от этой типичной фигуры.

Известно, что 71 % земной поверхности покрывают моря и океаны, суши – только 29 %. Поверхность же морей и океанов характерна тем, что она в любой точке перпендикулярна к отвесной линии, т.е. направлению действия силы тяжести (если вода находится в спокойном состоянии). Направление действия силы тяжести можно установить в любой точке и соответственно построить поверхность, перпендикулярную к направлению этой силы. Замкнутая поверхность, которая в любой точке перпендикулярна к направлению действия силы тяжести, т.е. перпендикулярна к отвесной линии, называется *уровенной поверхностью*.

Уровенная поверхность, совпадающая со средним уровнем воды в морях и океанах в их спокойном состоянии и мысленно продолженная под материками, называется *основной (исходной, нулевой) уровенной поверхностью*. В геодезии за общую фигуру Земли принимают фигуру, ограниченную основной уровенной поверхностью, и такую фигуру именуют *геоидом* (рис. 1).

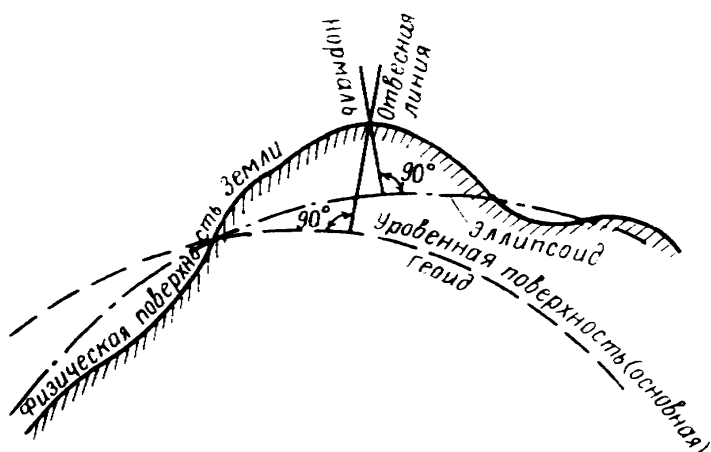


Рис. 1

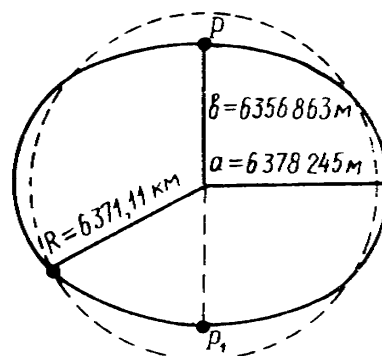


Рис. 2

Вследствие особой сложности, геометрической неправильности геоида, его заменяют другой фигурой – эллипсоидом, образуемым при вращении эллипса вокруг его малой оси PP_1 (рис. 2). Размеры эллипсоида определялись неоднократно учеными ряда стран. В Российской Федерации они были вычислены под руководством профессора Ф.Н. Красовского в 1940 г. и в 1946 г. постановлением Совета Министров СССР были утверждены: большая полуось $a = 6\,378\,245$ м, малая полуось $b = 6\,356\,863$ м, сжатие

$$\alpha = \frac{a-b}{a} = \frac{1}{298,3}.$$

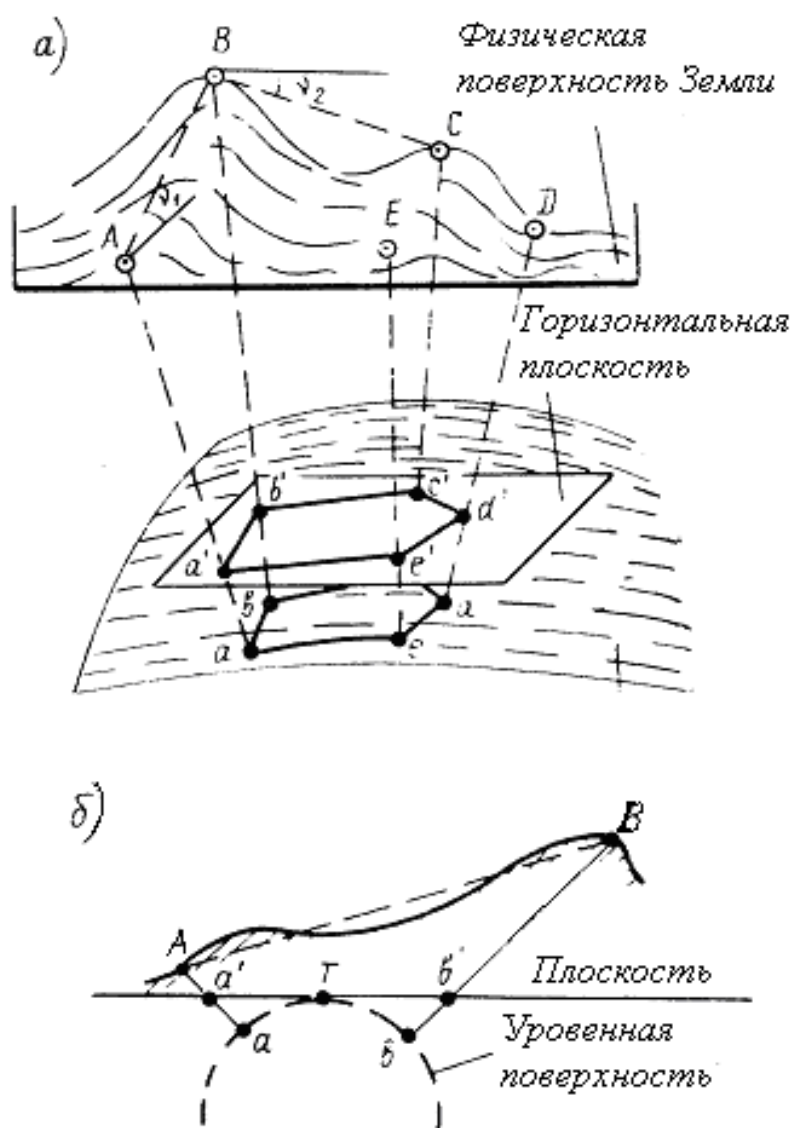


Рис. 3

Земной эллипсоид ориентируют в теле Земли так, чтобы его поверхность в наибольшей мере соответствовала поверхности геоида. Эллипсоид с определенными размерами и определенным образом ориентированный в теле Земли называется референц-эллипсоидом (сфероидом).

Наибольшие отклонения геоида от сфероида составляют 100–150 м. В тех случаях, когда при решении практических задач фигуру Земли принимают за шар, радиус шара, равновеликого по объему эллипсоиду Красовского, составляет $R = 6\,371\,110\text{ м} = 6371,11\text{ км}$.

При решении практических задач в качестве типичной фигуры Земли принимают сфероид или шар, а для небольших участков кривизну Земли вообще не учитывают. Такие отступления целесообразны, так как упрощается проведение геодезических работ. Но эти отступления приводят к искажениям при отображении физической поверхности Земли тем методом, который принято именовать в геодезии методом проекций.

Метод проекций при составлении карт и планов заключается в том, что точки физической поверхности Земли A , B и так далее проектируются отвесными линиями на уровенную поверхность (см. рис. 3, $a, б$). Точки a , b и так далее называются горизонтальными проекциями соответствующих точек физической поверхности. Затем определяется положение этих точек на уровенной поверхности с помощью различных систем координат, и тогда их можно нанести на лист бумаги, т. е. на лист бумаги будет нанесен отрезок ab , который является горизонтальной проекцией отрезка AB . Но, чтобы по горизонтальной проекции определить действительное значение отрезка AB , необходимо знать длины aA и bB (см. рис. 3, $б$), т.е. расстояния от точек A и B до уровенной поверхности. Эти расстояния называются абсолютными высотами точек местности.

Таким образом, задача составления карт и планов распадается на две:
определение положения горизонтальных проекций точек;
определение высот точек местности.

При проектировании точек на плоскость, а не на уровенную поверхность, появляются искажения: вместо отрезка ab будет отрезок $a'b'$ вместо высот точек местности aA и bB будут $a'A$ и $b'B$ (см. рис. 3, $a, б$).

Итак, длины горизонтальных проекций отрезков и высоты точек будут различны и при проектировании на уровенную поверхность, т.е. при учете кривизны Земли, и при проектировании на плоскость, когда кривизна Земли не учитывается (рис. 4). Эти различия будут наблюдаться в длинах проекций $\Delta S = t - S$, в высотах точек $\Delta h = b'O - bO = b'O - R$.

Задача в отношении учета кривизны Земли сводится к следующему: принимая Землю за шар с радиусом R , необходимо определить, для какого наибольшего значения отрезка S можно не учитывать кривизну Земли при условии, что в настоящее время относительная погрешность $\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{1000000}$ считается допустимой при самых точных измерениях расстояний ($\frac{1}{1000000}$ – 1 см на 10 км). Искажение по длине составит $\Delta S = t - S = R \operatorname{tg} \alpha - R \alpha = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha)$. Но, так как S мало по сравнению с радиусом Земли R , то для малого угла можно принять $\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \dots$.

Тогда $\Delta S = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha) = R\left(\alpha + \frac{\alpha^3}{3} - \alpha\right) = R \frac{\alpha^3}{3}$. Но $\alpha = \frac{S}{R}$ и тогда

$$\Delta S = R \frac{S^3}{3R^3} = \frac{S^3}{3R^2}. \quad \text{Соответственно} \quad \frac{\Delta S}{S} = \frac{S^2}{3R^2} = \frac{1}{1000000} \quad \text{и}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{1000000} 3R^2} = \sqrt{\frac{1}{1000000} 3(6,371)^2} \cong 10 \text{ км (с округлением до 1 км).}$$

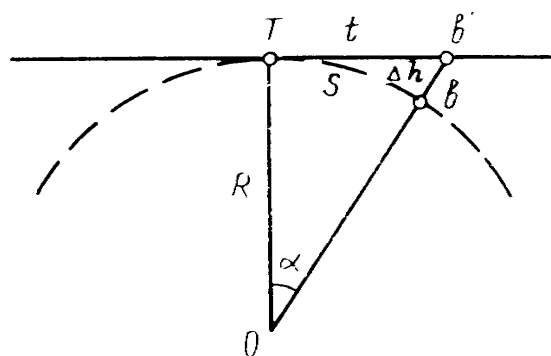


Рис. 4

Следовательно, участок сферической поверхности Земли диаметром в 20 км можно принимать за плоскость, т.е. кривизну Земли в пределах

такого участка, исходя из погрешности $\frac{1}{1000000}$, можно не учитывать.

Искажение в высоте точки $\Delta h = b'O - bO = R \sec \alpha - R = R(\sec \alpha - 1)$.

Принимая $\sec \alpha = 1 + \frac{\alpha^2}{2} + \dots$, получаем $\Delta h = R \left(1 + \frac{\alpha^2}{2} - 1 \right) = R \frac{\alpha^2}{2} =$
 $= R \frac{S^2}{2R^2} = \frac{S^2}{2R}$. При разных значениях S получаем:

S , км:	0,1;	0,2;	0,3;	1;	10;
Δh , см:	0,1;	0,3;	0,7;	7,8;	78,4.

В инженерно-геодезических работах допускаемая погрешность обычно составляет не более 5 см на 1 км, и поэтому кривизну Земли следует учитывать при сравнительно небольших расстояниях между точками, порядка 0,8 км.

2. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О КАРТАХ, ПЛАНАХ И ПРОФИЛЯХ

Главное отличие плана от карты заключается в том, что при изображении участков земной поверхности на плане горизонтальные проекции соответствующих отрезков наносят без учета кривизны Земли. При составлении карт кривизну Земли приходится учитывать.

Практические потребности в точности изображения участков земной поверхности различны. При составлении проектов строительных объектов они значительно выше, чем при общем изучении территории района, геологических обследованиях и т.д.

Известно, что с учетом допустимой погрешности при измерении расстояний $\Delta S = 1$ см на 10 км участок сферической поверхности Земли диаметром в 20 км можно принимать за плоскость, т.е. кривизну Земли для такого участка можно не учитывать.

Соответственно создание плана схематически можно представить следующим образом. Непосредственно на местности (см. рис. 3,а) измеряют расстояния $AB, BC \dots$, горизонтальные углы $\beta_1; \beta_2 \dots$ и углы наклона линий к горизонту $\nu_1, \nu_2 \dots$. Затем от измеренной длины линии местности, например AB , переходят к длине ее ортогональной проекции $a'b'$ на горизонтальной плоскости, т.е. определяют горизонтальное проложение этой линии по формуле $a'b' = AB \cos \nu$, и, уменьшая в определенное число раз

(масштаб), откладывают отрезок $a'b'$ на бумаге. Вычислив аналогичным путем горизонтальные проложения других линий, получают на бумаге многоугольник (уменьшенный и подобный многоугольнику $a'b'c'd'e'$), который является планом контура местности $ABCDE$.

План – уменьшенное и подобное изображение на плоскости горизонтальной проекции небольшого участка земной поверхности без учета кривизны Земли.

Планы принято подразделять по содержанию и масштабу. Если на плане изображены только местные объекты, то такой план называют контурным (ситуационным). Если дополнительно на плане отображен рельеф, то такой план называют топографическим.

Стандартные масштабы планов 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000.

Карты обычно разрабатывают для обширной части земной поверхности, при этом приходится учитывать кривизну Земли. Изображение участка эллипсоида или шара нельзя перенести на бумагу без разрывов. В то же время соответствующие карты предназначаются для решения конкретных задач, например для определения расстояний, площадей участков и т.д. При разработке карт задача состоит не в полном устранении искажений, что невозможно, а в уменьшении искажений и математическом определении их значений с тем, чтобы по искаженным изображениям можно было вычислить действительные величины. Для этого применяют картографические проекции, дающие возможность изображать на плоскости поверхность сфероида или шара по математическим законам, обеспечивающим измерения по карте.

Различные требования к картам определили наличие многих картографических проекций, которые подразделяют на равноугольные, равновеликие и произвольные. В равноугольных (конформных) проекциях сфероида на плоскость сохраняются углы изображаемых фигур, но масштаб при переходе от точки к точке изменяется, что приводит к искажению фигур конечных размеров. Однако небольшие участки карты, в пределах которых изменения масштаба не имеют существенного значения, можно рассматривать и использовать как план.

В проекциях равновеликих (эквивалентных) сохраняется отношение площадей любых фигур на сфероиде и на карте, т.е. масштабы площадей везде

одинаковы (при отличающихся масштабах по различным направлениям).

В произвольных проекциях не соблюдается ни равноугольность, ни равновеликость. Они применяются для мелкомасштабных обзорных карт, а также для специальных карт в тех случаях, когда карты обладают каким-либо специфическим полезным свойством.

Карта – построенное по определенным математическим законам, уменьшенное и обобщенное изображение поверхности Земли на плоскости.

Карты принято подразделять по содержанию, назначению и масштабу.

По содержанию карты бывают общегеографические и тематические, по назначению – универсальные и специальные. Общегеографические карты универсального назначения отображают земную поверхность с показом всех ее основных элементов (населенные пункты, гидрография и т.д.). Математическая основа, содержание и оформление специальных карт подчиняются их целевому назначению (карты морские, авиационные и многие другие сравнительно узкого назначения).

По масштабам карты условно делят на три вида:

крупномасштабные (1:100 000 и крупнее);

среднемасштабные (1:200 000 – 1:1 000 000);

мелкомасштабные (мельче 1:1 000 000).

Карты, подобно планам, бывают контурными и топографическими. В Российской Федерации государственные топографические карты издаются в масштабах 1:1 000 000 – 1:10 000.

В тех случаях, когда карты или планы используют для проектирования инженерных сооружений, для получения оптимального решения особое значение приобретает наглядность в отношении физической поверхности Земли по какому-либо направлению. Например, при проектировании линейных сооружений (дорог, каналов и т.д.) необходимы: детальная оценка крутизны скатов на отдельных участках трассы, ясное представление о почвенно-грунтовых и гидрологических условиях местности, по которой проходит трасса. Такую наглядность, позволяющую принимать обоснованные инженерные решения, обеспечивают профили.

Профиль – изображение на плоскости вертикального разреза земной поверхности по заданному направлению. Чтобы неровности земной

поверхности были более заметными, вертикальный масштаб следует выбирать крупнее горизонтального (обычно в 10–20 раз). Таким образом, как правило, профиль является не подобным, а искаженным изображением вертикального разреза земной поверхности.

3. МАСШТАБЫ

Горизонтальные проекции отрезков (см. рис. 3,б отрезки ab или $a'b'$) при составлении карт и планов изображают на бумаге в уменьшенном виде. Степень такого уменьшения характеризуется масштабом.

Масштаб карты (плана) – отношение длины линии на карте (плане) к длине горизонтального проложения соответствующей линии местности:

$$M = \frac{d_{\text{карты(пл)}}}{d_{\text{местн}}}.$$

Масштабы бывают численные и графические. Численный масштаб фиксируют двумя способами.

1. В виде простой дроби $M = \frac{1}{m}$ – в числителе единица, в знаменателе степень уменьшения m , например $M = \frac{1}{2000}$ (или $M = 1:2000$).

2. В виде именованного соотношения, например в 1 см 20 м. Целесообразность такого соотношения определяется тем, что при изучении местности по карте удобно и привычно оценивать длину отрезков на карте в сантиметрах, а длину горизонтальных проложений на местности представлять в метрах или километрах. Для этого численный масштаб преобразовывают в разнотипные единицы измерения: 1 см карты соответствует такому-то количеству метров (километров) местности.

Пример 1. На плане $M = \frac{1}{5000}$ (в 1 см 50 м) расстояние между точками составляет 1,5 см. Определить горизонтальное проложение между этими же точками на местности.

Решение: $1,5 \times 5000 = 7500 \text{ см} = 75 \text{ м}$ (или $1,5 \times 50 = 75 \text{ м}$).

Пример 2. Горизонтальное проложение между двумя точками на местности равно 40 м. Чему будет равно расстояние между этими же

точками на плане $M = 1:2000$ (в 1 см 20 м)?

Решение: $\frac{4000}{2000} = 2 \text{ см} \left(\frac{40}{20} = 2 \text{ см} \right).$

Чтобы избежать вычислений и ускорить работу, пользуются графическими масштабами. Таких масштабов два: линейный и поперечный.

Для построения *линейного масштаба* выбирают исходный отрезок, удобный для данного масштаба (чаще длиной 2 см). Этот исходный отрезок называется основанием масштаба (рис. 5). Основание откладывают на прямой линии необходимое число раз, крайнее левое основание делят на части (обычно на 10 частей). Затем линейный масштаб подписывают, исходя из того численного масштаба, для которого он строится (на рис. 5,а для $M = 1:25\,000$). Такой линейный масштаб позволяет определенным образом оценить отрезок с точностью в 0,1 доли основания, дополнительную часть этой доли приходится оценивать на глаз.

Для обеспечения необходимой точности измерений угол между плоскостью карты и каждой ножкой циркуля-измерителя (рис. 5,б) не должен быть менее 60° , и измерение длины отрезка следует произвести не менее двух раз. Расхождение ΔS , м между результатами измерений должно быть $\Delta S \leq T\sqrt{2} \approx 1,5T$, где T – число тысяч в знаменателе численного масштаба. Так, например, при измерении отрезков по карте $M \frac{1}{10000}$ и пользовании линейным масштабом, который помещен обычно за южной стороной рамки листа карты, расхождения при двойных измерениях не должны превышать $1,5 \times 10 = 15$ м.

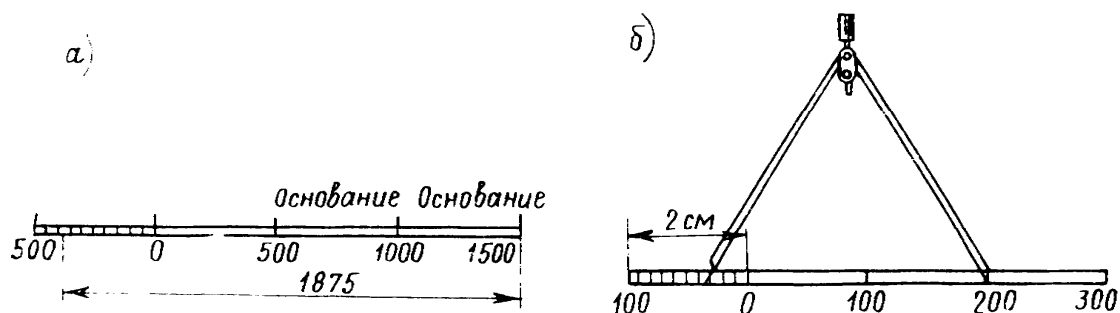


Рис. 5

Если отрезок длиннее построенного линейного масштаба, то его измеряют по частям. В этом случае расхождение между результатами измерения в прямом и обратном направлениях не должно превышать $T\sqrt{2n}$, где n – число установок измерителя при измерении данного отрезка.

Для более точных измерений пользуются *поперечным масштабом*, имеющим на линейном масштабе дополнительное построение по вертикали (рис. 6).

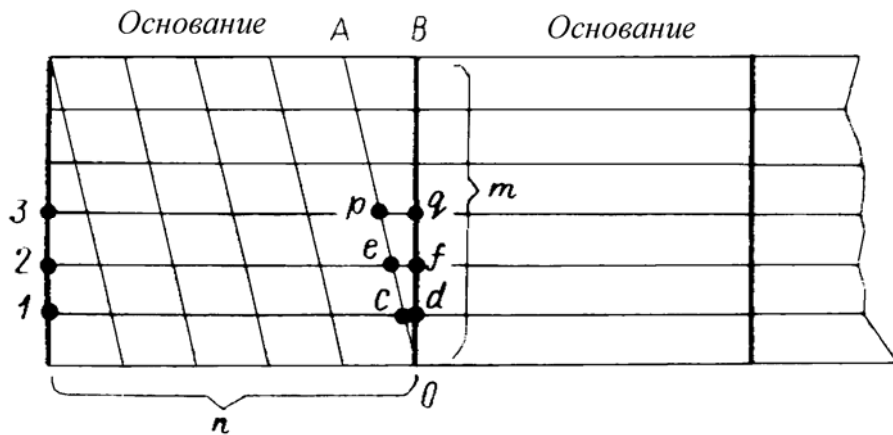


Рис. 6

После того как необходимое количество оснований масштаба отложено (также обычно длиной 2 см, тогда масштаб называется нормальным), восстанавливают перпендикуляры к исходной линии и делят их на равные отрезки (на m частей). Если основание разделено на n частей и точки деления верхнего и нижнего основания соединены наклонными линиями (трансверсалиями) так, как показано на рис. 6, то отрезок $cd = \frac{AB}{m} = \frac{\text{основание}}{mn}$. Соответственно отрезок $ef = 2cd$, $pq = 3cd$ и т. д. Если $m = n = 10$, то $cd = 0,01$ основания, т. е. такой поперечный масштаб позволяет определенным образом оценить отрезок с точностью в 0,01 доли основания, дополнительную часть этой доли – на глаз. Поперечный масштаб, у которого длина основания 2 см и $m = n = 10$, называют сотенным нормальным.

Поперечный масштаб гравировуют на металлических линейках, которые называются масштабными. Перед применением масштабной линейки следует оценить основание и его доли по следующей схеме.

Пусть численный масштаб 1:5000, именованное соотношение будет: в 1 см 50 м. Если поперечный масштаб нормальный (основание 2 см, рис. 7),

то основание составит 100 м; 0,1 основания – 10 м; 0,01 основания – 1 м. Задача по отложению отрезка заданной длины сводится к определению числа оснований, его десятых и сотых долей и, в необходимых случаях, к глазомерному определению части его наименьшей доли. Пусть, например, требуется отложить отрезок $d = 173,35$ м, т. е. требуется взять в раствор измерителя: 1 основание +7 (0,1 основания) +3 (0,01 основания) и на глаз расположить ножки измерителя между горизонтальными линиями 3 и 4 (см. рис. 7) так, чтобы линия AB отсекала 0,35 промежутка между этими линиями (отрезок DE). Обратная задача (определение длины отрезка, взятого в раствор измерителя) соответственно и решается в обратном порядке. Добившись совмещения игл измерителя с соответствующими вертикальной и наклонной линиями так, чтобы обе ножки измерителя находились на одной горизонтальной линии, считываем количество оснований и его долей ($d_{BG} = 235,3$ м).

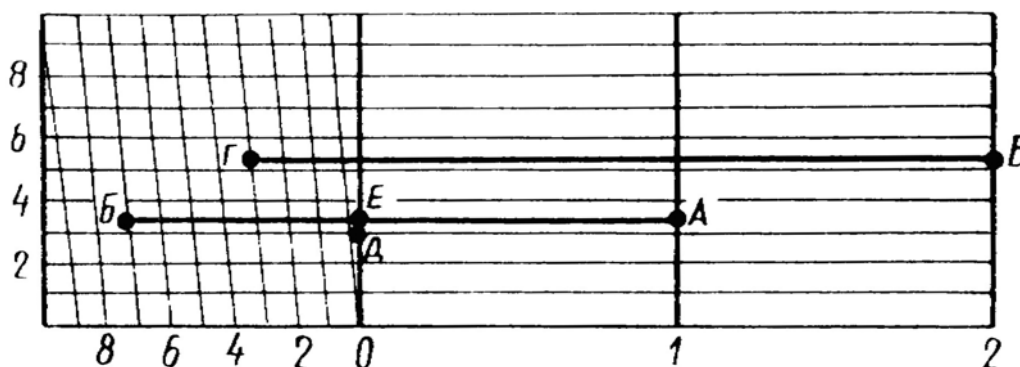


Рис. 7

При проведении съемок местности для получения планов неизбежно возникает вопрос: какие наименьшие размеры объектов местности должны отобразиться на плане? Очевидно, чем крупнее масштаб съемки, тем меньше будет линейный размер таких объектов. Для того чтобы применительно к конкретному масштабу плана можно было принять определенное решение, вводится понятие о точности масштаба. При этом исходят из следующего. Опытным путем установлено, что измерить расстояние, пользуясь циркулем и масштабной линейкой, точнее, чем 0,1 мм, невозможно. Соответственно под точностью масштаба понимают длину отрезка на местности, соответствующую 0,1 мм на плане данного

масштаба. Так, если M 1:2000, то точность будет: $M = \frac{1}{m} = \frac{d_{\text{пл}}}{d_{\text{местн}}} = \frac{1}{2000}$,

но $d_{\text{пл}} = 0,1$ мм, тогда $d_{\text{местн}} = 2000 \times 0,1 \text{ мм} = 200 \text{ мм} = 0,2 \text{ м}$.

Следовательно, в этом масштабе (1:2000) предельная графическая точность при нанесении линий на план будет характеризоваться величиной 0,2 м, хотя линии на местности могли измеряться с более высокой точностью.

Следует иметь в виду, что при измерениях на плане взаимного положения контуров точность определяется не графической точностью, а точностью самого плана, где ошибки могут составлять в среднем 0,5 мм вследствие влияния других, кроме графических, погрешностей.

Практическая часть

I. Решите следующие задачи.

1. Определите численный масштаб, если горизонтальное проложение линии местности длиной 50 м на плане выражается отрезком в 5 см.

2. На плане $M \frac{1}{2000}$ следует отобразить здание, длина которого в натуре 15,6 м. Определите длину здания на плане в мм.

II. Постройте линейный масштаб, для чего проведите линию длиной 8 см (см. рис. 5, а). Выбрав основание масштаба длиной 2 см, отложите 4 основания, крайнее левое основание разделите на 10 частей, произведите оцифровку для трех масштабов: $M \frac{1}{2000}$; $M \frac{1}{5000}$; $M \frac{1}{10000}$.

III. Решите следующие задачи.

1. Отложите на бумаге в трех указанных масштабах отрезок длиной 144 м.

2. Пользуясь линейным масштабом учебной карты $M \frac{1}{10000}$, измерьте длину горизонтального проложения трех отрезков. Оцените точность измерения по зависимости $\Delta S \leq 1,5T$. Здесь T – число тысяч в знаменателе численного масштаба.

IV. Пользуясь масштабной линейкой, решите следующие задачи.

Отложите на бумаге длину линий местности, оформив результаты упражнения в табл. 1.

Результаты практической работы

Длина линии на местности, м	Численный масштаб	Изображение линии в масштабе
25,65	1:500	
65,1	1:1000	
108,4	1:2000	
171,5	1:5000	
327,0	1:10000	

4. УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ

Объекты местности изображают на планах и картах условными знаками. Но одни объекты имеют значительные размеры (например, озеро, лес и т. д.), другие объекты малы (колодец, мост и т. д.). Объекты, размеры которых значительны, отображают в масштабе данной карты с сохранением подобия контуров, для малых объектов такое отображение невозможно. Кроме того, и большие и малые объекты необходимо сопроводить определенными характеристиками (для древостоя указать его среднюю высоту, для моста – грузоподъемность и т. д.). В связи с этим все условные знаки делят на три группы: масштабные (контурные), внемасштабные и пояснительные.

Масштабные (рис. 8) служат для изображения объектов в масштабе карты или плана. Контур такого объекта наносится точечным пунктиром или тонкой сплошной линией и заполняется значками, отличающими его от других объектов.

Внемасштабные условные знаки (рис. 9) применяют для изображения объектов, не выражающихся в данном масштабе. По ним невозможно судить о размерах объекта, но определенная точка знака соответствует положению объекта на местности. Такие знаки используют и для изображения объектов линейного характера (дороги, линии связи и т.д.). Они позволяют передать точное местоположение объектов по их оси.

Промежуточное положение между масштабными и внемасштабными занимают линейные условные знаки, являющиеся по длине масштабными, а по ширине внемасштабными.

Изображение	Название
	лес
	Луг
	болото прохо- димое

Рис. 8

Изображение	Название
	Завод
	Труба
	Отдель- ное дерево

Рис. 9

Пояснительные условные знаки (рис. 10), представленные значком, числом, надписью или их совокупностью, служат для дополнительной характеристики объектов.

Изображение	Характеристики
	Моста: М - металлический 10 - высота, м, 80 - длина, м; 8 - ширина, м; 60 - грузоподъемность, т
	Шоссе: 8 - ширина покрытия, м; 10 - ширина всей дороги, м; А - материал покрытия (асфальт)
	Реки: 0,5 - направление и скорость течения, м/с

Рис. 10

Условные знаки применительно к различным масштабам приводятся в специальных каталогах, издаваемых Главным управлением геодезии и картографии (ГУГК), и являются обязательными для всех учреждений.

Точное воспроизведение условных знаков – одно из основных требований при вычерчивании плана.

Практическая часть

По двум каталогам условных знаков (для крупного и мелкого масштабов) сопоставить изображения нижеследующих объектов в масштабах $M \frac{1}{2000}$ и $M \frac{1}{10000}$.

1. Точки плановых съемочных сетей.

2. Постройки огнестойкие жилые.
3. Линии электропередачи.
4. Воздушные проводные линии связи.
5. Шоссе.
6. Откосы спланированные неукрепленные.
7. Обрывы.
8. Леса.
9. Отдельно стоящие деревья.
10. Сплошные заросли кустарников.
11. Луговая травянистая растительность.
12. Пашни, огороды.

Утвержденные требования к воспроизведению условных знаков приводятся в конце каталогов, в разделе «Пояснения к условным знакам».

5. ИЗМЕРЕНИЕ ОТРЕЗКОВ

Отрезки, длину которых необходимо определить, могут быть прямыми, ломаными и криволинейными.

Измерение прямолинейных отрезков между точками производят с графической погрешностью 0,1 мм, расхождение между повторными измерениями данного отрезка не должно превосходить 0,3 мм.

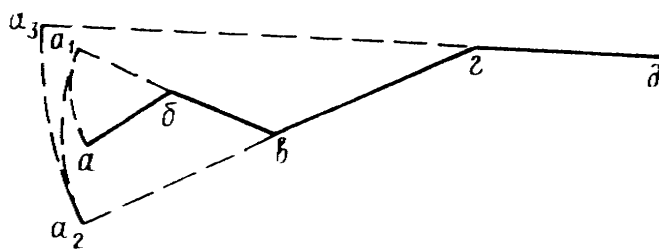


Рис. 11

Измерение ломаных отрезков производят по частям или путем их последовательного спрямления (способ наращивания). При этом способе (рис. 11) устанавливают ножки измерителя в точках *а* и *б*, совмещают край линейки с направлением *б–в*, вращают измеритель вокруг ножки в точке *б* и устанавливают вторую ножку измерителя у края линейки в точке *а₁*, т.е. на продолжении отрезка *бв*. После этого перемещают ножку циркуля из точки *б* в точку *в* и получают сумму отрезков *аб* и *бв*. Действуя

аналогично, получают в растворе циркуля a_3d общую длину ломаной линии $abвгd$.

Для контроля измерения проводят в обратном направлении, от точки d к точке a .

Для измерения криволинейных отрезков применяются специальные приборы – курвиметр, циркуль-измеритель с постоянным раствором, а также существует способ наращивания.

Курвиметр состоит из колесика, связанного со стрелкой, которая указывает на циферблате длину линии в сантиметрах. Удерживая курвиметр перпендикулярно к плоскости карты, ведут его колесико по измеряемому отрезку.

Перед применением курвиметра необходимо определить цену его деления. Для этого выбирают отрезок известной длины и устанавливают, какое число делений курвиметра n будет соответствовать этому отрезку. Тогда цена деления курвиметра

$$c_k = \frac{d_{изв}}{n}.$$

Перед началом измерения отсчет на циферблате курвиметра выводят на 0.

Применение циркуля-измерителя с постоянным раствором сводится к измерению малых хорд. Берут раствор циркуля порядка двух-пяти миллиметров и определяют по отрезку с известной длиной $d_{изв}$ длину отрезка, взятого в раствор циркуля:

$$d_{раст} = \frac{d_{изв}}{n},$$

где n – число перестановок циркуля. После определения $d_{раст}$ измеряют длину криволинейного отрезка. Для измерений следует пользоваться циркулем с регулирующим винтом, $d_{раст}$ следует брать меньше при большей извилистости измеряемой линии.

Применение способа наращивания при измерении криволинейных отрезков такое же, как и при измерении ломаных отрезков (измеряют малые хорды, на которые делится криволинейный отрезок).

Практика измерений криволинейных отрезков показывает, что наиболее точным является применение циркуля-измерителя с постоянным раствором.

Практическая часть

Сопоставьте точность измерения прямолинейного отрезка тремя способами: по масштабной линейке, циркулем-измерителем с постоянным раствором, с помощью курвиметра.

Перед измерениями, пользуясь графиком линейного масштаба учебной карты, определите цену деления курвиметра c_k и длину отрезка, взятого в раствор циркуля, $d_{\text{раст.}}$.

Измерьте на карте ломаную линию (длину контура: участка, относящегося к населенному пункту) двумя способами: по частям с помощью масштабной линейки и способом наращивания.

Измерьте с помощью курвиметра два криволинейных отрезка: участок реки между сторонами километровой сетки (длина 12 – 14 см) и участок проселочной дороги.

6. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

Границы участков, площади которых необходимо определить на плане или карте, могут иметь прямолинейное или произвольное очертание.

При прямолинейных очертаниях определение площади возможно двумя способами: графическим (по расчетным формулам конкретных геометрических фигур) и аналитическим (по координатам вершин углов многоугольника).

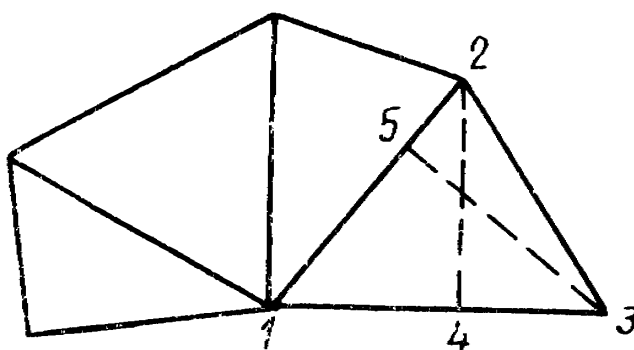


Рис. 12

В первом случае участок разбивают преимущественно на треугольники, реже на прямоугольники и трапеции (рис. 12). Измеряют линейные элементы (стороны, высоты) и по формулам геометрии

вычисляют площади каждой фигуры. Для контроля площади вычисляют дважды, меняя измеряемые элементы. Например, в треугольнике 1–2–3 в одном случае измеряют основание 1–2 и высоту 3–5, в другом – основание 1–3 и высоту 2–4. Расхождение между двумя значениями площадей не должно превосходить $\Delta S = 0,05 \frac{m}{10000} \sqrt{S}$ [га], где m – знаменатель численного масштаба. Точность определения площадей примерно $\frac{1}{100}$ измеряемой величины.

Вычисление площади аналитическим способом, по координатам вершин углов многоугольника, обеспечивает более высокую точность (до $\frac{1}{1000}$ измеряемой величины).

Расчетная формула для определения площади многоугольника (в простейшем случае треугольника – рис. 13):

$$S_{1-2-3} = S_{a-1-2-b} + S_{b-2-3-c} - S_{a-1-3-c} = \\ = \frac{x_1 + x_2}{2} (y_2 - y_1) + \frac{x_2 + x_3}{2} (y_3 - y_2) - \frac{x_1 + x_3}{2} (y_3 - y_1).$$

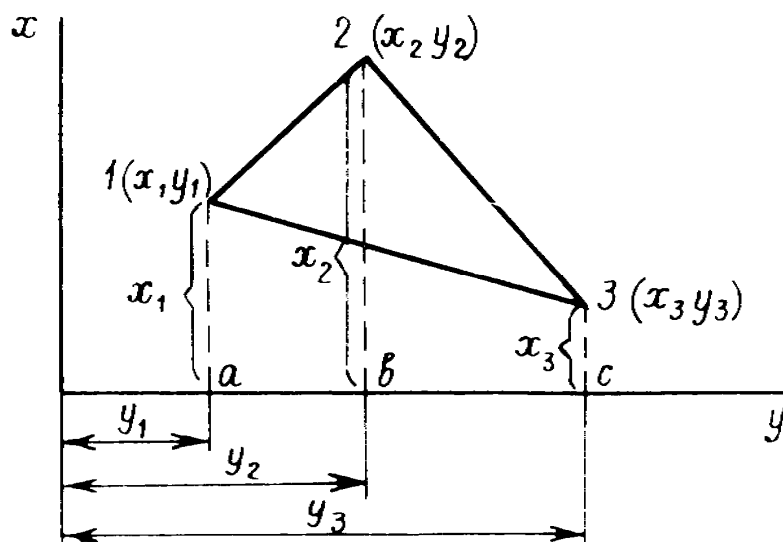


Рис. 13

Произведя соответствующие алгебраические действия и преобразования, получим расчетные формулы:

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1});$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}),$$

где $i = 1, 2, 3 \dots$ – номера вершин полигона; $i+1$ – номер последующей вершины; $i-1$ – номер предыдущей вершины.

При произвольных очертаниях границ участков определение площади возможно также двумя способами: графическим (палетки) и механическим (планиметры).

Для определения площадей небольших участков с криволинейными контурами применяют палетки – квадратные (рис. 14) и параллельные (рис. 15).

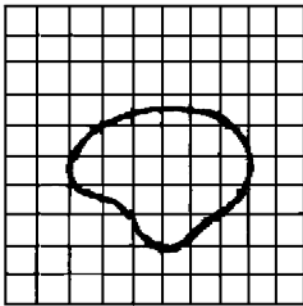


Рис. 14

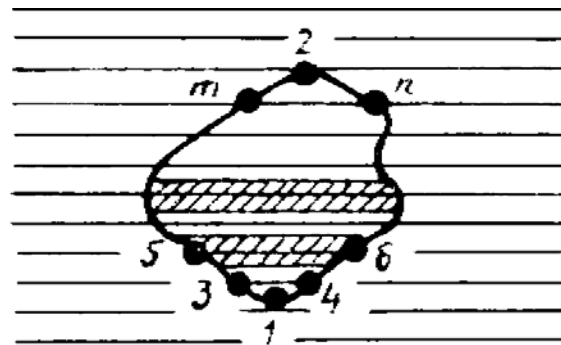


Рис. 15

Палетки изготавливают на прозрачном материале, расстояние между линиями 1–2 мм. Квадратная палетка применяется для малых участков, имеющих площадь на плане до 2 см^2 . Подсчитывают число полных клеток, доли неполных клеток учитывают на глаз. Точность измерения примерно $\frac{1}{50}$.

Параллельную палетку применяют для участков, площадь которых на плане до 10 см^2 . Палетку на измеряемый контур накладывают так, чтобы точки 1 и 2 расположились между параллельными линиями. Тогда отрезки 3–4, 5–6 и так далее можно считать полусуммой оснований соответствующих трапеций. Найдя суммарную длину этих отрезков и умножив ее на высоту трапеции (т.е. на величину расстояния между параллельными линиями), получим площадь контура.

При механическом способе применяют планиметры различных конструкций, чаще всего – полярный планиметр.

6.1. Устройство и поверки планиметра

Полярный планиметр (рис. 16) состоит из трех частей: полюсного 1 и обводного 2 рычагов и каретки счетного механизма. Полюсный рычаг с одной стороны имеет груз с иглой 3, которая является полюсом планиметра; перед началом измерений иглу вдавливают в бумагу. С другой стороны полюсный рычаг заканчивается шарниром 6, с помощью которого он соединяется с кареткой счетного механизма. На конце обводного рычага имеется обводный шпиль 7, которым обводят контур участка, удерживая рычаг за ручку 8. Для того чтобы шпиль не царапал карту, существует штифт 9, длину которого можно регулировать с помощью гайки. В более поздней конструкции планиметра шпиль заменен увеличительным стеклом с точкой в центре. На обводном рычаге расположена каретка со счетным механизмом (рис. 17). Он состоит из счетного колеса 12, счетчика целых оборотов счетного колеса 13 и верньера 14. При измерении площади участка ободок счетного колеса 15 и ролик 16 должны находиться в пределах листа карты.

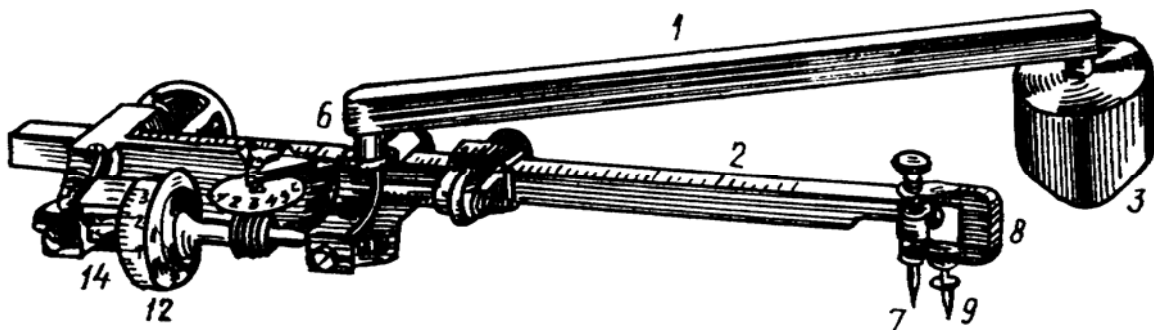


Рис. 16

Счетное колесо разделено на 100 делений, каждые 10 делений оцифрованы. Десятые доли делений счетного колеса определяются по верньеру. Делением планиметра называется одна тысячная часть окружности счетного колеса.

Отсчет по планиметру всегда состоит из четырех цифр. Первая цифра – ближайшая к указателю меньшая цифра счетчика оборотов 13, вторая и третья цифры – сотни и десятки делений на счетном колесе,

предшествующих указателю верньера 14 (начальному штриху шкалы верньера, т. е. 0); четвертая цифра – номер штриха верньера, совпадающего с каким-либо штрихом счетного колеса (единицы делений). На рис. 17 отсчет по счетному механизму составляет 3578.

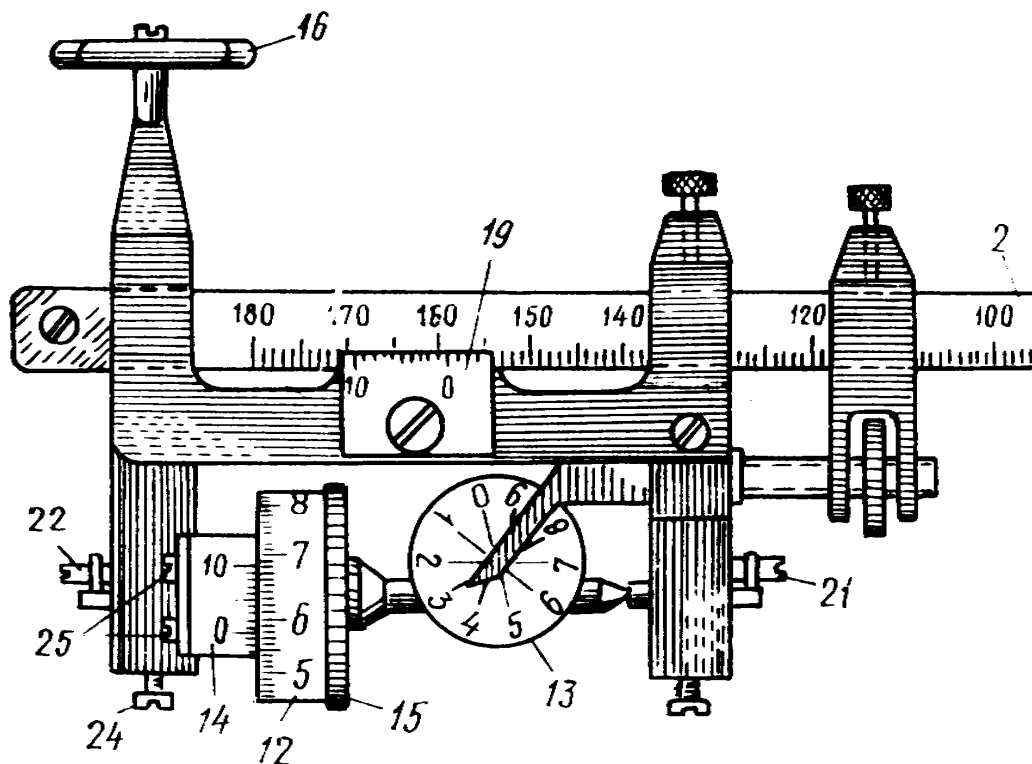


Рис. 17

Прежде чем приступить к измерению площади, необходимо убедиться в исправности планиметра. Он должен удовлетворять двум условиям.

1. Счетное колесо должно вращаться свободно и без колебаний. Если ось колеса слишком зажата в удерживающих ее центрах или колесо касается примыкающего к нему верньера, то вращение его будет задерживаться и могут возникнуть ошибки при измерениях.

Проверка выполняется путем вращения счетного колеса рукой. Оно должно вращаться по инерции 3–5 с. Между краем счетного колеса и верньером должен быть зазор не более толщины листа бумаги. Вращение оси счетного колеса регулируется винтами 21 и 22 (см. рис. 17). Следует учесть, что при слишком слабом закреплении оси счетного колеса возможно его колебание. Положение верньера относительно края счетного колеса регулируется винтом 25.

2. Плоскость ободка счетного механизма должна быть перпендикулярна оси счетного колеса. Данная поверка выполняется путем обвода контура некоторого участка на бумаге при двух положениях полюса относительно обводного рычага – справа и слева.

Если результаты разнятся между собой не более, чем на $1/250$ среднего значения разностей отсчетов, то считается, что планиметр удовлетворяет установленным требованиям. При больших разностях следует производить измерение площадей при двух положениях полюса относительно обводного рычага и счетного механизма. Среднее значение из двух измерений свободно от погрешностей, вызванных нарушением данного условия.

Для измерения площадей с повышенной точностью применяется планиметр ПП-2К. Он имеет две каретки счетного механизма, расположенные с обеих сторон обводного рычага, и, кроме того, обводный шпиль у этого планиметра заменен обводной точкой, выгравированной на нижней поверхности стекла.

Отметим, что в настоящее время имеются и электронные планиметры с индикацией результата измерений на экране дисплея.

6.2. Измерение площадей планиметром

Планиметр, используемый для измерения площадей, должен удовлетворять рассмотренным выше требованиям. Необходимо также знать его цену деления и постоянное значение величины q . Если эти величины неизвестны, то их можно определить.

Цена деления планиметра – это площадь, соответствующая изменению отсчета на одно деление. Геометрически ее можно представить как площадь прямоугольника, одна из сторон которого равна длине обводного рычага, а другая – делению планиметра. Цену деления можно выразить в квадратных миллиметрах, если надо измерить площадь участка на бумаге, или, например, в гектарах, когда требуется знать значение измеряемой по карте площади на местности. Для определения цены деления планиметра берется участок, площадь которого заранее известна, затем производится измерение указанной площади планиметром. Обычно для этого пользуются квадратом координатной сетки карты со стороной 10 см.

Например, площадь квадрата координатной сетки карты масштаба 1:10 000 равна 100 га.

Обводный шпиль сначала устанавливают в центре квадрата, а полюс закрепляют в такой точке, чтобы угол между обводным и полюсным рычагом был равен примерно 90° и чтобы при обводе квадрата ни одна из опорных точек планиметра не выходила за пределы листа карты. Обводный шпиль подводят к одному из углов квадрата и снимают отсчет u_1 . Далее шпилем обводят стороны квадрата по ходу часовой стрелки. Возвратившись в исходную точку, снимают второй отсчет u_2 .

Сместив несколько обводное колесо, вторично производят обвод квадрата против часовой стрелки. При движении по ходу часовой стрелки отсчеты будут возрастать, против часовой стрелки – уменьшаться. Вычитая из большего значения меньшее, находят разности отсчетов, которые не должны отличаться более чем на 5 делений. Проведенные измерения составляют один полуприем. Второй полуприем выполняют в положении полюса с другой стороны обводного рычага и каретки счетного механизма. Расхождение в средних разностях отсчетов при двух полуприемах не должно превышать 5 делений. При наличии сходимости за окончательное значение разности отсчетов принимается среднее из двух результатов.

Цена деления планиметра вычисляется по формуле

$$c = \frac{\Pi}{u_2 - u_1},$$

где Π – площадь измеренного участка; $u_2 - u_1$ – средняя разность отсчетов из двух полуприемов.

Цена деления планиметра зависит от положения каретки счетного механизма на обводном рычаге. Перемещая каретку, можно найти такое ее положение, когда значение c будет удобно для измерений, например 1; 0,1; 0,01 и т.п.

Пример. Пусть при обводе квадрата километровой сетки на карте масштаба 1:10000 получена цена деления $c = 0,0985$ га. Отсчет R по шкале обводного рычага 19 (см. рис. 17) составил 159,1 мм. Удобную цену деления планиметра c_0 примем равной 0,1 га. Тогда каретку счетного механизма следует переместить на такую величину, чтобы новый отсчет R_0 по шкале обводного рычага был равен

$$R_0 = \frac{Rc_0}{c} = \frac{159,1 \cdot 0,1}{0,0985} = 161,5 \text{ мм.}$$

Измерение площадей относительно небольших участков (в поперечнике не более 15–17 см) производится с полюсом вне контура. Так же, как и при определении c , шпиль располагают примерно в центре участка, а для полюса выбирают такое место, чтобы рычаги планиметра составляли прямой угол (рис. 18, а). Затем производится беглый обвод контура. Угол между рычагами (рис. 18, б, в) должен составлять не менее 30° и не более 150° . Если это условие не выполняется, то подбирается другое, более благоприятное положение полюса. Возможны случаи, когда это не удастся, и угол между рычагами выходит за пределы допуска при любом положении полюса. Тогда измерение площадей следует выполнять с полюсом внутри контура (рис. 18, г) или по частям.

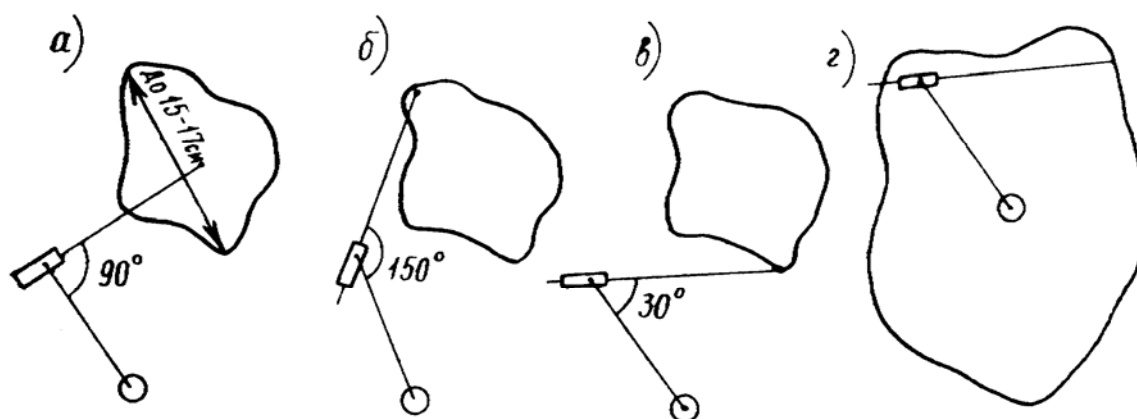


Рис. 18

Измерение площади участка производится полным приемом, так же как при определении цены деления планиметра. При этом контур участка тщательно обводят шпилем четыре раза: по два раза по ходу и против хода часовой стрелки при двух положениях полюса относительно рычага. Возможно также измерение полуприемом.

Расхождения разностей отсчетов в полуприемах допускаются не более 3–4 делений при величине разностей до 1000 делений и 5–6 делений для участков большего размера.

Площадь участка, измеренная при полюсе вне контура, вычисляется по формуле

$$\Pi = c(u_2 - u_1).$$

Значение q планиметра, необходимое при работе с полюсом внутри контура, определяется так же, как и цена деления c , путем обвода контура участка, площадь которого известна. Участок выбирается значительно больших размеров (квадрат 40×40 см или круг радиусом 30 см). Значение q находится с учетом ранее установленной цены деления c

$$q = \frac{\Pi}{c} - (u_2 - u_1).$$

Площадь с полюсом внутри контура определяется одним приемом и к разности отсчетов добавляется q :

$$\Pi = c(u_2 - u_1 + q).$$

Точность результатов измерений планиметром зависит от многих факторов: точности определения постоянных c и q , конфигурации участка, состояния прибора, деформации бумаги и т. д.

Участки с большим периметром и сложными извилистыми границами (полосы дорог, рек и т.п.) надежнее определять графическим способом. Измерения рекомендуется проводить по карте, тщательно расправленной и закрепленной на гладком столе так, чтобы угол между рычагами по возможности приближался к прямому. При этом следует определять и учитывать деформацию бумаги.

Ошибка определения площади находится приближенно по формуле

$$\Delta_{\Pi} = c(0,68 + 0,028\sqrt{u_2 - u_1}).$$

Упражнение. Определить значение c и q планиметра. Измерить по карте площади двух-трех участков.

7. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА ГОРИЗОНТАЛЯМИ

Рельефом называется совокупность неровностей земной поверхности. При строительстве и эксплуатации различных объектов рельеф часто имеет решающее значение.

Для изображения рельефа предложены различные способы (отмывка, штриховка и т. д.). На современных топографических картах и планах, применяемых для решения инженерных задач, рельеф изображается горизонталями.

Существо метода заключается в следующем. Прежде всего определяется высота характерных точек над уровнем поверхности (рис. 19). Численное значение высоты точки называется отметкой. Имея отметки характерных точек, по определенным правилам строят горизонтали.

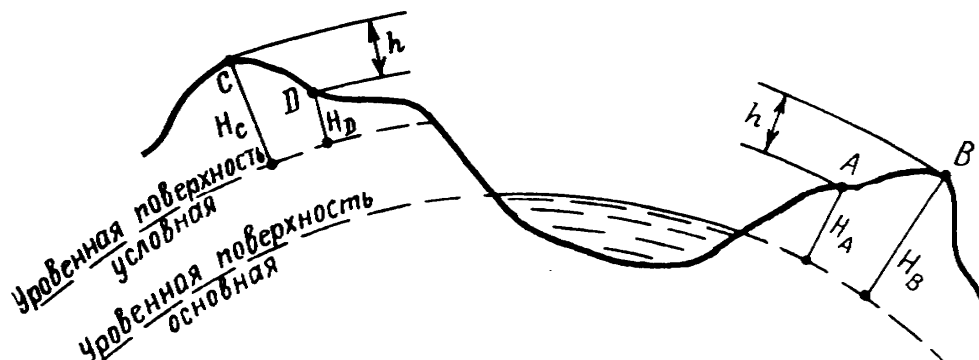


Рис. 19

При проведении практических съемок часто оказывается целесообразным определять отметки не относительно основной, а относительно условно принятой уровенной поверхности. Тогда отметки в первом случае называются абсолютными, во втором – условными (H_A , H_B – абсолютные отметки; H_D , H_C – условные).

В Российской Федерации основная (исходная) уровенная поверхность зафиксирована кронштадтским футштоком. По многолетним наблюдениям за уровнем моря в Кронштадте был установлен средний уровень. В гранитном устое моста через канал закреплена медная пластина, на ней чертой зафиксирован средний уровень. Эту черту именуют нулем кронштадтского футштока. Относительно уровенной поверхности, проходящей через нуль кронштадтского футштока, и определяются абсолютные отметки на всей территории страны.

Условные поверхности (и соответственно условные отметки) применяются для различных участков местности независимо.

Точки физической поверхности Земли характеризуются различными отметками. Но если известны отметки двух точек, то можно вычислить превышение одной точки над другой (относительную высоту). Так, превышение точки B над точкой A (рис. 19) составит: $h = H_B - H_A$. Метод горизонталей позволяет определить отметки любых точек топографической карты или плана. Построение горизонталей осуществляется исходя из следующего.

Пусть имеется некоторая возвышенность (рис. 20, а), которую пересекает поверхность, параллельная уровенной и расположенная от нее на высоте H_1 . Линия пересечения физической поверхности Земли будет замкнутой кривой и, будучи спроектированной на горизонтальную плоскость, эта линия, называемая горизонталью, характеризует данную возвышенность на отметке H_1 .

Если для той же возвышенности секущую поверхность примем на высоте H_2 (рис. 20, б), то получим другую горизонталь, характеризующую возвышенность на этой высоте.

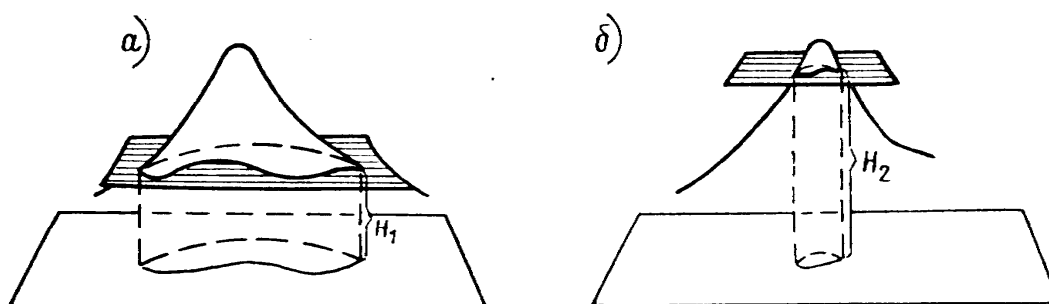


Рис. 20

Для того чтобы получить достаточно детальную характеристику данной формы рельефа, следует задать необходимое количество секущих поверхностей через равные промежутки по высоте h_c . (рис. 21). Каждая поверхность и соответственно каждая горизонталь характеризуется определенной отметкой. Отсюда определение: горизонтالي – линии, соединяющие точки земной поверхности с одинаковыми отметками.

Расстояние между секущими поверхностями по высоте, т.е. разность отметок двух последовательных горизонталей h_c называется высотой сечения рельефа. В зависимости от масштаба, вида рельефа и назначения плана или карты применяют $h_c = 0,25; 0,5; 1; 2; 2,5; 5$ м и др. Чем меньше высота сечения рельефа, тем точнее должны быть выполнены работы по съемке рельефа.

Для изображения отдельных деталей рельефа применяют полугоризонтالي, в том случае, если это не удастся сделать при помощи основных горизонталей. Их проводят через $h_c/2$, вычерчивают прерывистыми линиями (см. рис. 21).

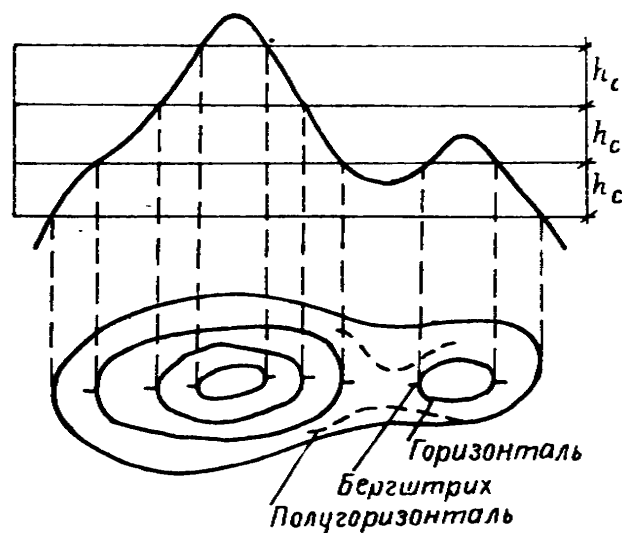


Рис. 21

Горизонтали всегда проводят кратными принятой высоте сечения рельефа. Так, если $h_c = 0,5$ м, то возможны следующие отметки горизонталей: 16,5; 17; 17,5 м и т.п. Если $h_c = 2$ м, то, соответственно: 24; 26; 28 м ...

Для лучшего чтения рельефа часть горизонталей вычерчивают утолщенной линией: при $h_c = 0,25; 0,5; 2,5$ м обычно утолщается каждая четвертая горизонталь (соответственно кратные 1; 2; 10 м); при $h_c = 1; 2; 5; 10$ м утолщается каждая пятая или десятая (соответственно кратная 5; 10; 25; 50 м). У утолщенных горизонталей выписывают их отметки, располагая цифры в разрывах горизонталей так, чтобы их верх был направлен в сторону возвышения. Дополнительно направления скатов указывают берг-штрихами (рис. 22).

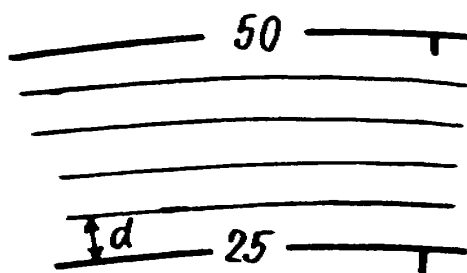


Рис. 22

Расстояние между горизонталями в плане d называется заложением горизонталей (см. рис. 22).

7.1. Свойства горизонталей

1. Горизонтали – замкнутые линии (могут выходить за рамку данного плана и замыкаться за его пределами).

2. Горизонтали не пересекаются. Исключение – нависающие (обратные) скаты.

3. Чем меньше заложение горизонталей d при одинаковом h_c , тем круче скат. Линия, образованная наименьшими d , соответствует направлению наибольшей крутизны.

Рельеф в общем случае разделяют на три вида: равнинный – превышения до 30 м; холмистый – превышения до 200 м; горный – превышения более 200 м.

В каждом виде рельефа выделяют пять основных форм: возвышенность, котловину, хребет, ложину и седловину (рис. 23).

1. Возвышенность (гора – высота более 200 м, холм – менее 200 м). Элементы данной формы рельефа: вершина, скаты, подошва.

2. Котловина – замкнутое углубление. Элементы – дно, скаты, бровка.

3. Хребет – вытянутая возвышенность. Элементы – скаты, гребень хребта. Линия, идущая по гребню, называется водоразделом.

4. Лощина – вытянутое углубление. Элементы – скаты, водосливная линия (тальвег, водоток); широкая лощина называется долиной, узкая – ущельем или оврагом.

5. Седловина (перевал) – пониженная часть местности между двумя соседними возвышенностями с расходящимися в противоположные стороны лощинами.

Все формы рельефа образуются из сочетания наклонных поверхностей – скатов. Крутизна ската оценивается или углом наклона (в градусной мере), или величиной уклона i . Уклоном линии называется тангенс угла наклона линии к горизонту: $i = \operatorname{tg} \nu = h/d$ (рис. 24), где h – превышение; d – горизонтальное проложение линии. Угол наклона линии и уклон линии могут быть положительными ($+\nu$; $+i$) или отрицательными ($-\nu$; $-i$).

Для построения горизонталей существуют различные способы. Но при использовании любого из них следуют единому принципу: на участке

между двумя соседними характерными точками A и B (рис. 25) линия реальной физической поверхности 1 заменяется условным прямолинейным отрезком 2 . После такой замены становится возможным применение линейной интерполяции при определении на плане точек, принадлежащих конкретной горизонтали.

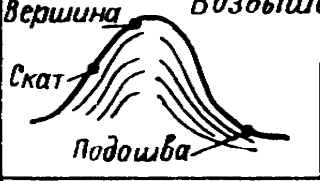
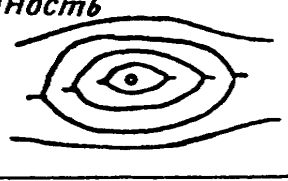
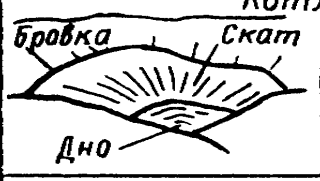
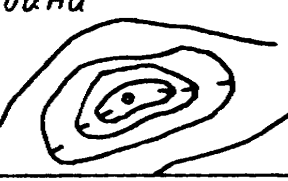
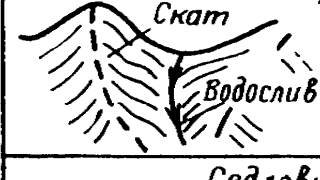
Общий вид	Изображение горизонталями
Возвышенность 	
Котловина 	
Хребет 	
Пощина 	
Седловина 	

Рис. 23

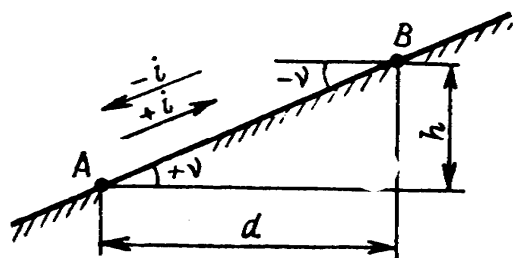


Рис. 24

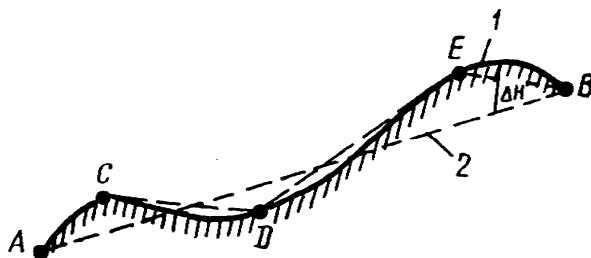


Рис. 25

При съемке рельефа характерные точки (A , B или ACD и т.д.) выбирают там, где уклон ската меняет величину или направление. Чем меньше h_c (чем крупнее масштаб), тем больше требуется принимать характерных точек рельефа. После нанесения характерных точек с известными отметками на лист бумаги отыскание местоположения

точек, принадлежащих определенной горизонтали, производят интерполированием: аналитически, графически или на глаз. При любом способе интерполирования необходимо определить величину трех различных отрезков (рис. 26): Δd_A ; d ; Δd_B . Пусть имеем на плане две соседние точки A и B . Их отметки таковы, что при данной h_c между этими точками пройдут три горизонтали с отметками H_1, H_2, H_3 .

Отрезки Δd_A ; d ; Δd_B определяются интерполированием.

7.2. Аналитическое интерполирование

Из подобия соответствующих треугольников получаем:

$$\frac{\Delta d_A}{l} = \frac{\Delta h_A}{h}; \Delta d_A = \frac{\Delta h_A}{h} l; \frac{d}{l} = \frac{h_c}{h}; d = \frac{h_c}{h} l; \frac{\Delta d_B}{l} = \frac{\Delta h_B}{h}; \Delta d_B = \frac{\Delta h_B}{h} l.$$

Пример 1. Пусть отметки точек A и B будут: $H_A = 12,3$ м; $H_B = 15,6$ м. Расстояние между точками на плане $l = 56,0$ м. Принятая высота сечения рельефа $h_c = 1$ м (рис. 27).

Решение. Между точками A и B пройдут horizontals с отметками 13; 14; 15 м. Местоположение крайних горизонталей определится отрезками

$$\Delta d_A = \frac{\Delta h_A}{h} l = \frac{13,0 - 12,3}{15,6 - 12,3} 56,0 = \frac{0,7}{3,3} 56,0 = 11,9 \text{ м},$$

$$\Delta d_B = \frac{\Delta h_B}{h} l = \frac{15,6 - 15,0}{3,3} 56,0 = 10,1 \text{ м}.$$

Отложив в масштабе плана от точки A отрезок 11,9 м и от точки B отрезок 10,1 м, получим местоположение горизонталей 13,0 и 15,0. Разделив расстояние между этими крайними горизонталями пополам, находим местоположение горизонтали 14,0.

Пример 2. Пусть при тех же исходных данных $h_c = 0,5$ м. Тогда между точками A и B пройдут horizontals 12,5; 13,0; 13,5; 14,0; 14,5; 15,0; 15,5. Соответственно

$$\Delta d_A = \frac{0,2}{3,3} 56,0 = 3,4 \text{ м}; \Delta d_B = \frac{0,1}{3,3} 56,0 = 1,7 \text{ м}.$$

Разделив расстояние между крайними горизонталями на шесть частей, определим местоположение оставшихся пяти горизонталей.

7.3. Графическое интерполирование

Такое интерполирование, по сравнению с аналитическим, позволяет выполнить работу быстрее, с обеспечением необходимой точности. При графическом интерполировании используют интерполятор. Для построения интерполятора на кальке тушью вычерчивают ряд параллельных прямых линий на одинаковом расстоянии одна от другой (через 2, 4, 5 или 10 мм в зависимости от крутизны скатов данной местности и высоты сечения рельефа).

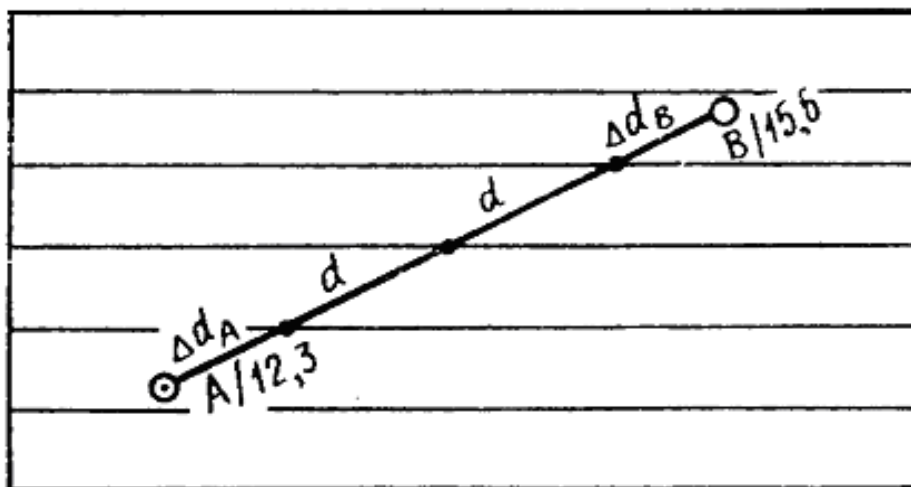


Рис. 27

Для определения местоположения горизонталей интерполятор накладывается так, чтобы число линий интерполятора между точками A и B (см. рис. 27) равнялось числу горизонталей на этом отрезке. Так, при исходных данных рассмотренного выше примера 1 отрезок AB должны пересекать три линии интерполятора. Затем, поворачивая и смещая интерполятор, необходимо получить такое его положение, чтобы Δd_A составляло часть заложения d в соответствии с превышением Δh_A , и одновременно Δd_B также соответствовало превышению Δh_B . Оценка приведенных соответствий производится измерениями, при достаточном опыте – на глаз. Фиксировать на плане найденные точки местоположения горизонталей можно наколами иглы (обычно оказывается достаточным надавливание карандашом).

7.4. Интерполирование на глаз

При наличии достаточного опыта определение местоположения горизонталей производят на глаз, руководствуясь теми же положениями, которые приведены в аналитическом методе интерполяции. Практика показывает, что глазомерное интерполирование обычно обеспечивает точность в $\frac{1}{4} h_c$, что соответствует точности съемки рельефа.

Построение горизонталей заключается в соединении плавными кривыми точек, найденных в результате интерполяции (аналитической, графической или на глаз). Начинать целесообразно с характерных по рельефу форм местности. Водораздельные и водосливные линии пересекаются горизонталями под прямыми углами.

Практическая часть

1. В пределах квадрата километровой сетки по двум сторонам квадрата определите направление повышения и понижения местности, руководствуясь берг-штрихами, надписями горизонталей, отметками характерных точек на карте.

2. Нанесите характерные линии рельефа. Характерными линиями рельефа являются водораздельные и водосливные линии. В центральной части карты опознайте две смежные возвышенности, разделенные ложиной. В пределах квадрата километровой сетки построить водосливную линию и на участках возвышенностей, непосредственно примыкающих к ложине, постройте водораздельные линии. При построении водосливных и водораздельных линий имейте в виду, что они пересекают горизонталь в местах их наибольшей кривизны. Водораздельные линии проходят также через точки с наибольшими отметками и через средние точки седловины.

3. Определите отметки всех горизонталей в пределах заданного квадрата километровой сетки.

8. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ

8.1. Определение отметок точек

При решении задач по определению отметок точек возможны следующие пять случаев.

1. Точка K (рис. 28) лежит на горизонтали. Ее отметка определится отметкой горизонтали ($H_k = 79,0$ м).

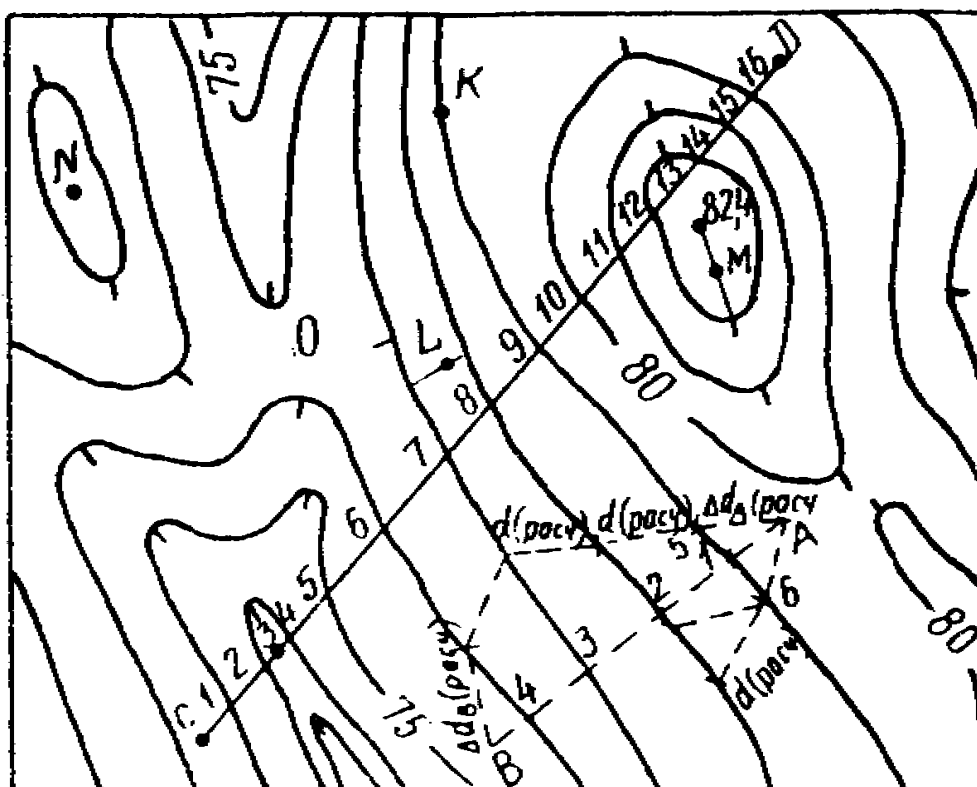


Рис. 28

2. Точка L находится между горизонталями с разными отметками. Проведя через точку L линию кратчайшего расстояния между горизонталями и применив линейную интерполяцию, определяем: $H_L = 77,6$ м.

3. Точка M находится внутри замкнутой горизонтали и известна отметка характерной точки (вершины возвышенности) – 82,4. Проведя через точку с известной отметкой и точку M линию до горизонтали и применив линейную интерполяцию, находим: $H_M = 82,2$ м.

4. Точка N находится в центре замкнутой горизонтали, отметки характерной точки нет. В подобных случаях следуют правилу:

превышение точки в центре замкнутой горизонтали принимается равным половине высоты сечения рельефа. Следовательно, в нашем случае

$$H_N = 78,0 + \frac{1,0}{2} = 78,5 \text{ м.}$$

5. Точка O находится в точке седловины. Здесь также принимается превышение $0,5h_c$, тогда $H_O = 76,5 \text{ м.}$

Отметки точек по топографическому плану или карте вычисляют с точностью $0,1h_c$.

8.2. Определение крутизны ската

Крутизна ската оценивается посредством измерения угла наклона линии к горизонту v или величины уклона i , та и другая характеристика может быть или положительной, или отрицательной. Обе величины можно вычислить, применив формулу $i = \operatorname{tg} v = h/d$, или, для ускорения определения v и i , воспользоваться специальными графиками, которые называются масштабами заложений: масштабом заложений для уклонов (рис. 29, а); масштабом заложений для углов наклона (рис. 29, б).

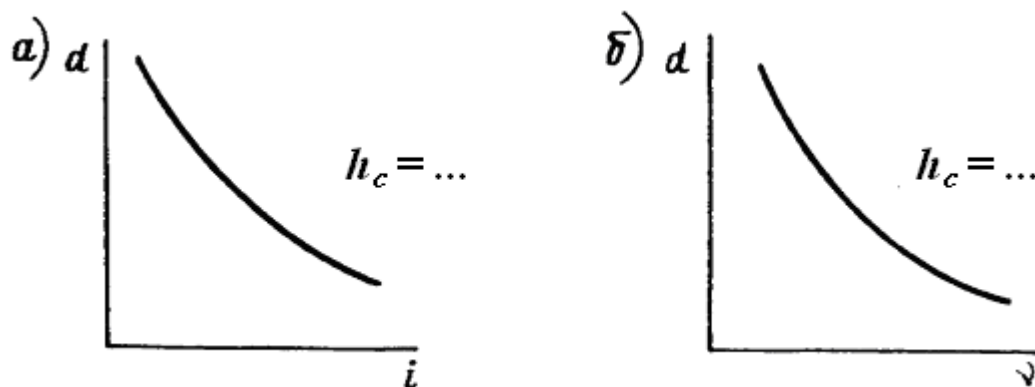


Рис. 29

Масштабы заложений строятся для определенной величины h_c . Задаваясь различными значениями заложения горизонталей d (т. е. горизонтальное проложение между смежными горизонталями), можно вычислить угол v по формуле $\operatorname{tg} v = h_c/d$ и уклон $i = h_c/d$, затем построить масштабы заложений $v_i = f_1(d_i)$ и $i_k = f_2(d_k)$.

Для того чтобы по имеющимся масштабам заложений определить крутизну ската, следует в раствор циркуля взять заложение d , приложить к масштабу заложения так, чтобы одна ножка циркуля была на основании шкалы, а другая – на кривой, при этом обе ножки должны быть на перпендикуляре к основанию шкалы.

Уклон является безразмерной величиной, его можно также записать в процентах (%) или в промиллях (‰): $i = 0,005 = 0,5 \% = 5 ‰$.

8.3. Проведение линии по кратчайшему направлению с уклоном не более заданного (проектного)

Суть задачи: между точками A и B требуется проложить (см. рис. 28) трассу по кратчайшему направлению, но так, чтобы уклон на любом участке трассы был не более некоторого расчетного уклона.

Уклон $i = \frac{h}{d}$ – при известной h определяет значение $d = \frac{h}{i}$. Но уклон задан $i_{\text{расч}}$, и тогда $d_{\text{расч}} = \frac{h}{i_{\text{расч}}}$.

Во всех случаях на трассе будет три различных (по величине превышений) участка: превышение точки A над ближайшей горизонталью Δh_A ; превышение двух соседних разноименных горизонталей h_c ; превышение точки B Δh_B . Соответственно будут три участка с расчетными заложениями:

$$\text{от точки } A \text{ до ближайшей горизонтали } \Delta d_{A \text{ расч}} = \frac{\Delta h_A}{i_{\text{расч}}};$$

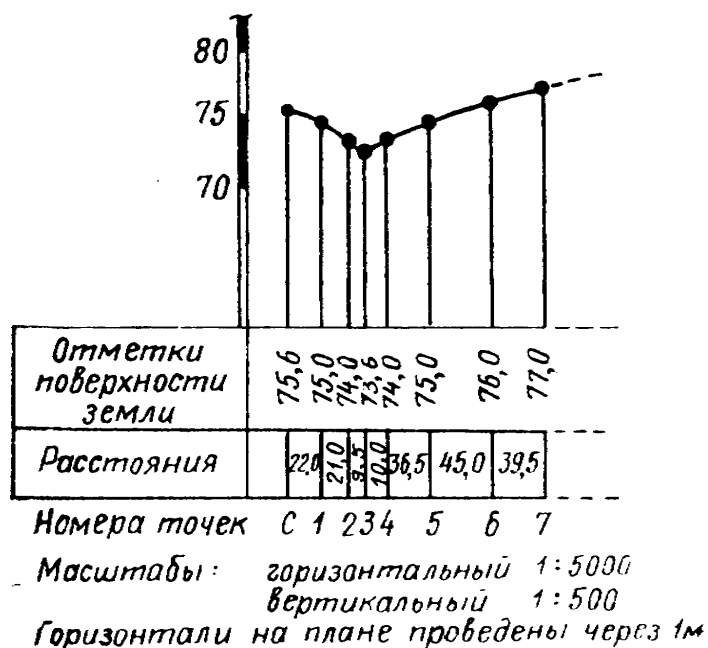
$$\text{между горизонталями } d_{\text{расч}} = \frac{h_c}{i_{\text{расч}}};$$

$$\text{от точки } B \text{ до ближайшей горизонтали } \Delta d_{B \text{ расч}} = \frac{\Delta h_B}{i_{\text{расч}}}.$$

Трассирование линии с уклоном не более заданного сводится к сопоставлению длины отрезков кратчайшего направления линии AB (см. рис. 28) с расчетными отрезками, т.е. по условию задачи должно быть: $\Delta d_{A-1} \geq \Delta d_{\text{расч}}; d_{1-2} \geq d_{\text{расч}} \dots d_{3-4} \geq d_{\text{расч}}; \Delta d_{4-B} \geq \Delta d_{\text{расч}}$. Если приведенные

Решение данной задачи обычно многовариантное.

На карте наносится профильная линия (линия CD на рис. 29), по которой требуется составить профиль местности. При составлении профиля выписывают расстояния между характерными точками и их отметки (рис. 30). Характерные точки находятся в местах пересечения профильной линии горизонталями (точки 1, 2, 4, 5 ... на рис. 29), водораздельными и водосливными линиями (точки 3, 13 – там, где уклон меняет знак).



Расстояния между точками определяют с округлением до точности масштаба (если $M \frac{1}{1000}$, то 0,1 мм – 1,0 м), отметки – до $0,1h_c$.

8.5. Определение границы водосборной площади

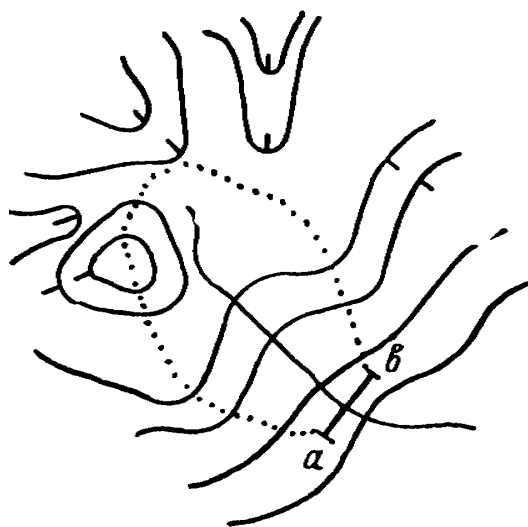


Рис. 31

Под водосборной площадью понимается та часть земной поверхности, с которой вода стекает к данному сечению водотока. Границы водосборной площади определяются водораздельными линиями. Пусть, например, в определенной точке водотока намечен створ водопропускного сооружения (рис. 31). От точек *a* и *b* граница водосборной площади пойдет перпендикулярно к ближайшим горизонталям и далее по водораздельным линиям.

Практическая часть

1. Вблизи вершины холма наметьте точку на карте. Представьте, что в этой точке находится источник воды, покажите направление ее стока.
2. Вычислите средний уклон линии в тысячных (в промиллях) с точки 1 на точку 2, если $H_1 = 117,5$ м; $H_2 = 112,3$ м; $d_{1-2} = 187$ м.
3. По графику заложений для углов наклона определите наибольший угол наклона по заданной линии квадрата километровой сетки.
4. Вычислите превышение с точки 1 на точку 2, если уклон линии $i_{1-2} = -0,028$ и $d_{1-2} = 332$ м.
5. Вычислите угол наклона с точки 1 на точку 2, если $h_{1-2} = 5$ м и $d_{1-2} = 191$ м.
6. Вычислите заложения горизонталей, соответствующие уклону 0,03 для следующих значений высоты сечения рельефа: $h_c = 2,5$ м; $h_c = 1,0$ м; $h_c = 2,0$ м; $h_c = 0,5$ м.
7. Вычислите крутизну ската для заложения, равного 1 см, на карте масштаба 1:10 000 при $h_c = 2,5$ м и $h_c = 5$ м.
8. От заданного на учебной карте сечения водотока (ручья) проведите границу водосборной площади.

Задание 1. Проведение горизонталей по отметкам точек и построение продольного профиля.

Задание заключается в составлении топографического плана участка местности в масштабе 1:5000 и построении продольного профиля по заданному направлению. Исходные данные для составления плана представлены на рис. 32 и в табл. 2.

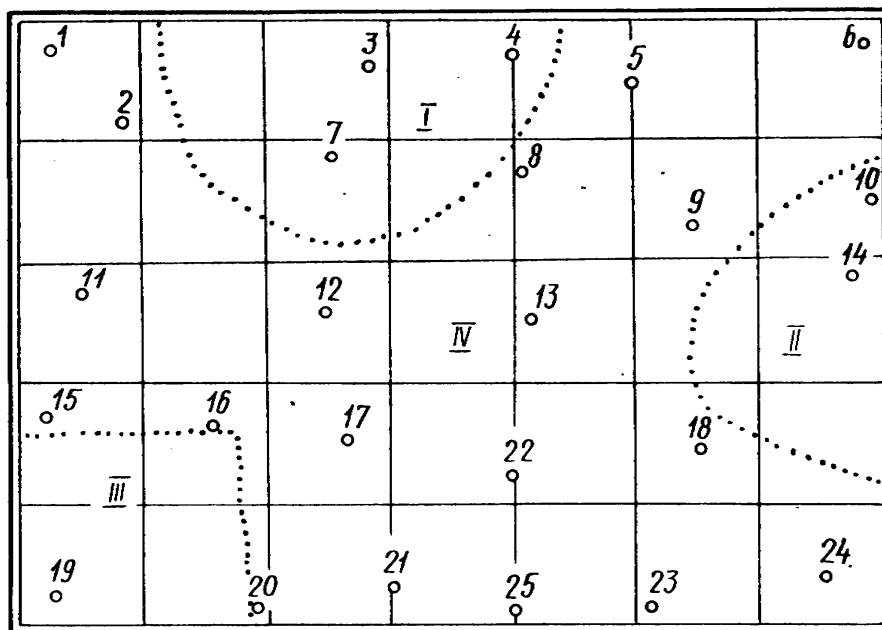


Рис. 32

В верхней половине листа формата А4, на котором выполняется задание, вычертите прямоугольник размером 100 × 140 мм с сеткой квадратов 20 × 20 мм. В квадраты сетки на глаз с рис. 32 перенесите точки и вместо их номеров из табл. 2 выпишите отметки, согласно варианту, указанному преподавателем.

Определите характерные точки и линии рельефа и с учетом их положения произведите линейную интерполяцию для определения положения горизонталей согласно заданной высоте сечения рельефа. Работы выполните в соответствии с указаниями раздела 8. Горизонтالي проведите плавными линиями толщиной 0,1 мм. Каждую пятую горизонталь утолстите до 0,25 мм. Утолщаются горизонтالي с отметками, кратными 5 м, при высоте сечения рельефа через 1 м и с отметками, кратными 10 м, при высоте сечения рельефа через 2 м. На замкнутых горизонталях, а также по линиям

водоразделов и тальвегов укажите направления скатов с помощью бергштрихов. Подпишите отметки горизонталей.

После вычерчивания горизонталей с чертежа уберите все вспомогательные линии, закрепите отметки точек и с рис. 32 перенесите контуры в виде точечного пунктира. Образовавшиеся участки заполнить следующими условными знаками: I – смешанный лес, II – кустарник, III – огород, IV – пашня.

Таблица 2

Таблица отметок точек местности для выполнения задания 1

Номер точки	Вариант											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	Высота сечения h_c , м											
	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1
1	18.0	18.5	54.0	50.0	41.2	30.0	24.2	16.0	44.5	16.3	27.1	19.2
2	19.6	19.3	52.4	49.6	41.9	29.2	26.0	18.2	42.3	16.8	26.2	19.6
3	22.0	19.7	51.6	47.9	43.0	27.8	27.9	20.0	40.1	18.0	24.8	21.0
4	23.8	23.3	51.5	47.8	43.7	27.5	29.1	21.8	39.5	18.5	24.5	21.5
5	26.1	26.0	47.1	45.3	45.2	25.7	32.7	25.1	35.7	20.3	22.6	23.4
6	27.3	27.1	46.8	45.1	45.7	25.3	34.8	25.5	35.5	20.6	22.3	23.5
7	28.2	28.0	45.8	44.8	46.2	24.9	34.0	26.3	33.8	21.2	21.8	24.2
8	25.9	25.4	48.9	46.9	44.7	26.3	31.5	23.7	36.5	19.6	23.4	22.5
9	32.2	32.2	41.2	42.2	48.3	22.2	39.3	31.5	29.2	23.5	14.2	26.6
10	26.3	26.6	46.3	45.3	45.5	25.4	33.3	24.9	29.4	20.3	22.5	23.3
11	23.8	23.2	51.2	47.5	43.5	27.5	29.2	21.2	39.3	18.4	24.5	21.3
12	36.3	36.8	36.3	40.3	50.3	20.5	42.6	34.4	25.2	25.5	17.4	28.3
13	29.7	29.3	45.7	44.7	46.6	24.3	35.5	27.4	32.8	21.5	21.3	24.5
14	26.5	26.2	47.5	45.6	45.3	25.5	33.0	25.1	29.6	20.5	22.4	23.7
15	20.8	20.7	53.2	48.7	42.5	28.6	27.1	19.2	41.0	17.6	25.5	20.6
16	27.7	27.5	46.1	45.1	46.0	25.0	34.0	26.0	34.2	20.9	22.1	23.7
17	31.3	31.8	43.3	43.3	47.4	23.5	36.9	29.3	31.3	22.5	21.4	25.4
18	30.5	30.7	43.5	43.9	47.5	23.8	36.7	27.8	31.6	21.6	20.8	24.7
19	20.8	20.5	53.0	48.8	42.3	28.7	27.5	19.3	41.1	17.5	25.6	20.5
20	21.2	21.2	52.8	48.3	42.4	28.5	27.1	19.8	41.4	17.8	25.7	20.7
21	23.3	23.6	51.3	47.3	43.5	27.6	29.3	21.3	39.3	18.5	24.6	21.5
22	26.8	26.5	47.3	45.8	45.3	25.6	30.5	24.5	35.8	20.2	22.6	23.3
23	22.8	22.5	51.6	47.8	43.7	27.5	29.7	21.4	39.1	18.6	24.5	21.6
24	24.8	24.6	49.4	46.5	44.6	26.4	29.2	23.6	35.2	19.5	23.3	22.4
25	23.3	23.1	51.8	47.7	43.5	27.7	28.9	20.2	39.8	18.3	24.9	21.3

Номер точки	Вариант															
	XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV	XXV	XXVI	XXVII	XXVIII
	Высота сечения h_c , м															
	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2
1	18.0	18.5	54.0	50.0	41.2	30.0	24.0	16.0	44.5	16.3	27.1	19.2	15.2	51.0	17.0	20.0
2	18.8	19.3	53.2	48.4	43.3	28.4	25.0	17.1	43.4	18.5	29.0	21.4	15.5	49.3	19.3	21.7
3	20.0	20.5	52.8	47.6	44.8	25.6	25.8	18.0	42.3	20.3	30.9	23.2	17.0	48.6	21.1	24.1
4	20.9	21.4	52.7	47.5	46.2	25.0	26.5	18.9	42.0	22.1	32.1	25.0	17.5	48.6	22.9	25.7
5	22.1	22.6	50.5	43.1	49.2	21.4	28.3	20.5	40.1	25.4	35.7	28.3	19.3	44.2	26.1	28.2
6	20.6	13.1	50.4	42.8	50.2	20.6	29.3	20.7	40.0	25.8	37.8	28.7	19.5	43.7	26.6	29.3
7	23.1	23.6	49.9	41.8	51.2	19.8	29.1	21.2	39.2	26.9	37.0	29.5	20.2	42.8	27.4	30.3
8	22.0	22.5	51.4	44.9	48.2	22.6	27.7	19.8	40.5	24.0	34.5	27.0	18.5	45.9	24.8	27.8
9	25.1	25.6	47.6	37.2	55.4	15.6	31.6	23.8	36.8	31.8	42.3	34.7	22.6	38.2	32.5	34.3
10	22.2	22.7	50.1	42.3	49.8	21.2	28.6	20.4	37.0	25.2	36.3	28.1	19.2	43.3	25.8	28.2
11	20.6	21.1	52.6	47.2	45.8	25.0	26.5	18.6	41.9	21.5	32.2	24.4	17.3	48.2	22.3	25.2
12	27.2	27.7	45.1	32.3	59.4	11.0	28.3	25.2	34.8	34.7	45.6	37.6	24.2	33.3	35.5	38.4
13	23.9	24.4	49.8	41.7	52.8	18.6	30.7	21.2	38.6	27.7	38.5	30.6	20.5	42.7	28.4	31.8
14	22.3	22.8	50.7	43.5	49.4	21.0	28.5	20.6	37.0	25.4	36.0	28.4	19.7	44.6	26.2	28.5
15	19.4	19.9	53.6	49.5	43.8	27.2	25.5	17.6	42.8	19.5	30.1	22.4	16.6	50.1	20.3	22.7
16	22.9	23.4	50.0	41.1	50.8	20.0	29.1	21.0	39.4	26.3	37.0	29.2	19.7	43.2	27.0	29.7
17	24.6	25.1	48.6	39.3	53.6	17.0	30.4	22.7	37.9	29.6	39.9	32.5	21.4	40.3	30.4	33.4
18	24.2	24.7	48.8	39.5	53.8	17.6	30.3	21.9	38.0	28.1	39.7	31.0	20.6	40.4	28.7	32.5
19	19.4	19.9	53.5	44.8	43.4	27.4	25.7	17.6	42.8	19.6	30.5	22.5	16.5	50.0	20.4	22.7
20	19.6	20.1	53.4	44.3	43.6	27.0	25.5	17.9	42.9	20.1	30.1	23.0	16.7	49.7	20.9	23.2
21	20.7	21.2	52.6	43.3	45.8	25.2	26.6	18.6	41.9	21.6	32.3	24.5	17.6	48.3	22.4	25.4
22	22.4	22.9	50.7	41.8	49.4	21.2	27.2	20.3	40.2	24.8	33.5	27.7	19.3	44.2	25.6	28.7
23	20.4	20.9	52.8	43.8	46.2	25.0	26.8	18.7	41.8	21.7	32.7	24.6	17.5	42.8	22.5	24.8
24	21.4	21.9	51.7	42.5	48.9	22.8	26.6	19.8	39.8	23.9	32.2	26.8	18.4	44.7	24.6	26.7
25	20.7	21.2	52.9	39.5	45.8	25.4	28.8	18.1	42.2	20.5	31.9	23.4	17.3	45.9	21.3	25.4

В нижней части листа составьте продольный профиль местности по направлению, заданному преподавателем. Горизонтальный масштаб такой же, как и для плана 1:5000. Вертикальный масштаб выберите в зависимости от перепада высот точек профиля – 1:100 или 1:200. При составлении профиля руководствуйтесь данными п. 8.4. Образец оформления задания 1 представлен на рис. 33.

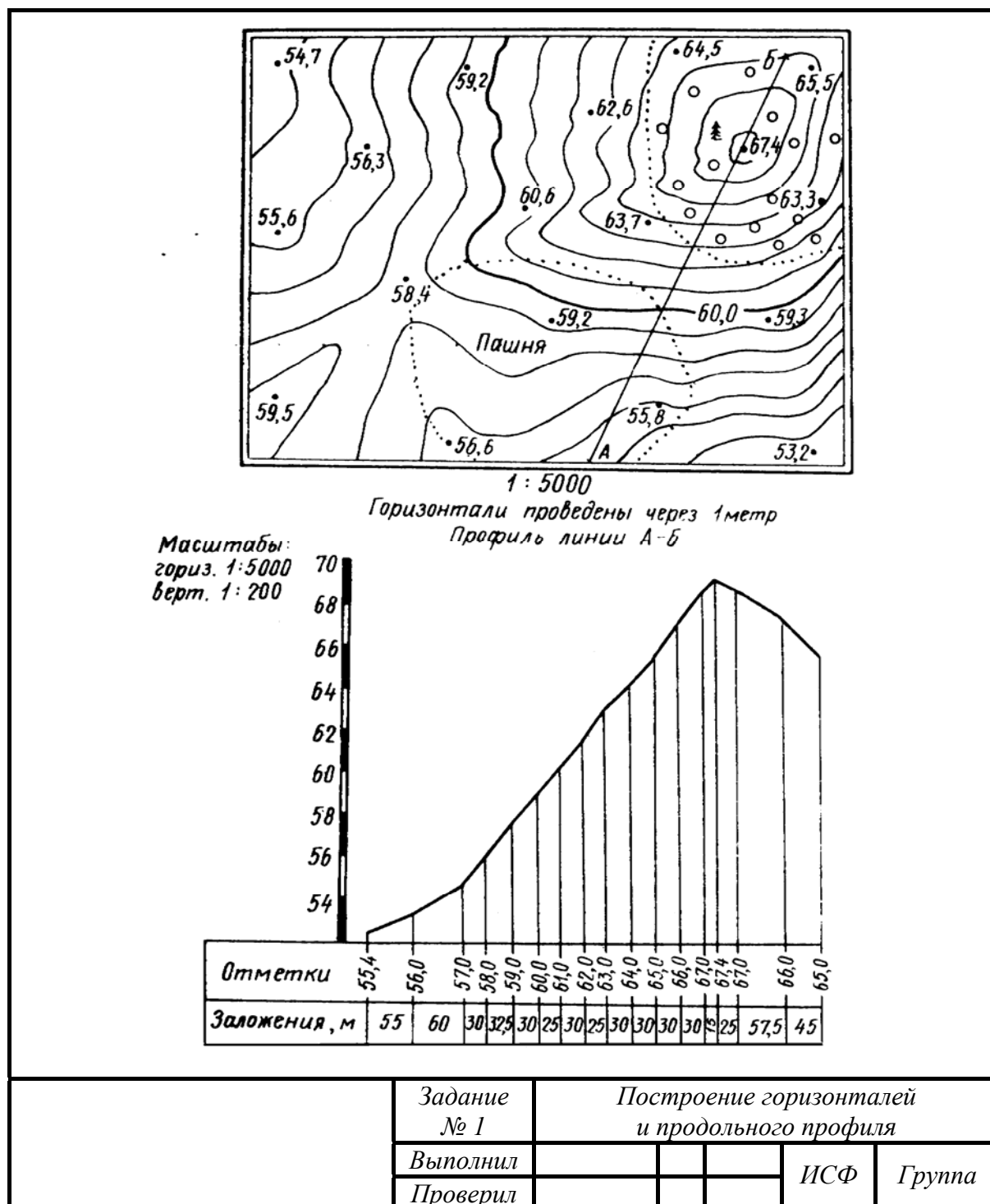


Рис. 33

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАНОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В соответствии с принятым в геодезии методом проекций задача изучения физической поверхности Земли распадается на две: определение положения горизонтальных проекций точек и определение их высот (отметок).

Принятые картографические проекции, системы координат различны, но во всех случаях положение точки в пространстве находят по трем координатам: высоте точки и двум координатам, определяющим местоположение проекции точки на уровенной поверхности (на поверхности сфероида).

9.1. Географические координаты

В системе географических координат местоположение проекции точки на сфероиде определяется двумя углами: широтой и долготой (рис. 34).

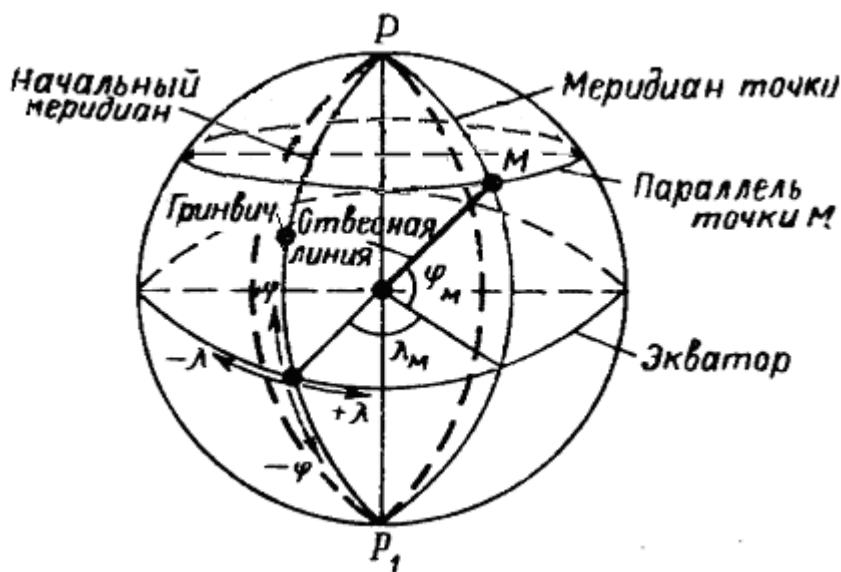


Рис. 34

Широтой точки φ называют угол, образованный отвесной линией в данной точке и плоскостью экватора. Этот угол отсчитывается от плоскости экватора на север и на юг, изменяясь от 0 до 90°. Соответственно широта бывает северная (+) и южная (-).

Долготой точки λ называют двугранный угол, заключенный между плоскостью начального (Гринвичского) меридиана, и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку. От начального меридиана

долготу отсчитывают на восток и запад, от 0 до 180° . Соответственно долгота бывает восточная (+) и западная (–).

Для непосредственного определения географических координат точки на карте используют линии меридианов и параллелей. *Меридиан* – линия пересечения уровенной поверхности плоскостями, проходящими через ось вращения Земли, т.е. плоскостями долгот.

Параллель – линия пересечения уровенной поверхности плоскостями, перпендикулярными оси вращения Земли, т.е. плоскостями широт.

9.2. Зональная система плоских прямоугольных координат (проекция Гаусса – Крюгера)

Зональная система плоских прямоугольных координат предложена Гауссом в 1828 г., удобные для практических расчетов формулы разработаны Крюгером к 1912 г., в СССР принята с 1928 г. Сущность проекции заключается в следующем. Поверхность земного сфероида делят меридианами на зоны в 6° по долготе, начиная от начального меридиана, и нумеруют по направлению к востоку (рис. 35), всего зон 60. Далее получают плоские изображения каждой зоны, для чего мысленно помещают сфероид внутрь цилиндра так, чтобы осевой меридиан зоны касался поверхности цилиндра (рис. 36). Из центра сфероид (рис. 37) зону проектируют на поверхность цилиндра – при этом углы сферы будут изображены без искажения, поэтому данную проекцию называют равноугольной, поперечно-цилиндрической. Изображение на поверхности цилиндра затем можно развернуть на плоскость.

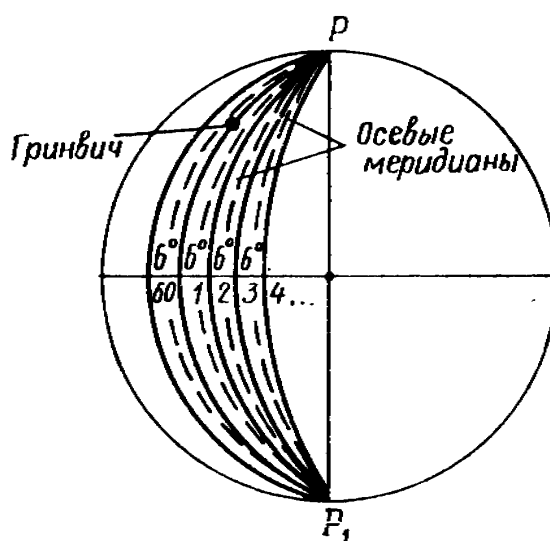


Рис. 35

В поперечно-цилиндрической проекции искажения будут в длинах линий: зоны на цилиндре получаются более широкими, чем на шаре. Не будет никаких искажений осевого меридиана – он касается поверхности цилиндра, но чем дальше расположены отрезки от осевого меридиана, тем больше искажений в длинах линий.

Ширина зоны на экваторе около 670 км, т.е. крайние точки зоны удалены от осевого меридиана примерно на 335 км. Искажения в длинах линий на экваторе достигают: при удалении от осевого меридиана на 100 км – $\frac{1}{8000}$, на 300 км – $\frac{1}{800}$. Для широт территории РФ наибольшие искажения могут достигать примерно $\frac{1}{1000}$.

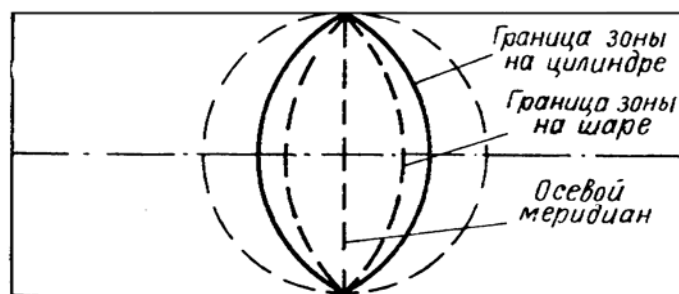


Рис. 36



Рис. 37

Наличие искажений в общем случае определяет возможное непостоянство масштаба в отдельных частях карты, и поэтому существуют понятия главного масштаба и частных масштабов. Главный – масштаб того глобуса, который изображают при составлении карты, частные масштабы относятся к различным частям карты.

Система географических координат удобна для изучения всей физической поверхности Земли или значительных ее участков, но неудобна для решения многих инженерных задач. Проекция Гаусса в географическом отношении не имеет практического значения, так как дает изображение земной поверхности с разрывами. Но ее ценность в том, что она в силу малых искажений сближает карту с планом и позволяет назначать систему плоских прямоугольных координат в каждой зоне, что удобно при решении инженерных задач.

В проекции Гаусса за начало координат в каждой зоне принимают точку пересечения осевого меридиана с линией экватора, которые образуют прямой угол. Они и есть в данном случае оси координат

(рис. 38). Осевой меридиан служит осью абсцисс x , а линия экватора — осью ординат y . Положительным направлением абсцисс считается направление от экватора к северу, положительным направлением ординат — на восток. В математике применяется левая система координат (нумерация четвертей против движения часовой стрелки), в геодезии — правая система. Но так как наименования осей координат тоже противоположны, знаки координат точек, расположенных в одноименных четвертях, совпадают (см. рис. 38), что позволяет применять формулы тригонометрии без всяких изменений и в данной системе.

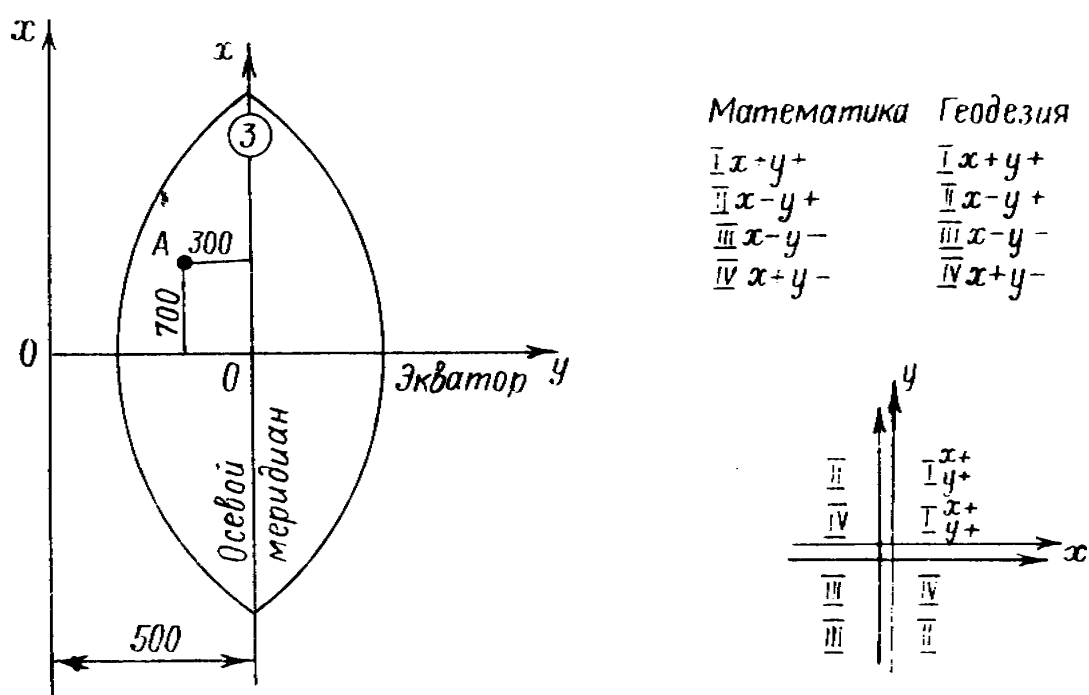


Рис. 38

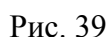
Для территории РФ, расположенной в северном полушарии, абсциссы x везде положительны, а ординаты y могут быть и положительными, и отрицательными, например, для точки A (см. рис. 38) $x_A = 700$ км; $y_A = -300$ км. Отрицательные ординаты затрудняют обработку геодезических материалов. Чтобы избежать этого, ординату осевого меридиана принимают не за 0, а за 500 км. Следовательно, к ординатам всех точек зоны прибавляется эта условная величина (500 км), и теперь $y_A = -300 + 500 = 200$ км.

Дополнительно в записи ординаты точки указывают номер зоны в связи с тем, что во всех шестидесяти зонах системы координат одинаковые. Следовательно, значение координат точки необходимо дополнить номером зоны, в которой эта точка находится. Этот номер приписывается впереди

Таким образом, ординаты точек получают преобразования и соответственно называются преобразованными. Для определения местоположения точки в зоне следует, зная ее координаты, действовать в обратном порядке: убрать из записи ординаты номер зоны и вычесть 500 км.

Освоение обозначений систем координат на учебной топографической
карте масштаба 1:10 000 и определение координат точек

Географическая система координат. Лист карты окаймляют три рамки: внутренняя, минутная и внешняя. Внутренняя рамка имеет форму трапеции (что наглядно видно на картах более мелкого масштаба). Эта рамка образована отрезками меридианов и параллелей, непосредственно ограничивающих картографическое изображение. На выходах этих линий в углах рамки указаны соответствующие значения широты и долготы. Так, на рис. 39,*а* лист карты ограничен по долготе $14^{\circ}11'15'' - 14^{\circ}15'00''$ и по широте $54^{\circ}17'30'' - 54^{\circ}20'$.



Минутная рамка с обозначением определенного интервала широт и долгот служит для более точного измерения географических координат точек на карте. Минутные и полуминутные интервалы отмечены утолщенными линиями, десятисекундные интервалы – точками. Соответственно на рисунке начало первых утолщенных линий определяет точку с долготой $\lambda = 14^{\circ}12'$ и с широтой $\varphi = 54^{\circ}18'$. Внешняя рамка имеет декоративное назначение.

Широта φ_B и долгота λ_B точки B , заданной на карте, определяется параллелью и меридианом, проходящим через эту точку. Для определения φ_B и λ_B , без построения линий параллели и меридиана через данную точку, следует соединить прямыми линиями одноименные концы минутных или десятисекундных интервалов, далее применить линейную интерполяцию, для чего положить линейку с миллиметровыми делениями так, чтобы отсчитать отрезки a и b (рис. 39, б). Тогда

$$\varphi_B = \varphi_1 + \Delta\varphi = \varphi_1 + (\varphi_2 - \varphi_1) \frac{a}{b}.$$

На рис. 38,а для точки B $\varphi_1 = 54^{\circ}19'40''$; $\varphi_2 = 54^{\circ}19'50''$; $\varphi_B = 54^{\circ}19'40'' + 10'' \frac{8}{10} = 54^{\circ}19'48''$. Аналогично, проведя меридианы λ_1 и λ_2 (рис. 39, б), определите долготу λ_B . Для контроля φ и λ нужно вычислять дважды, при двух различных положениях линейки, т.е. при различных значениях отрезков a и b . Далее следует определить географические координаты двух точек. Вначале определите координаты точек на глаз, затем для одной из точек уточните координаты по приведенному выше способу (для соединения одноименных интервалов потребуется линейка длиной более 40 см).

Прямоугольная система координат Гаусса–Крюгера. В этой системе координаты на листе карты представлены сеткой квадратов (см. рис. 39, а). Размер квадрата должен быть кратным целому числу километров, поэтому сетка называется километровой (линии сетки 1, 2 на рис. 39, а).

Абсциссы x , за начало отсчета которых принимают линию экватора, подписаны у горизонтальных линий, при этом сотни километров приводятся не у всех линий. Например, абсцисса 6019 выписана полностью, у абсциссы 6020 приведена только цифра 20 («сокращенная абсцисса»). Система надписей у ординат аналогична, при этом ординаты точек указываются преобразованными.

При обозначении квадратов километровой сетки применяются сокращенные координаты (квадраты 22/48; 21/49 и т.д. на рис. 39, а).

Для получения значений координат точки D измеряют отрезки $\Delta x_{\text{ю}}$ и $\Delta y_{\text{з}}$, от южной и западной сторон квадрата километровой сетки. Для контроля проводят аналогичные измерения от северной и восточной сторон квадрата: $\Delta x_{\text{с}}$ и $\Delta y_{\text{в}}$.

Сторона километровой сетки равна 1000 м, и потому разности $f_x = (\Delta x_{\text{ю}} + \Delta x_{\text{с}}) - 1000$ и $f_y = (\Delta y_{\text{з}} + \Delta y_{\text{в}}) - 1000$ представляют собой погрешности в определении координат. Точность измерения считается достаточной, если f_x и f_y [м] не превосходят числа тысяч в знаменателе численного масштаба карты. В этом случае f_x и f_y распределяются с обратным знаком, пропорционально измеренным величинам Δx и Δy .

Пусть для точки D (квадрат 22/50) получено: $x_D = 6022,75$ км и $y_D = 3450,32$ км. Действительное значение ординаты будет $y_{D\text{действ}} = 450,32 - 500 = -49,68$ км¹. Точка D расположена в 3-й зоне, находится западнее осевого меридиана (рис. 39, в).

Упражнения. Найдите координаты двух точек при условии первоначального определения на глаз. Затем для одной точки уточните координаты измерениями, определите по приведенному ранее способу погрешности и распределите их. Для этой же точки вычислите действительное значение ординаты, покажите ее местоположение на схеме зоны.

10. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ, ПЛАНОВ И КАРТ

Для ориентирования карты достаточно ориентировать линию, принадлежащую данной карте.

Для того чтобы ориентировать линию, надо знать угол ориентирования, т.е. тот угол, который данная линия составляет с направлением, принятым за начальное.

В географической системе за начальное направление принято северное направление географического меридиана (рис. 40, 41) и углами ориентирования являются географический азимут A и географический румб $r_{\text{Г}}$.

¹ В прямоугольной системе значение координат принято выражать в метрах. При проведении измерений в данном случае допускается выражать координаты в километрах.

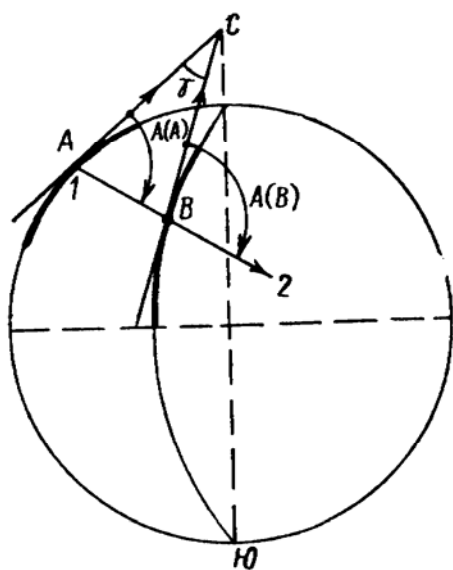


Рис. 40

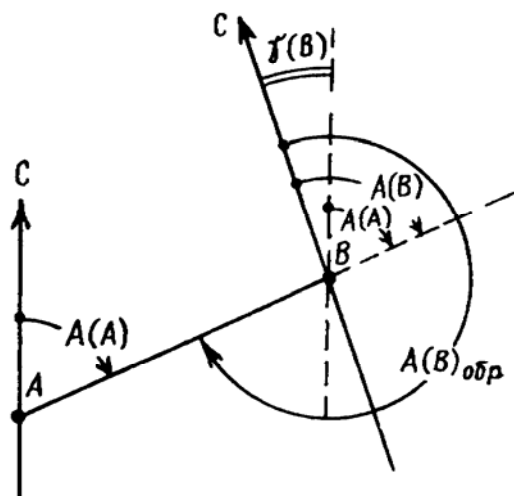


Рис. 41

Географический азимут – угол, отсчитываемый от северного направления географического меридиана по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии. Изменяется от 0 до 360°.

Но географические меридианы в разных точках сфероиды не параллельны между собой, поэтому азимут одной и той же линии (см. рис. 40, линия 1–2) в различных ее точках будет различен (азимут $A_{(A)}$ в точке A не равен азимуту $A_{(B)}$ в точке B). Это различие определяет угол γ , который называется сближением меридианов: $\gamma = A_{(B)} - A_{(A)}$ (см. рис. 40, 41).

В геодезии пользуются терминами: прямое направление линии и обратное. Так, если исходное направление линии – направление AB (см. рис. 41), то обратное направление – направление BA . Соответственно азимут линии AB будет прямым, линии BA – обратным (т.е. $A_{(A)}$, $A_{(B)}$ – азимуты прямые, $A_{(B)обр}$ – азимут обратный). Зная азимут прямой в точке $A_{(A)}$ и сближение меридианов $\gamma_{(B)}$, можно вычислить азимут обратный в точке B . В данном случае $A_{(B)обр} = A_{(A)} + 180^\circ + \gamma_{(B)}$.

Расчет показал, что для средних широт при расстояниях между точками менее 0,5 км сближение меридианов менее 30". В строительной практике такая погрешность (30") в определении направлений считается допустимой, и тогда при $l < 0,5$ км в общем случае $A_{обр} = A_{пр} \pm 180^\circ$.

На рис. 39,а показан географический азимут для линии BC (пунктирная линия – направление географического меридиана в точке B).

Географический румб – острый угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением географического меридиана (северным или южным). Румб может иметь значения от 0 до 90°. Связь румбов и азимутов показана на рис. 42. Числовые значения румба необходимо сопровождать названием четверти, в которой находится линия. Например, для линии MN_1 румб составит $r = СВ: 56^{\circ}15'$, для линии MN_3 $r = ЮЗ: 31^{\circ}26'$ и т.д.

Обратные румбы отличаются от прямых названием, их угловая величина не меняется. Так, если прямой румб $r = СВ: 50^{\circ}15'$, то обратный румб $r = ЮЗ: 50^{\circ}15'$.

В системе плоских прямоугольных координат за начальное направление принято северное направление осевого меридиана (рис. 43), и углами ориентирования являются дирекционный угол α и дирекционный румб r . Соответственно в пределах зоны сближения меридианов γ есть угол, образованный направлением осевого меридиана и направлением географического меридиана данной точки.

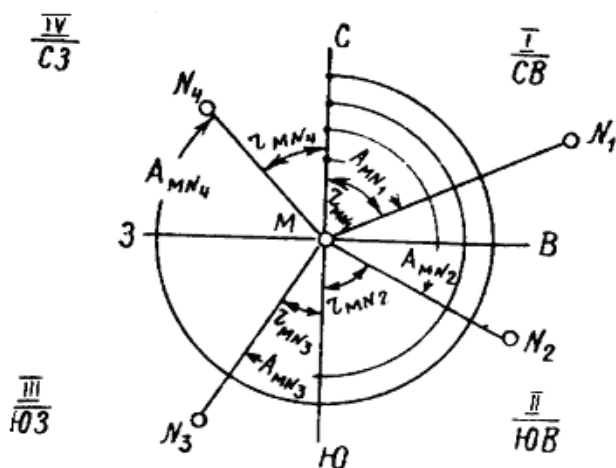


Рис. 42

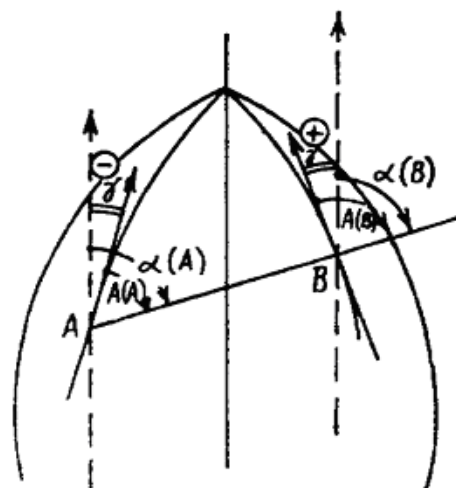


Рис. 43

Дирекционный угол – угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии. Изменяется от 0 до 360°.

Дирекционный угол в разных точках прямой – величина постоянная, и соответственно обратный дирекционный угол равен: $\alpha_{обр} = \alpha_{пр} + 180^{\circ}$.

Зная географический азимут, можно вычислить дирекционный угол, и наоборот. Если считать для точек, расположенных восточнее осевого меридиана, сближение γ со знаком плюс (см. рис. 43), а западнее – со знаком минус, то во всех случаях $A = \alpha + \gamma$.

На топографических картах дается значение γ для средней точки листа карты. При решении задач следует иметь в виду, что для карт $M \frac{1}{5000}$ и $M \frac{1}{10000}$ сближение меридианов изменяется на $30'$.

Дирекционный румб – острый угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением осевого меридиана или линии, ему параллельной изменяется от 0 до 90° . Связь между румбами и дирекционными углами такая же, как и в географической системе.

На топографической карте представлены географическая система и система плоских прямоугольных координат. Соответственно направления линий характеризуются географическими азимутами или дирекционными углами.

В тех случаях, когда необходимо ориентировать карту на местности, или линию местности определенного направления отобразить на карте или плане, или решить другие аналогичные задачи, т.е. «перейти от карты к местности», и наоборот, во многих случаях ориентируются относительно магнитного меридиана, направление которого определяется магнитной стрелкой.

При ориентировании относительно *магнитного меридиана* за начальное направление принято северное направление магнитного меридиана (рис. 44) и углами ориентирования являются магнитный азимут A_m и магнитный румб r_m .

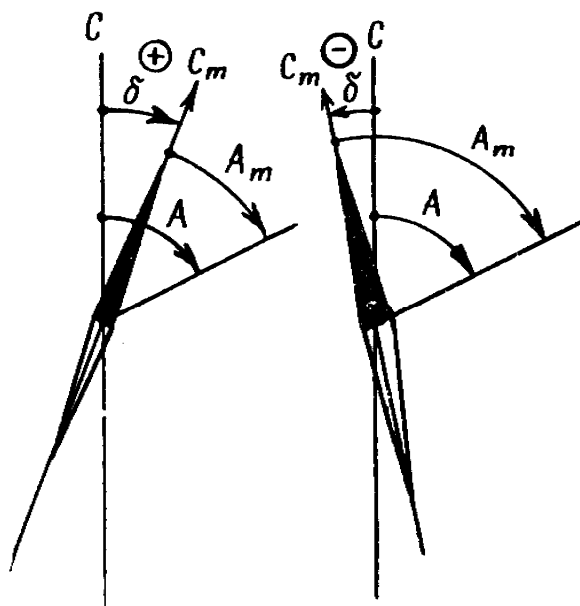


Рис. 44

Магнитный азимут – угол, отсчитываемый от северного направления магнитного меридиана, по ходу часовой стрелки до ориентируемой линии.

Магнитный меридиан, как правило, не совпадает с географическим. Угол, образованный этими меридианами, называется магнитным склонением δ (см. рис. 44). Приписывая восточному склонению знак плюс, а западному минус, во всех случаях получаем: $A = A_m + \delta$.

Магнитное склонение – величина не постоянная, известны его суточные, годовые и вековые изменения. В частности, суточное изменение в средней полосе территории РФ достигает 15' и больше, следовательно, ориентирование линий относительно магнитного меридиана возможно в тех случаях, когда не требуется высокой точности. Есть районы, где вообще нельзя пользоваться показаниями магнитной стрелки. Уточненную величину магнитного склонения можно узнать на метеостанциях и по специальным картам, его среднее значение приводится на топографических картах.

Магнитный румб – острый угол между ориентируемой линией и ближайшим направлением магнитного меридиана. Связь между магнитными румбами и азимутами такая же, как и в географической системе.

Схема связи дирекционных углов и азимутов приведена на рис. 45, а,б. Их аналитические зависимости: $A = \alpha + \gamma$; $A = A_m + \delta$.

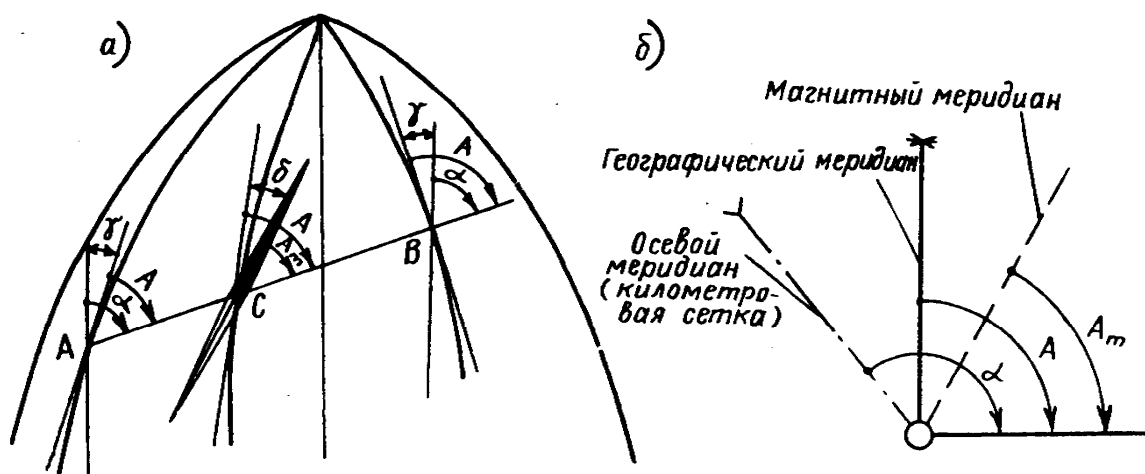


Рис. 45

Ориентирование карты осуществляется при помощи двух приемов (см. рис. 39, а).

1. Приложив буссоль (компас) к боковой линии рамки карты (т.е. к линии географического меридиана), следует поворачивать карту до тех пор, пока по северному концу магнитной стрелки не будет получен отсчет, равный магнитному склонению δ .

2. Приложив буссоль к линии километровой сетки (т.е. к направлению осевого меридиана), поворачивают карту до получения отсчета, равного поправке Π (включающей δ и γ): $\Pi = \delta - \gamma$.

Практическая часть

Определение географического азимута. В пределах квадрата километровой сетки проведите в средней части карты линию EF (см. рис. 39, a). Для определения азимута необходимо иметь на карте направление географического меридиана. Как и ранее, построение меридиана, ближайшего к точке E , производится соединением одинаковых долгот южной и северной рамок карты (линия MN на рис. 39, a). Продлив линию EF до пересечения с линией MN (в точке E), измерьте геодезическим транспортиром географический азимут линии. По измеренному азимуту вычислите румб линии и запишите его в принятой форме. Вычислите обратный азимут и обратный румб той же линии.

Определение дирекционного угла. Для определения дирекционного угла той же линии EF следует продлить ее до пересечения с вертикальной линией километровой сетки, измерить по транспортиру угол α . Вычислите сближение меридианов по зависимости $\gamma = A - \alpha$, сопоставьте с величиной сближения, приведенного на схеме, расположенной за южной рамкой карты. Проанализируйте полученные результаты (по величине и знаку).

Ориентирование карты по магнитному меридиану. Для такого ориентирования применяется буссоль. Основные поверки буссоли следующие.

1. Магнитная стрелка должна быть хорошо намагничена. Освободив стрелку и дав ей успокоиться, делают отсчет. Затем к стрелке буссоли подносят железный предмет (ключ, отвертку и т. п.) и отводят стрелку на $10\text{--}20^\circ$. Быстрым движением убирают предмет в сторону, стрелке дают успокоиться и делают второй отсчет. Если отсчеты совпадают, а стрелка останавливается после небольших колебаний, то условие выполнено.

2. Магнитная стрелка должна быть уравновешена. Буссоль устанавливают в горизонтальное положение. Если концы стрелки находятся на одинаковых расстояниях от верхней плоскости кольца буссоли, то условие выполнено. Убедившись в исправности буссоли, ориентируйте карту обоими способами.

Измерение дирекционного угла и вычисление географического и магнитного азимута. Для прямолинейного отрезка автомобильной или железной дороги измерьте по транспортиру дирекционный угол. Возьмите со схемы, приведенной на карте, величины сближения и склонения, вычислите географический и магнитный азимуты. По полученным данным вычислите румбы, запишите их в принятой форме.

11. НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

11.1. Разграфка и номенклатура топографических карт

Топографические карты обычно составляются на множестве листов. Территория всей страны изображается на них по частям. Размеры листов карты устанавливают такой величины, чтобы ими было удобно пользоваться. Так, лист карты масштаба 1:10000 для средней полосы РФ имеет размеры примерно 50×40 см и содержит изображение участка местности площадью 20 км^2 . Для всей территории страны число листов карты такого масштаба превышает 1 млн.

Для того чтобы можно было разобраться в таком количестве картографических материалов и быстро найти нужный лист карты определенного участка местности, разработана специальная система обозначения листов карты – *номенклатура*.

За основу разграфки и номенклатуры листов топографических карт принята разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000. Схема такой разграфки приведена на рис. 46.

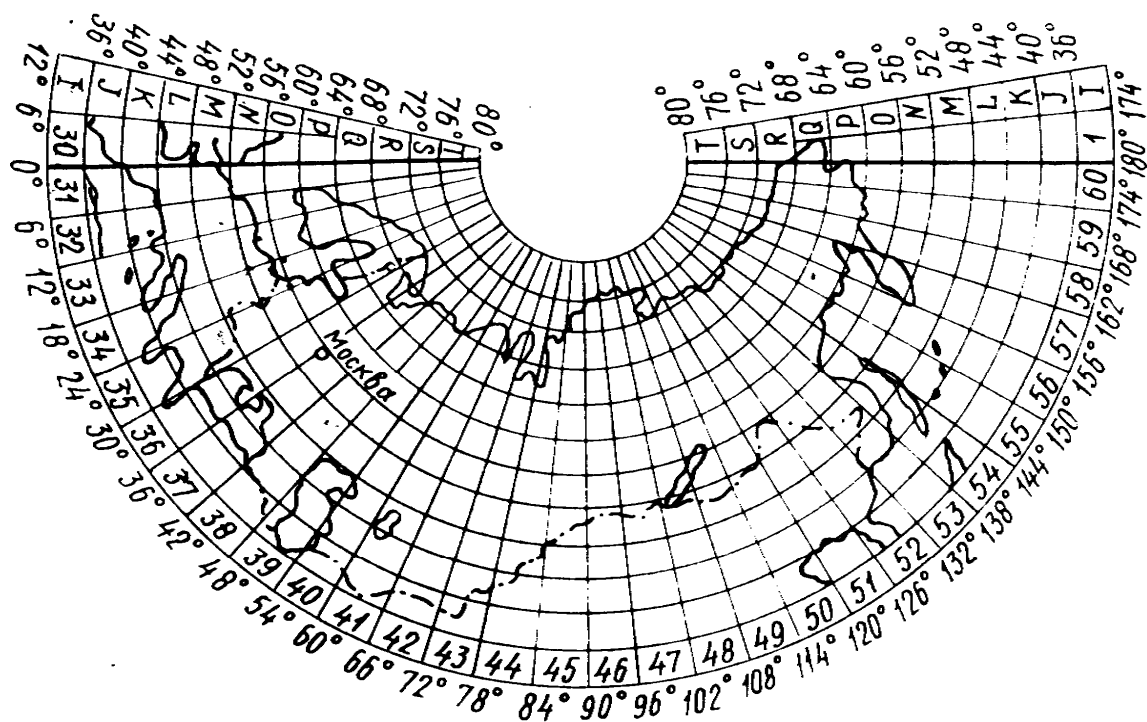


Рис. 46

Поверхность земного шара делится параллелями, начиная от экватора, к северу и югу через 4° на ряды и меридианами через 6° на колонны, начиная от меридиана с долготой 180° . Ряды обозначаются прописными буквами латинского алфавита от *A* до *V*, от экватора к северу и югу. Колонны нумеруются арабскими цифрами, начиная от меридиана с долготой 180° , с запада на восток. Таким образом, поверхность Земли разделена на сферические трапеции с размерами сторон по широте 4° и по долготе 6° . Каждая трапеция представляет собой участок местности, изображаемый на листе карты масштаба 1:1 000 000. Номенклатура этих листов образуется из буквы, которой обозначен ряд, и из цифры номера колонны. Например, лист карты масштаба 1:1 000 000 на территорию Санкт-Петербурга имеет номенклатуру *O-36*, Москвы – *N-37*.

Разграфка листов карты масштаба 1:500 000 производится путем деления средним меридианом и средней параллелью листа карты масштаба 1:1 000 000 на четыре части, которые обозначаются прописными буквами русского алфавита. Номенклатура листов карты масштаба 1:500 000 складывается из номенклатуры листа карты масштаба 1:1 000 000, частью которого он является, и соответствующей буквы.

Разграфка листов карт масштабов 1:200 000 и 1:100 000 производится путем деления каждого листа карты масштаба 1:1 000 000 меридианами и параллелями соответственно на 36 и 144 части (рис. 47). Листы карт масштаба 1:200 000 нумеруются римскими цифрами, масштаба 1:100 000 – арабскими цифрами по рядам с запада на восток.

Номенклатура листов карт указанных масштабов состоит из номенклатуры соответствующего миллионного листа и собственного номера, который у листов карт масштабов 1:200 000 и 1:100 000 указывается справа от номенклатуры миллионного листа. Например, листы карт масштабов 1:200 000 и 1:100 000 (заштрихованные на рис. 47), имеют номенклатуры соответственно *N-37-VI* и *N-37-134*. Листы карты масштаба 1:50 000 получают путем деления листов карты масштаба 1:100 000 на четыре части (см. рис. 47), обозначаемые прописными буквами русского алфавита. Размеры листа по широте составляют $10'$, по долготе – $15'$. Номенклатура этих листов образуется путем присоединения к номенклатуре листа масштаба 1:100 000 соответствующей буквы, например *N-37-134-Б*.

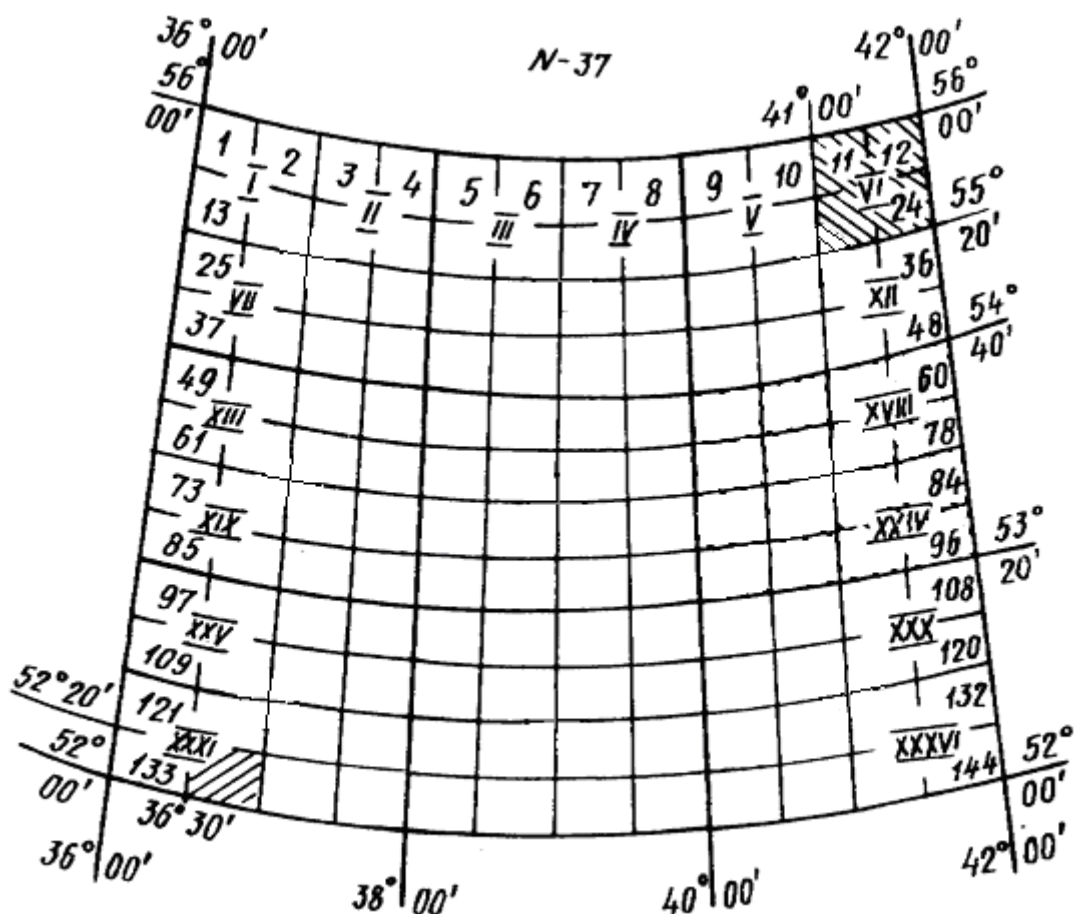


Рис. 47

Листы карты масштаба 1:25 000 получают делением листов карты масштаба 1:50 000 на четыре части (рис. 48), каждая из которых обозначается строчными буквами русского алфавита. Размеры этих листов по широте составляют 5', по долготе – 7'30", а номенклатура дополняется соответствующей буквой: N-37-134-Б-в.

Лист карты масштаба 1:25 000 делится на четыре листа карты масштаба 1:10 000, каждый из которых имеет размеры по широте 2'30", по долготе 3'45". Они обозначаются арабскими цифрами, которые указываются после номенклатуры листа карты масштаба 1:25 000, частью которого они являются, например N-37-134-Б-в-2.

Разграфка листов карты масштаба 1:5000 производится путем деления листов карты масштаба 1:100 000 на 256 частей (16 рядов по широте и долготе). Листы нумеруют арабскими цифрами по рядам с запада на восток. Размер каждого листа по широте 1'15", по долготе 1'53,5". Номенклатура этих листов образуется путем присоединения к

номенклатуре листа карты масштаба 1:100 000 соответствующего номера в скобках, например: N-37-134-(16).

Листы карты масштаба 1:2000 получают путем деления листов карты масштаба 1:5000 на девять частей и обозначают строчными буквами русского алфавита, например N-37-134-(16-ж). Размер каждого листа по широте 25", по долготе 37,5".

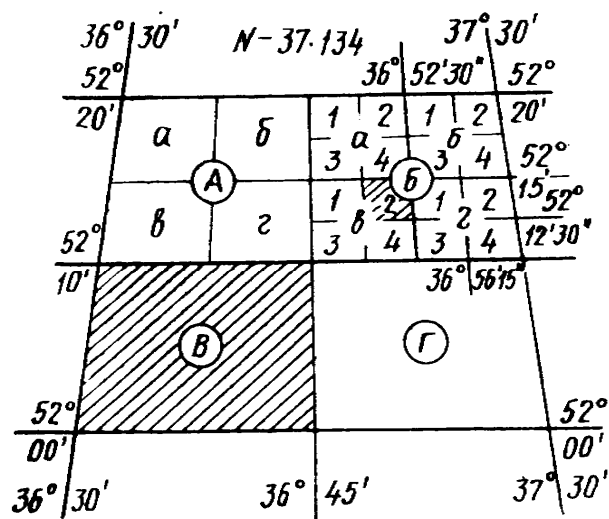


Рис. 48

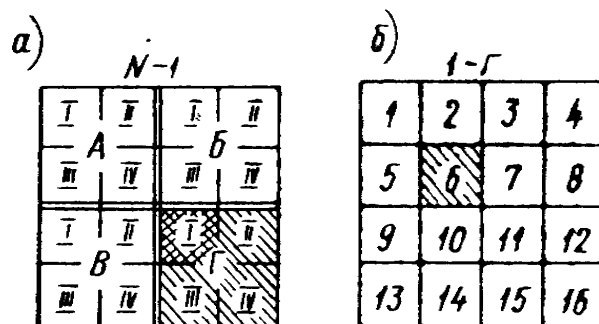


Рис. 49

Топографические съемки в крупных масштабах на участках площадью менее 20 км² выполняются в частных системах прямоугольных координат, не связанных с географической системой. Разграфка листов планов в этих случаях производится не меридианами и параллелями, а линиями координатной сетки. Листы имеют форму квадратов с размерами 40 × 40 см для планов масштаба 1:5000 и 50 × 50 см для планов масштабов 1:2000 – 1:500. За основу разграфки принимается лист плана масштаба 1:5000, обозначаемый арабскими цифрами.

Листу плана масштаба 1:5000 соответствуют 4 листа в масштабе 1:2000, обозначаемые прописными буквами русского алфавита. Лист плана в масштабе 1:2000 делится на 4 листа планов масштаба 1:1000, обозначаемых римскими цифрами (рис. 49, а), и 16 листов планов масштаба 1:500, обозначаемых арабскими цифрами (рис. 49, б). Так, заштрихованный на рис. 49, а лист Г масштаба 1:2000 будет иметь номер I-Г. Там же – лист масштаба 1:1000, заштрихованный двойной штриховкой и обозначенный римской цифрой I, имеет номер I-Г-I. Номер листа карты масштаба 1:500, заштрихованного на рис. 49, б, – I-Г-6.

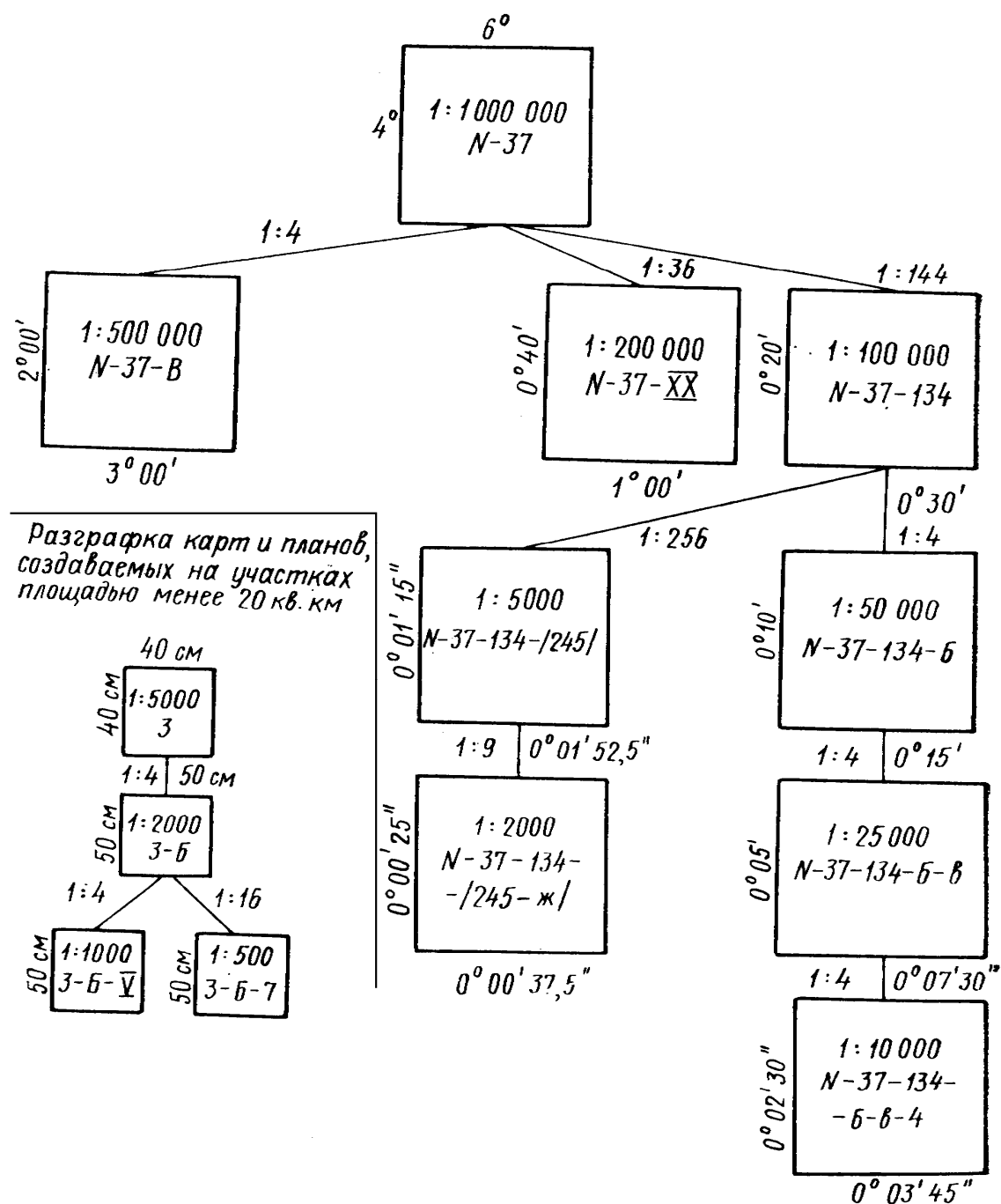


Рис. 50

На рис. 50 представлена общая схема разграфки и номенклатур топографических карт, принятая в РФ. Возможны также другие системы обозначения планов крупного масштаба при выполнении съемок объектов строительства. В этих случаях за рамками листов планов указываются принятые схемы их разграфки и нумерации.

11.2. Определение номенклатуры топографической карты

Подготовка к проектным работам обычно начинается с подбора топографических карт для района будущего строительства. По мелкомасштабной карте определяются географические координаты центральной точки объекта стройки и, исходя из рассмотренной схемы разграфки, устанавливается номенклатура листа (или листов) карты определенного масштаба.

Допустим, требуется установить номенклатуру листа карты масштаба 1:10 000, на котором расположена точка M с координатами $\varphi = 54^{\circ}41'$; $\lambda = 18^{\circ}05'$. Согласно схеме разграфки топографических карт (см. рис. 50), задача заключается в последовательном определении номенклатуры листов карт масштабов 1:1 000 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 и, наконец, 1:10 000. По схеме на рис. 45 определяем, что данная точка расположена в ряду, обозначенном буквой N (между параллелями с широтами 52 и 56°), и в колонне с номером 34 (между меридианами с долготами 18 и 24°). Следовательно, лист карты масштаба 1:1 000 000 имеет номенклатуру $N-34$. Затем вычертим схему этого листа, аналогичную изображенной на рис. 51, *а*. Выпишем широту и долготу рамок этого листа с рис. 46 (по широте 52 и 56° , по долготе 18 и 24°). Разделим схему листа карты масштаба 1:1 000 000 на 144 части и пронумеруем их. Обозначим широты параллелей, которые будут возрастать, через $20'$, и долготы меридианов которые будут возрастать – через $30'$. Очевидно, что точка M с заданными координатами будет расположена в пределах листа с номером 37 . Следовательно, лист карты масштаба 1:100 000, на котором находится данная точка, имеет номенклатуру $N-34-37$.

Составим схему этого листа (произвольных размеров) в соответствии с координатами его рамок и разделим средними меридианом и параллелью на четыре части (рис. 51, *б*). Обозначим каждую часть прописными буквами русского алфавита и найдем координаты средних линий. Точка с заданными координатами, согласно составленной схеме, находится в пределах листа карты масштаба 1:50 000, обозначаемого буквой B ; номенклатура этого листа $N-34-37-B$.

Затем последовательно вычертим схемы листов карты масштаба 1:25 000 (рис. 51, *в*) и искомой карты масштаба 1:10 000 (рис. 51, *г*), по которым определим номенклатуры $N-34-37-B-в$ и $N-34-37-B-в-4$.

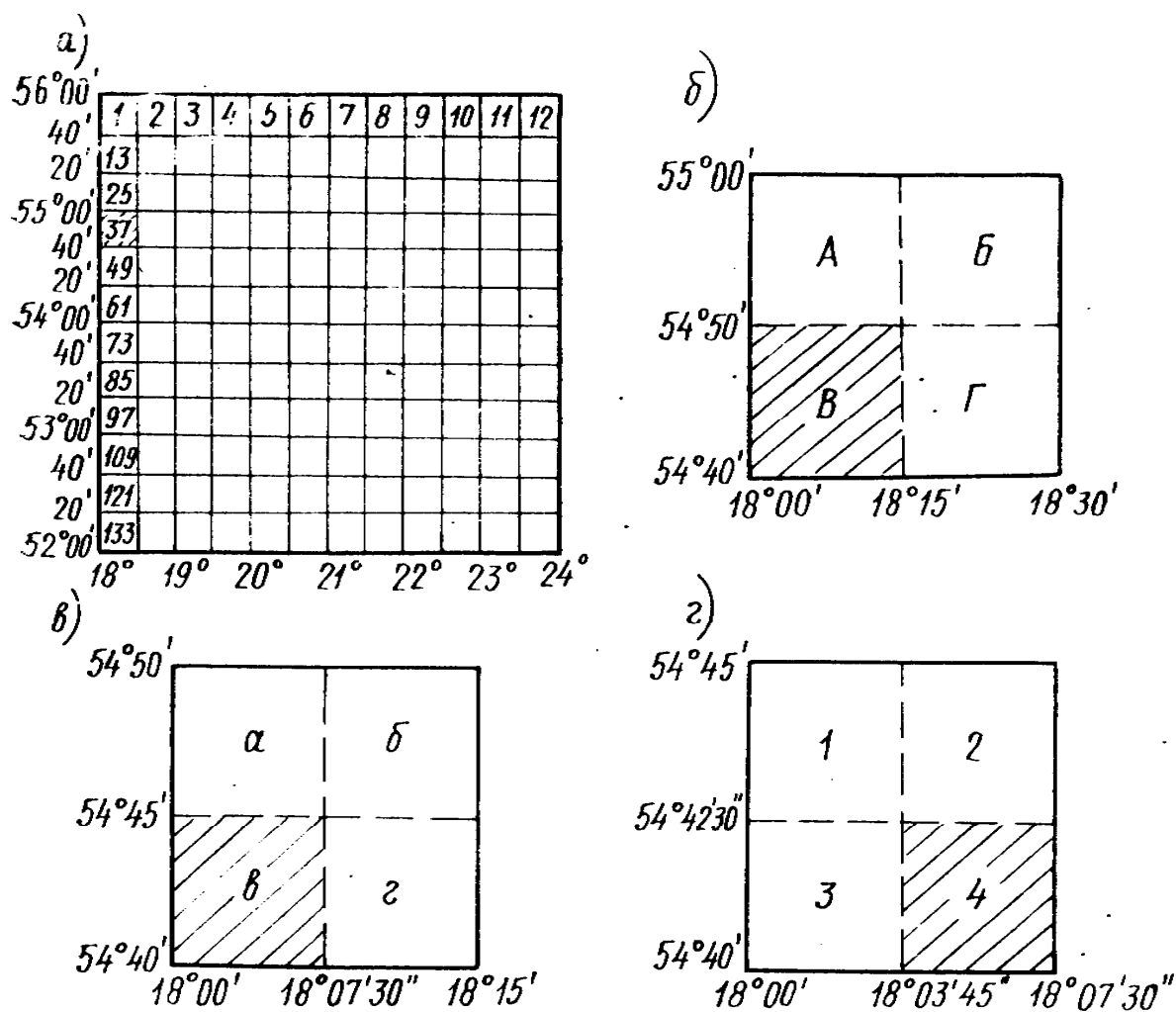


Рис. 51

Упражнение. Определите номенклатуру листов карт масштабов 1:100 000 и 1:2000, на которых расположена одна из точек, заданных географическими координатами:

$$\varphi = 44^{\circ}21'; \quad \varphi = 53^{\circ}02';$$

$$\varphi = 54^{\circ}41'; \quad \varphi = 61^{\circ}31';$$

$$\lambda = 110^{\circ}01'; \quad \lambda = 31^{\circ}23';$$

$$\lambda = 18^{\circ}04'; \quad \lambda = 76^{\circ}51'.$$

12. ПЛАН ПО МАТЕРИАЛАМ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Исходными полевыми материалами для составления плана (рис. 52) являются следующие.

1. Съёмочная сеть – сомкнутый теодолитный ход с шестью углами поворота, без привязки к государственной плановой сети. Условные координаты вершины угла № 1 и дирекционный угол исходной линии 1–2 приведены в табл. 3 (по вариантам).

Полевые геодезические измерения, выполненные при прокладке теодолитного хода, приведены в журнале теодолитного хода (табл. 4). При выполнении работы следует журнал воспроизвести на отдельном листе бумаги и вычислить средние значения углов поворота и длин линий теодолитного хода.

2. Абрисы по линиям 1 – 2 (рис. 53), 2 – 3 (рис. 54), 3 – 4 (рис. 55), 4 – 5 (рис. 56), 5 – 6 (рис. 57), 6 – 1 (рис. 58), на которых ситуация отображена тремя основными способами съёмки: полярных и прямоугольных координат, угловых засечек.

Выполнение работы следует начинать с обработки журнала теодолитного хода (см. табл. 4). Вычисление средних значений горизонтальных углов полигона заканчивается определением угловой невязки $f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}}$ и сравнением ее с невязкой допустимой $f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 1' \sqrt{n}$.

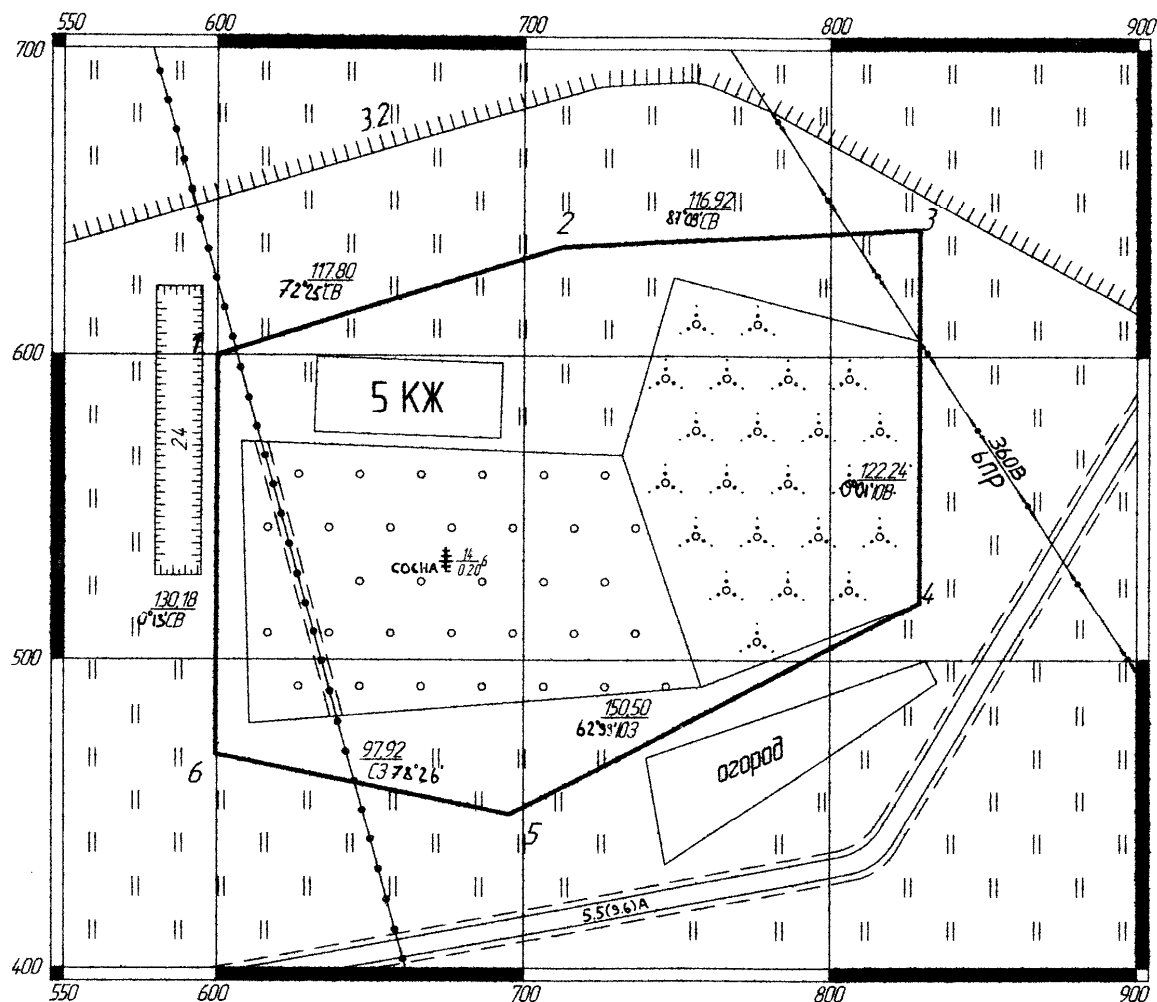
Т а б л и ц а 3

Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7
α_{1-2}	346°21'	27°18'	64°42'	112°31'	192°17'	74°18'	312°45'
X	637,58	421,26	513,25	673,18	326,48	463,72	576,83
Y	417,62	541,68	619,23	779,17	613,42	554,38	411,23

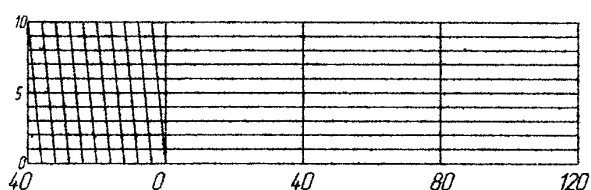
8	9	10	11	12	13	14	15
78°14'	13°27'	117°26'	198°23'	314°26'	76°18'	64°23'	213°17'
425,76	567,13	735,48	629,57	548,67	432,48	396,57	423,96
562,17	693,18	551,23	427,12	517,48	611,23	521,28	611,32

При вычислении средних значений длин линий теодолитного хода вводится поправка за наклон линии при $\nu > 1^\circ 30'$ (линии 3–4 и 4–5). Горизонтальное проложение линии вычисляют по расчетной формуле $d = D \cos \nu$ или определяют поправку за наклон линии ΔD_ν по табл. 5.



М 1:2000

	Координата X	Координата Y
1	600,00	600,00
2	635,61	712,30
3	641,65	829,08
4	519,24	829,12
5	450,14	695,44
6	469,79	599,51



ШТАМП

Рис. 52

Т а б л и ц а 4

Журнал теодолитного хода

Номер точки стояния	Положение вертикального круга	Номер точки визирования	Отсчеты по горизонтальному кругу	Угол первого и второго полуприемов			Среднее из углов			Угол наклона линии	Длина, м		
				°	'	"	°	'	"		Между точками	Первое и второе измерения	Среднее из двух измерений
1	КЛ	6	340°30'								1-2	117,82	
		2	232°42'									117,78	
	КП	6	163°14'										
		2	55°27'										
2	КЛ	1	1°17'								2-3	116,90	
		3	196°03'									116,93	
	КП	1	183°37'										
		3	18°21'										
3	КЛ	2	117°39'								3-4	122,65	
		4	30°29'							3-4		122,70	
	КП	2	295°28'							+4°50'			
		4	208°16'										
4	КЛ	3	16°38'								4-5	150,75	
		5	259°19'							4-5		150,81	
	КП	3	199°43'							+3°30'			
		5	82°24'										
5	КЛ	4	311°17'								5-6	97,90	
		6	176°12'									97,95	
	КП	4	135°26'										
		6	354°20'										
6	КЛ	5	236°47'								6-1	130,14	
		1	135°27'									130,22	
	КП	5	55°38'										
		1	314°17'										

Поправки за наклон линий

Угол наклона	Длины линий, м									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	Поправки, мм									
2°00'	6	12	18	24	30	37	43	49	55	61
2°30'	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95
3°00'	14	27	41	55	69	82	96	110	123	137
3°30'	19	37	56	75	93	112	131	149	168	187
4°00'	24	49	73	97	122	146	171	195	219	244
4°30'	31	62	92	123	154	185	216	247	277	308
5°00'	38	76	114	152	190	229	266	304	342	381

По завершении вычислений в журнале теодолитного хода вычерчивается схема этого хода (рис. 59), на которой приводятся средние значения горизонтальных углов, проложений линий, заданный дирекционный угол линии 1 – 2.

Для определения координат вершин теодолитного хода разрабатывается ведомость координат (табл. 6). Эти координаты получают путем последовательного решения прямой геодезической задачи, исходя из известных (заданных по табл. 3) координат X_1 и Y_2 вершины угла 1, дирекционного угла линии 1 – 2 и полученных после обработки журнала теодолитного хода средних значений горизонтальных углов и длин линий хода. При этом должен обеспечиваться контроль вычислений во всех необходимых случаях.

Последовательность разработки ведомости координат следующая.

1. Вписать в графу 1 ведомости со схемы теодолитного хода номера углов, начиная и заканчивая номером 1 (теодолитный ход сомкнутый).

2. Вписать из журнала теодолитного хода в графу 2 средние значения горизонтальных углов, в нижней части ведомости указать полученную угловую невязку f_β . Распределить эту навязку (с обратным знаком), зафиксировать это распределение в графе 3.

3. Вычислить исправленные значения горизонтальных углов (графа 4). В графы 2 и 4 величину угла 1 вписывать один раз, только в первой строке.

Вычислить сумму исправленных углов $\sum \beta_{\text{испр}}$ – она должна быть равна теоретической сумме внутренних углов полигона, в данном случае $\sum \beta_{\text{испр}} = 180^\circ(n - 2) = 180^\circ(6 - 2) = 720^\circ$.

ВЕДОМОСТЬ
вычисления координат вершин теодолитного хода

Номер углов	Измеренные углы	Поправки к углам	Исправленные углы	Дирекционные углы	Румбы		Длина линии d	Приращения вычисленные				Поправки к приращениям				Приращения исправленные				Координаты			
					Название	Величина		$\pm$	Δx	$\pm$	Δy	$\pm$	δx	$\pm$	δy	$\pm$	Δx	$\pm$	Δy	$\pm$	X	$\pm$	Y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1																							
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
1																							

$$\sum \beta_{\text{изм}} = \sum \beta_{\text{испр}} = P = \sum d = \sum \Delta x(+) = \sum \Delta y(+) = \sum \Delta x(-) = \sum \Delta y(-) =$$

$$\text{Угловая невязка } f_{\beta} = \sum \beta_{\text{изм}} - \sum \beta_{\text{теор}} =$$

$$\text{Невязка хода } f_d = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{\quad} =$$

$$\text{Допустимая невязка } f_{\beta_{\text{доп}}} = 2t\sqrt{n} =$$

$$\text{Относительная невязка } \frac{1}{N} = \frac{f_d}{P} = \frac{1}{\quad} = \frac{1}{\quad} < \frac{1}{2000}$$

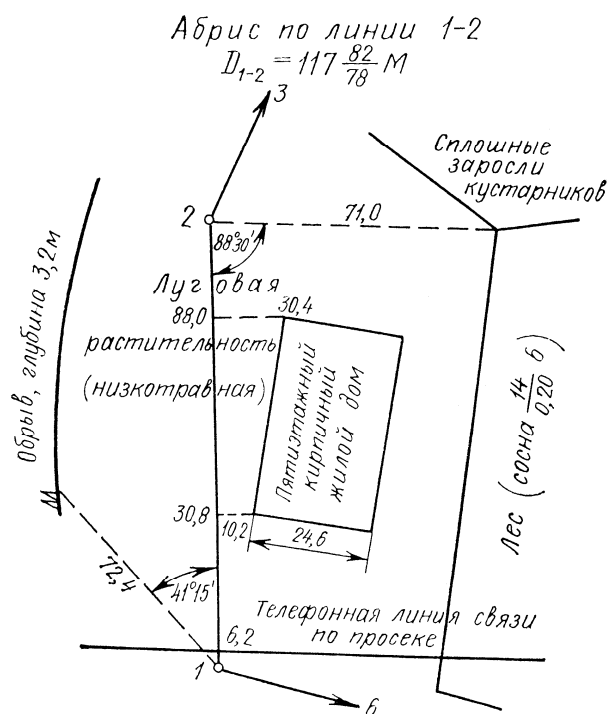


Рис. 53

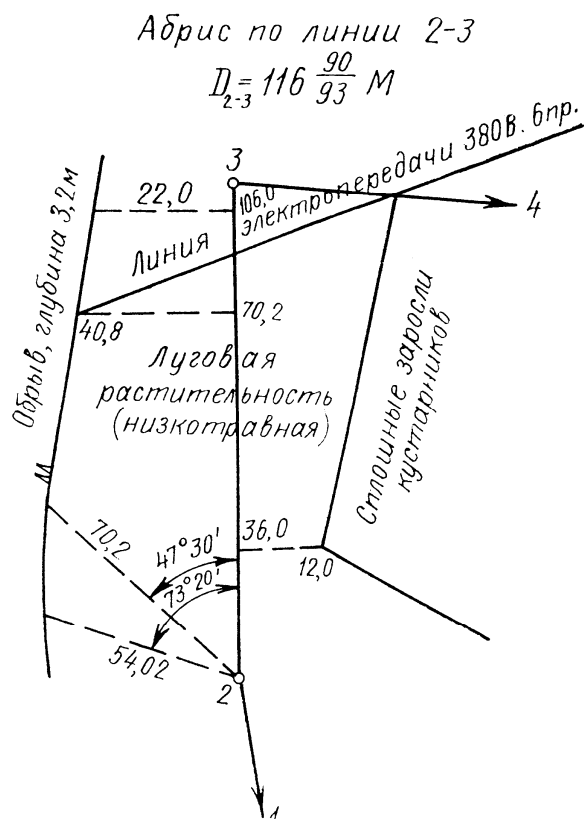


Рис. 54

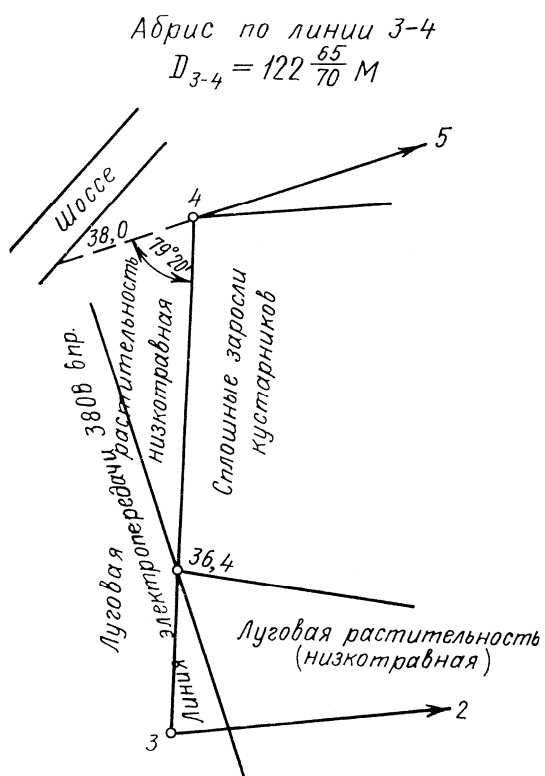


Рис. 55

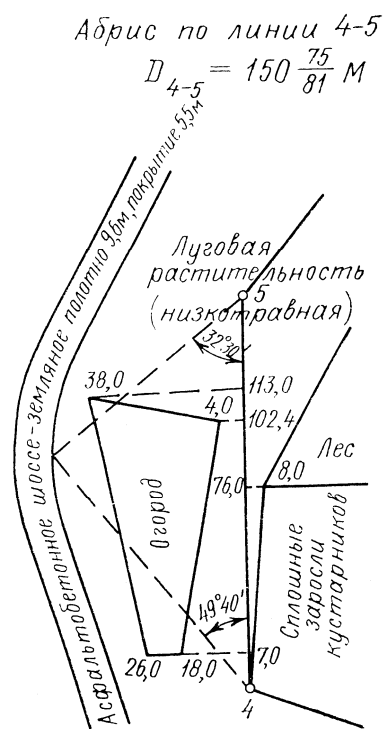


Рис. 56

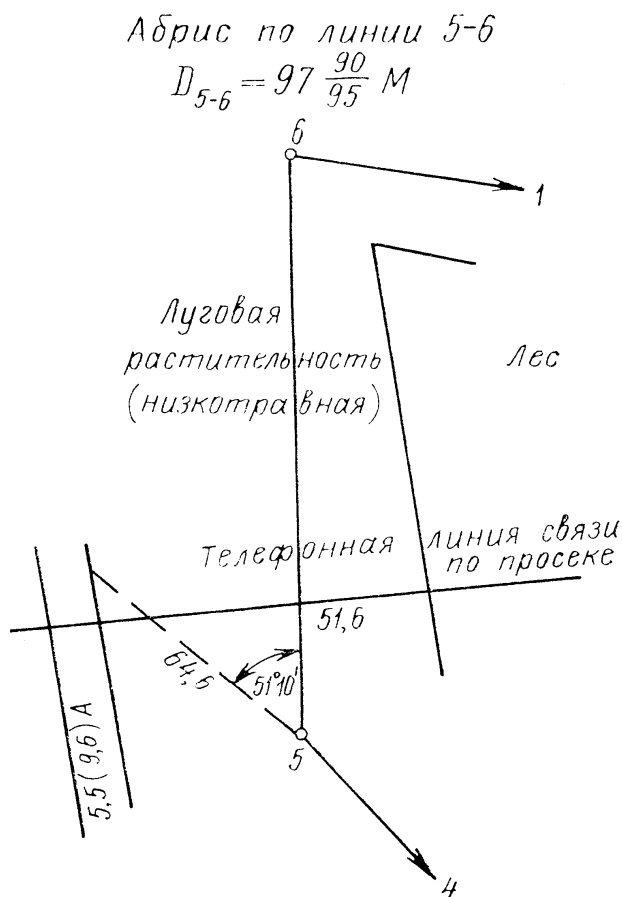


Рис. 57

Абрис по линии 6-1

$$D_{6-1} = 130 \frac{14}{22} \text{ М}$$

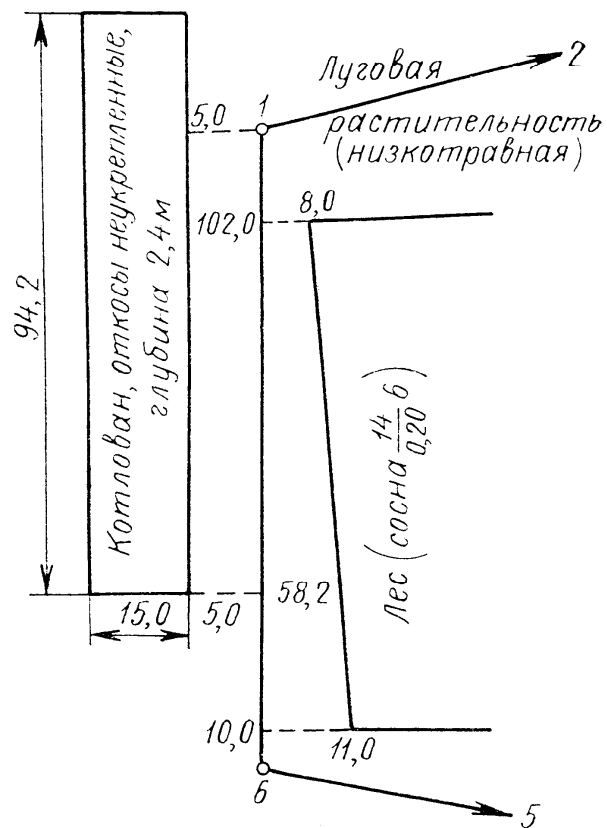


Рис. 58

4. В графу 5 вписать заданный дирекционный угол линии 1 – 2. Так как дирекционный угол относится к линии между соответствующими вершинами хода, то и вписывать его следует в строку, расположенную между этими вершинами.

По заданному дирекционному углу исходной линии 1 – 2 и исправленному внутреннему углу полигона $\beta_{2\text{испр}}$ вычислить дирекционный угол линии 2 – 3:

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{2\text{испр}} \quad (12.1)$$

Вычислить последовательно дирекционные углы всех линий полигона (в необходимых случаях прибавляя или вычитая $360^\circ 00'$). Контролем правильности вычисления дирекционных углов сторон сомкнутого хода является вторичное получение дирекционного угла исходной стороны.

По известным дирекционным углам определить румбы (графы 6, 7), знаки приращений координат (графы 9, 11).

5. Вписать в графу 8 длины линий и вычислить приращения координат: $\Delta x = d \cos r$, $\Delta y = d \sin r$.

При вычислении приращений используют таблицы натуральных значений тригонометрических функций или таблицы приращений координат.

Вычисленные приращения координат, округленные до сотых долей метра, заносят в графы 10 и 12, определяют невязки f_x и f_y , абсолютную невязку в периметре f_d , относительную невязку f_d/P , которая не должна превосходить допустимую невязку (в данной работе 1:2000).

Невязки f_x и f_y распределяют пропорционально длинам сторон, поправки фиксируют в графах 13, 14, 15, 16, вычисляют исправленные приращения координат. Контролем служит равенство сумм исправленных приращений со знаком «плюс» и «минус».

6. Вписать в графы 21 – 24 заданные координаты вершины угла 1, вычислить координаты всех других вершин полигона:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta x_{\text{испр}}; Y_{n+1} = Y_n + \Delta y_{\text{испр}}. \quad (12.2)$$

Контролем правильности вычислений является получение в конце расчета заданных координат угла 1. При выполнении данного условия разработка ведомости координат заканчивается.

Для вычерчивания плана на листе чертежной бумаги размерами А4 (см. рис. 52) обозначаются рамка, штамп, таблица координат вершин углов полигона, строится сетка координат с размерами квадратов 50×50 мм. Графическая точность построения сетки контролируется по сторонам квадратов, по сумме четырех сторон, по диагоналям основного квадрата.

Под сеткой квадратов выписать масштаб плана (1:2000).

После построения сетки квадратов наносят по координатам вершины углов полигона. Для этого необходимо выбрать начало координат так, чтобы участок местности, подлежащий отображению на плане, разместился в пределах сетки квадратов. Для этого из таблицы координат выбирают наибольшие и наименьшие значения координат ($X_{\max}$, $X_{\min}$, $Y_{\max}$, $Y_{\min}$) и, ориентируясь по схеме полигона (см. рис. 59), назначают целесообразные координаты начальной точки сетки координат с

округлением координат до десятков метров. Сетка координат оцифровывается применительно к масштабу плана (1:2000).

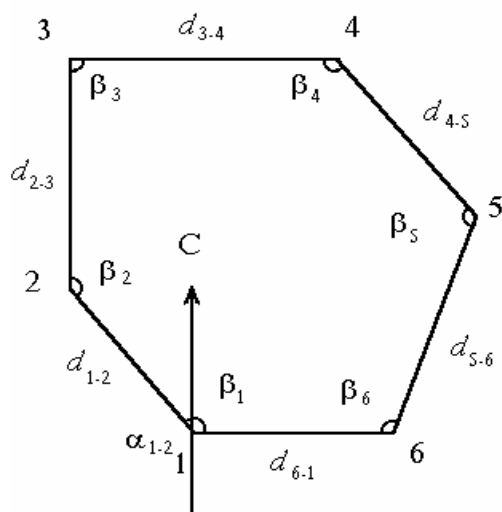


Рис. 59

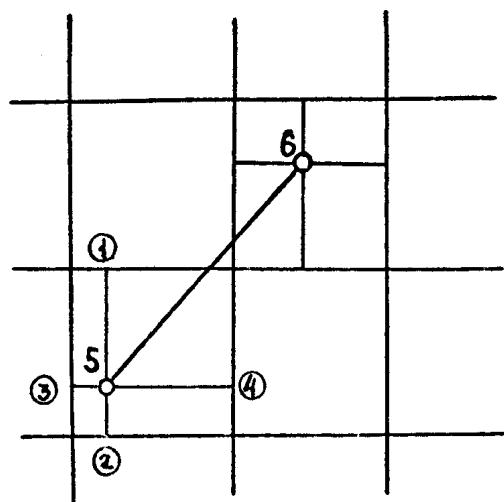


Рис. 60

Для нанесения вершин теодолитного хода определяют квадрат сетки, в котором эта вершина находится, при помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба откладывают по сторонам квадрата (рис. 60) значения разностей координат данной вершины угла и соответствующей линии координатной сетки (точки 1 и 2, 3 и 4). Соединив точки 1 и 2, 3 и 4 получают в пересечении отрезков искомую вершину полигона (например, вершину угла 5). В этой точке иглой циркуля делают накол и вычерчивают условный знак точки плановой съемочной сети. Для каждой пары точек определяют расстояние между ними и сравнивают его с приведенным на схеме полигона (рис. 59) – расхождение не должно превышать 0,3 мм (в масштабе плана).

Построение контуров местности на плане производят по абрисам (см. рис. 53 – 58). Способ вычерчивания контуров определяется способом съемки, при этом применяют геодезический транспортир, поперечный масштаб линейку и выверенный прямоугольный треугольник.

Все построения выполняют предельно тонкими линиями, так как часть этих линий при последующей разработке плана будет заменяться на точечный пунктир, линии вспомогательных построений должны быть убраны. Значения углов и длин линий, приведенные в абрисах, на план не выписывают.

После вычерчивания контуров оформление плана производится в точном соответствии с обязательными условными знаками, т.е. на план наносят в карандаше условные знаки с соблюдением их размеров и начертания согласно действующим «Условным знакам для планов масштаба 1:5000; 1:2000; 1:1000; 1:500».

13. ПРОЕКТ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ (ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ)

Одна из основных частей генерального плана – проект вертикальной планировки застраиваемой территории. Ее целью является преобразование естественных форм рельефа и создание условий для эксплуатации возводимых зданий и сооружений.

Естественный рельеф при строительстве обычно преобразуется путем выполнения земляных работ по специальному проекту вертикальной планировки.

Проектный рельеф может быть задан в виде профилей, проектными горизонталями в сочетании с проектными отметками либо только проектными отметками. Метод профилей трудоемок и поэтому применяется редко. При выполнении данной расчетно-графической работы применяется метод отметок. Строительная площадка должна представлять собой горизонтальную поверхность.

Проектирование горизонтальной площадки обычно производится с соблюдением условия нулевого баланса земляных работ. Под этим условием понимается сведение земляных работ к минимуму и обеспечение равенства объемов выемки и подсыпки.

Основой для проектирования вертикальной планировки служат топографические планы масштабов 1:500–1:5000, составленные по результатам нивелирования стройплощадки по квадратам. Планируемую территорию разбивают на квадраты со сторонами 10, 20, 40 или 50 м в зависимости от сложности рельефа. Фактические высоты вершин квадратов определяют по горизонталям или при помощи геометрического нивелирования. Предполагается, что каждая квадратная призма ограничена вертикальными плоскостями, проходящими через стороны квадратов, плоским основанием и наклонной верхней плоскостью. Высоту призмы принимают равной среднему арифметическому из отметок угловых точек

поверхности. Тогда объем одной призмы равен (см. рис. 52):

$$V = \frac{S_{\Pi}}{4} (H_{b_1} + H_{b_2} + H_{a_1} + H_{a_2}), \quad (13.1)$$

где S_{Π} – площадь основания призмы; H_{b_1}, H_{b_2} и H_{a_1}, H_{a_2} – отметки угловых точек.

Среднюю отметку всего участка с известными отметками углов сетки вычисляют на основании следующих соображений. Отметки углов $a_1, a_2, a_3, \dots$ квадратов, лежащих внутри наружного контура, при вычислениях повторяются четыре раза, и их сумма равна $4\sum H_{a_i}$ (рис. 61).

Далее суммируют отметки H_{b_i} вершин квадратов, расположенных по контуру участка, за исключением отметок H_{c_i} – вершин углов участка, и полученную сумму $\sum H_{b_i}$ удваивают, так как эти отметки входят в два смежных квадрата. Наконец, суммируют отметки H_{c_i} угловых точек участка.

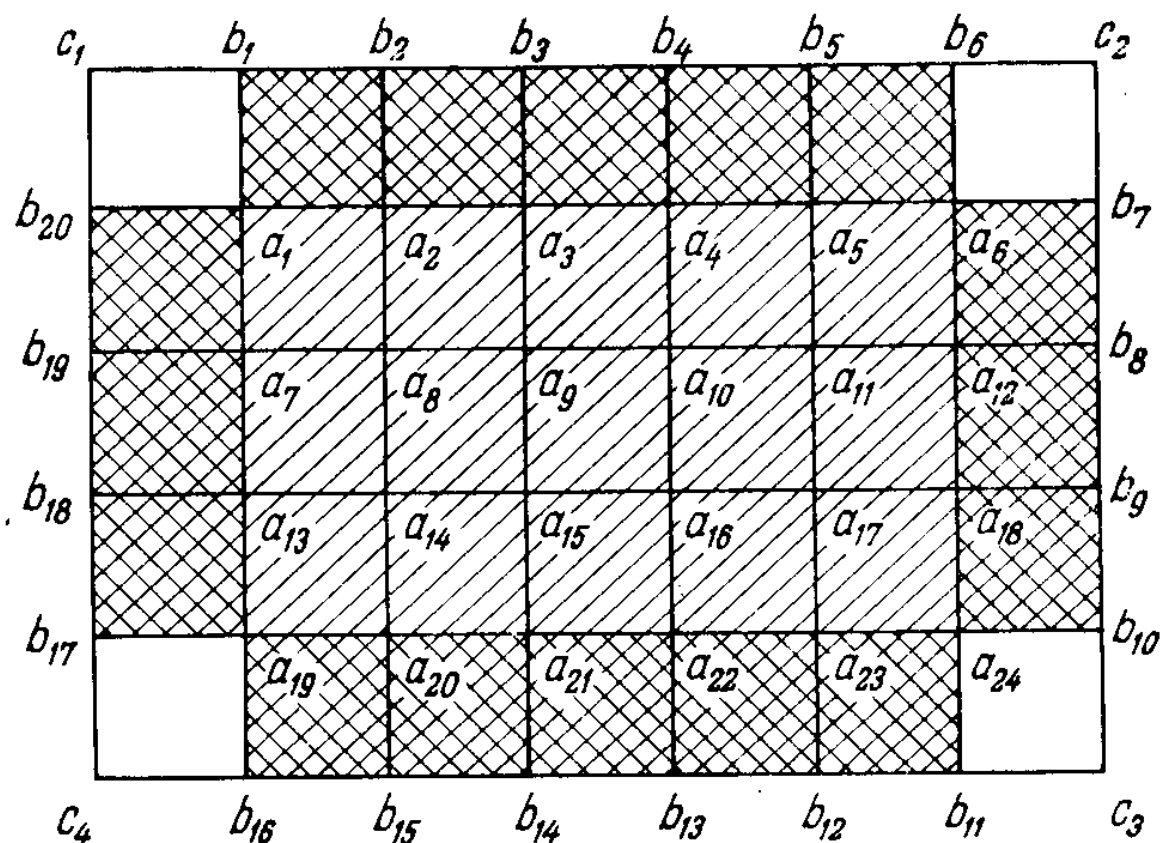


Рис. 61

Средняя отметка H_0 участка вычисляется по формуле:

$$H_0 = \frac{4\sum H_{a_i} + 2\sum H_{b_i} + \sum H_{c_i}}{4n}. \quad (13.2)$$

Если участок включает произвольное, в том числе и нечетное, количество квадратов (рис. 62), а рельеф участка должен быть спланирован горизонтальной площадкой при условии нулевого баланса земляных работ, проектная отметка такой площадки вычисляется по формуле

$$H_{\text{пр}} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4n}, \quad (13.3)$$

где n – общее число квадратов; $\sum H_1$ – сумма черных отметок вершин, входящих только в один квадрат; $\sum H_2, \sum H_3, \sum H_4$ – соответственно суммы отметок вершин, общих для двух, трех и четырех квадратов.

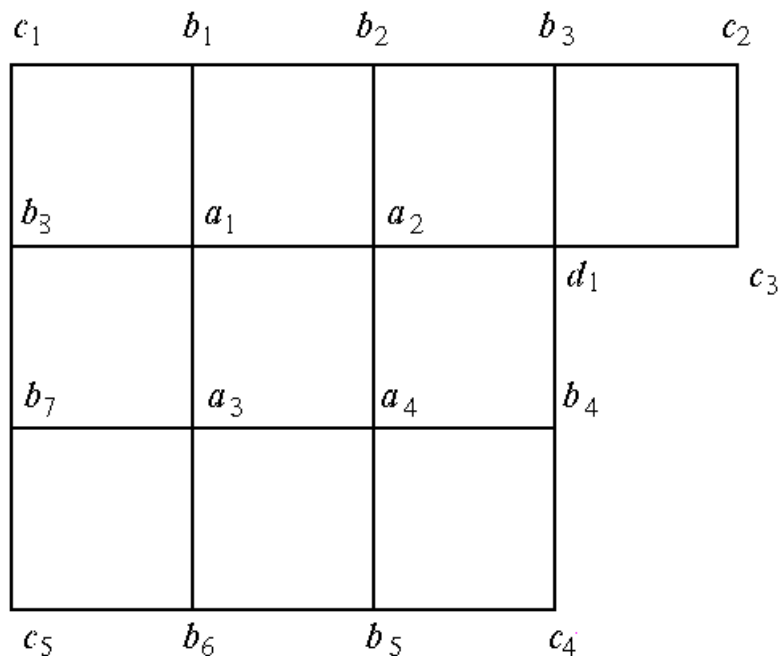


Рис. 62

При горизонтальной площадке $H_{\text{пр}}$ является постоянной величиной для всего участка.

Рабочие отметки всех вершин квадратов получаются как разности проектной отметки $H_{\text{пр}}$ и черных отметок вершин квадратов:

$$h_p = H_{\text{пр}} - H_i^{\text{черн}}, \quad (13.4)$$

при этом h_p со знаком плюс будет определять подсыпку, минус – выемку.

Объем земляных работ вычисляется по рабочим отметкам h_1, h_2, h_3, h_4 вершин каждого квадрата. Если все четыре отметки имеют один и тот же знак, объем земляных работ в пределах данного квадрата вычисляют по формуле

$$V = a^2(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)/4, \quad (13.5)$$

где a – сторона квадрата.

Если в квадрате рабочие отметки имеют разные знаки, то в этом квадрате проходит линия нулевых работ – линия с рабочей отметкой, равной нулю. Линии нулевых работ являются границей между участками подсыпки и выемки грунта, т.е. определяют объемы земляных работ в пределах каждого квадрата. Для построения линии нулевых работ на сторонах квадратов находят положение точек нулевых работ по формулам (рис. 63)

$$l_1 = a \frac{|h_{p1}|}{|h_{p1}| + |h_{p2}|}; \quad l_2 = a \frac{|h_{p2}|}{|h_{p1}| + |h_{p2}|}, \quad (13.6)$$

где l_1 и l_2 – расстояния от вершин квадрата до точки нулевых работ; a – сторона квадрата; h_{p1} и h_{p2} – рабочие отметки на концах стороны квадрата. Очевидно, что $l_1 + l_2 = a$.

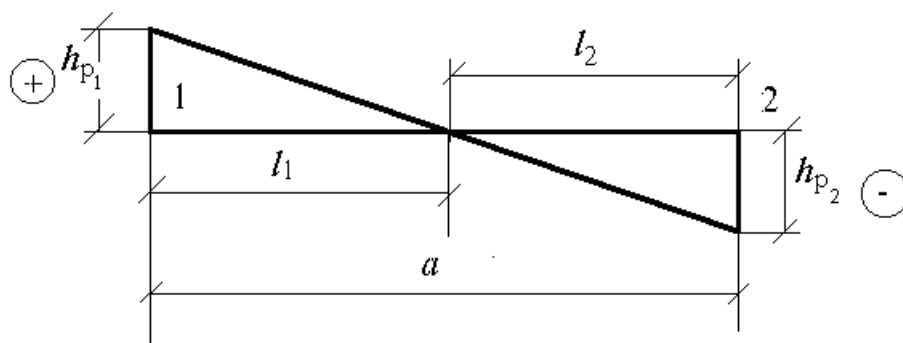


Рис. 63

Найдя точки нулевых работ на разных сторонах квадрата и соединив их отрезками прямых пунктирных линий, получают линию нулевых работ (границу выемки и подсыпки). Объем земляных работ определяют отдельно для выемки и подсыпки.

В различных условиях пользуются различными методами: при относительно спокойном рельефе – методом квадратов; при более

пересеченной местности – методом треугольных призм; при сильно пересеченной местности – методом поперечников. Подсчет объемов земляных работ по методу квадратов производится для каждого квадрата или его части как объем призмы

$$V = h_{p(ср)} S, \quad (13.7)$$

где $h_{p(ср)}$ – среднее значение рабочих отметок; S – площадь квадрата (его части).

Объем грунта в полном квадрате находится по формуле

$$V = \frac{\sum h_p}{4} S_k, \quad (13.8)$$

где $\sum h_p$ – сумма рабочих отметок для углов квадрата; S_k – площадь квадрата.

При подсчете объемов земляных работ по неполным квадратам (квадратам, через которые проходит линия нулевых работ) их разбивают на треугольники и нумеруют каждую фигуру.

Находят площадь каждого треугольника S_t и вычисляют объем грунта в пределах треугольных призм по формуле

$$V = \frac{\sum h_p}{3} S_t. \quad (13.9)$$

Вычисляют суммарные объемы выемки и подсыпки и проверяют баланс земляных работ по формуле

$$\Delta V = \frac{|V_B| - |V_{II}|}{|V_B| + |V_{II}|} 100 \%. \quad (13.10)$$

Эта величина не должна превышать 3 %.

При необходимости решение корректируется, т.е. уточняется проектная отметка горизонтальной плоскости.

Пример 1. Разработать проект вертикальной планировки площадки при следующих исходных условиях (рис. 64):

отметки участка получены при нивелировании по квадратам;

проектируется горизонтальная площадка с приблизительным обеспечением баланса земляных работ (рис. 65);

проектирование заканчивается составлением картограммы земляных масс.

Размеры квадратов принимаются 20×20 м (при масштабе плана 1:1000).

$$H_{\text{пр}} = 147,68 \text{ м}$$

Г	+0,55	+0,10	+0,85	+1,56	+1,03	+0,47
	147,13	147,58	146,83	146,12	146,65	147,21
В	-0,10	-1,05	-0,39	+0,04	-0,27	-0,48
	147,78	148,73	148,07	147,64	147,95	148,16
Б	-0,15	+0,20	+0,60	+0,18	-0,14	-0,46
	147,83	147,48	147,08	147,50	147,62	148,14
А	-0,55	+0,04	+0,45	-0,03	-0,64	-1,45
	148,23	147,64	147,23	147,71	148,32	149,13
	1	2	3	4	5	6

Рис. 64

Г	+0,55	+0,10	+0,85	+1,56	+1,03	+0,47
	16,9	+29,6	+36,7	+171,4	+192,7	+97,7
В	-0,10	-62,4	-88,9	-7,5	-3,3	-27,2
	18,4	-1,05	-0,39	+0,04	-0,27	-0,48
Б	-99,3	-88,9	-9,3	18,2	17,4	-135,0
	+1,3	+30,6	+55,2	+8,3	-26,0	-0,46
Б	-0,15	+0,20	+0,60	+0,18	-0,14	-0,46
	8,6	+7,7	+129,0	+99,5	+5,6	8,7
А	-49,0	+0,04	+0,45	-0,03	-57,4	-269,0
	-0,55				-0,64	-1,45
	18,6		18,8			
	1	2	3	4	5	6

Σ

Подсыпка	38,6	196,3	323,4	206,8	97,7	862,8
Выемка	210,7	177,8	16,8	86,7	431,2	923,2

Рис. 65

Последовательность выполнения работы следующая:

1. На листе чертежной бумаги формата А4 (20 × 30 см) изобразить штамп и дважды вычертить сетку квадратов (рис. 64 и 65).

2. В вершинах квадратов (рис. 64) выписать отметки по своему варианту. Например, в вершине $A1$ это 148,23, в вершине $A2$ – 147,64, $A3$ – 147,23 и т.д.

3. Вычислить проектную отметку горизонтальной площадки с приблизительным балансом земляных работ по формуле (13.3). У данной сетки квадратов нет отметок вершин, относящихся сразу к трем квадратам, поэтому $3\sum H_3 = 0$ и проектная отметка вычисляется по формуле

$$H_{\text{пр}} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 4\sum H_4}{4n}.$$

4. Записать полученную проектную отметку в верхнем левом углу (рис. 64), вычислить рабочие отметки $h_p = H_{\text{пр}} - H_i^{\text{черн}}$ и зафиксировать их в вершинах квадратов. Так, в вершине $A1$ это –0,55, в вершине $A2$ +0,04, в $A3$ +0,45 и т.д.

5. Для разработки картограммы земляных работ (рис. 65) переписать значения рабочих отметок на данный рисунок, обозначить контуры подсыпок и выемок линиями нулевых работ. Линию нулевых работ определяют точки нулевых работ на тех сторонах квадратов, вершины которых имеют отметки с противоположными знаками (линии $B1 - \Gamma1$, $B2 - \Gamma2$ и т.д.). Положение точки нулевых работ на стороне квадрата определится величиной l_1 или l_2 , вычисляемой по (13.6).

Линии нулевых работ обозначают прямолинейными отрезками, значения l выписывают на стороне квадрата (рис. 65, на стороне $B1 - \Gamma1$ $l = 16,9$ м; на стороне $B2 - \Gamma2$ $l = 18,4$ м и т.д.)

6. Вычислить отдельно для выемок и подсыпок в каждом квадрате объемы земляных работ (рис. 65) по формуле

$$V = h_p^{\text{ср}} S,$$

где $h_p^{\text{ср}}$ – среднее значение рабочих отметок (у неполных квадратов две рабочие отметки равны нулю); S – площадь квадрата или его части, которую можно вычислить, зная длины сторон этих фигур.

7. Вычисленные на картограмме объемы насыпей и выемок просуммировать по вертикали и вычислить их суммарные значения для всего участка (рис. 65). Проверить баланс земляных работ по формуле (13.10).

Пример 2. Разработать проект вертикальной планировки площадки в случае нечетного количества квадратов (рис. 66).

Состав задания и последовательность его выполнения аналогичны примеру 1.

Вершина $B4$ с отметкой $H_1 = 150,25$ относится только к одному квадрату, вершина $B3$ с отметкой $H_2 = 150,53$ – к двум квадратам, $B3$ с отметкой $H_3 = 150,70$ – к трем, $B2$ – к четырем квадратам.

Проектная отметка такой площадки вычисляется по формуле (13.3). Суммы отметок вершин, входящие в числитель этой формулы, равны:

$$\sum H_1 = 151,75 + 150,60 + 150,25 + 150,20 + 150,45 = 753,25 \text{ м};$$

$$2\sum H_2 = 2(151,05 + 150,53 + 151,12 + 150,30) = 1206,00 \text{ м};$$

$$3\sum H_3 = 3 \cdot 150,70 = 452,10 \text{ м};$$

$$4\sum H_4 = 4 \cdot 151,02 = 604,08 \text{ м}.$$

Подставляя эти значения в формулу (13.3), получаем проектную отметку площадки

$$H_{\text{пр}} = \frac{753,25 + 1206,00 + 452,10 + 604,08}{4 \cdot 5} = 150,77 \text{ м}.$$

Для упрощения вычислений удобно выделить наименьшую из четырех отметок вершин квадратов с округлением до дециметра и производить арифметические действия с остающимися дополнениями до соответствующей черной отметки. В данном случае $H_{\text{min}} = 150,20$ ($A3$), и тогда

$$H_{\text{пр}} = 150,20 + \frac{(1,55 + 0,40 + 0,05 + 0,00 + 0,25) + 2(0,25 + 0,33 + 0,10 + 0,92)}{4 \cdot 5} + \\ + \frac{3 \cdot 0,50 + 4 \cdot 0,82}{4 \cdot 5} = 150,77 \text{ м}.$$

Далее находят рабочие отметки каждой вершины по формуле (13.4) и выписывают их на плане площадки и картограмме земляных работ (рис. 66 и 67). Так, для вершины $A1$ рабочая отметка равна $+0,32$, для $B1$ она отрицательна и равна $-0,35$, и т.д.

	1	2	3	4
В	-0,98	-0,28	+0,24	+0,17
	151,75	151,05	150,53	150,60
Б	-0,35	-0,25	+0,07	+0,52
	151,12	151,02	150,70	150,25
А	+0,32	+0,47	+0,57	
	150,45	150,30	150,20	

Рис. 66

	1	2	3	4
В	-0,98	-0,28	+0,24	+0,17
	-186,0	-0,35	+10,0	+100,0
Б	-0,35	-0,25	+0,07	+0,52
	-27	-5		
А	+0,32	+0,47	+0,57	
	+44,0	+91,0		

Σ

Подсыпка	44	101	100	245
Выемка	213	40	-	253

$$\Delta V = \frac{253 - 245}{253 + 245} \cdot 100\% = 1,6\%,$$

$$\Delta V < 3\%.$$

Рис. 67

После вычисления рабочих отметок выделяют контуры подсыпок и выемок построением линий нулевых работ, линию нулевых работ определяют точки нулевых работ на тех сторонах квадратов, вершины которых имеют рабочие отметки с противоположными знаками (линия $B2 - B3$; $A1 - B1$ и т.д.). Положение точек нулевых работ находится по формуле (13.6). Так, например, по линии $A2 - B2$ при $a = 20$ м и рабочих отметках $+0,47$ м и $-0,25$ м (рис. 68)

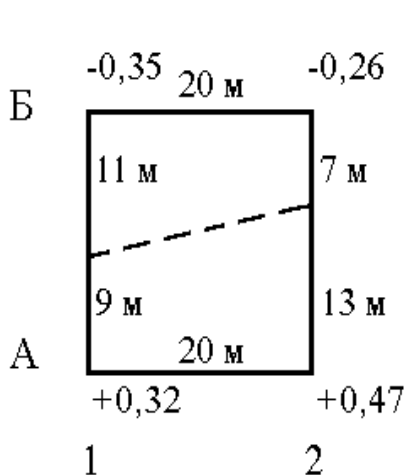


Рис. 68

$$H_{\text{пр}} = 150,77 \text{ м}; l_1 = 20 \frac{0,47}{0,47 + 0,25} = 13,0 \text{ м}.$$

Определив местоположение точек нулевых работ, прямолинейными отрезками пунктирной линии обозначают на картограмме линию нулевых работ (рис. 68).

Объемы земляных работ подсчитываются с использованием формул (13.7) – (13.9) отдельно для выемки и подсыпки.

Так, для полного квадрата $B1 - B1 - B2 - B2$ (рис. 68) по формуле (13.8) получим

$$V = \frac{\sum h_p}{4} S_k = \frac{0,98 + 0,28 + 0,25 + 0,35}{4} \cdot 20 \cdot 20 = 186 \text{ м}^3.$$

Для переходного квадрата $B1 - B2 - A2 - A1$ объем выемки (рис. 67, 68)

$$V_v = \frac{0,35 + 0,25 + 0,00 + 0,00}{4} \frac{7 + 11}{2} 20 = 27 \text{ м}^3.$$

Объем подсыпки:

$$V_{\text{п}} = \frac{0,32 + 0,47 + 0,00 + 0,00}{4} \frac{9 + 13}{2} 20 = 43,5 \text{ м}^3.$$

Полученные объемы земляных работ выписываются на картограмме земляных работ (рис. 67) в центральной части соответствующих участков (полных квадратов или их частей). Под картограммой приводятся частные значения объемов подсыпки и выемок, просуммированных по вертикали. Вычисляются отдельно суммарные значения объемов подсыпок и выемок по всему участку; по формуле (13.10) проверяется баланс земляных работ.

Пример 3. Разработать проект вертикальной планировки площадки в случае нечетного количества квадратов (рис. 69).

Состав задания и последовательность его выполнения аналогичны

примеру 1. Отличие от примера 2 заключается в том, что неполные квадраты разбиваются на треугольники, что облегчает подсчет объемов земляных работ.

Вершины B_1, B_4, B_4, A_3, A_1 относятся только к одному квадрату; вершины B_2, B_3, A_2, B_1 – общие для двух смежных квадратов; B_3 – общая для трех квадратов, B_2 – для четырех, тогда

$$\sum H_1 = 120,80 + 117,80 + 117,80 + 118,60 + 120,45 = 595,45 \text{ м};$$

$$2\sum H_2 = 2(119,75 + 118,70 + 119,50 + 121,00) = 957,90 \text{ м};$$

$$3\sum H_3 = 3 \cdot 119,00 = 357,00 \text{ м};$$

$$4\sum H_4 = 4 \cdot 120,05 = 480,20 \text{ м}.$$

По формуле проектной высоты горизонтальной площади получим

$$H_{\text{пр}} = \frac{595,45 + 957,90 + 357,00 + 480,20}{4 \cdot 5} = 119,53 \text{ м}.$$

По формуле (13.4) найдем рабочие отметки каждой вершины (рис. 69). Таким образом получим рабочую отметку вершины A_1 , равную $119,53 - 120,45 = -0,92$. Аналогично получаются рабочие отметки для всех остальных вершин.

По формулам (13.6) находят положение точек нулевых работ. Например, для стороны квадрата $B_2 - B_3$ при $a = 20 \text{ м}$

$$l_1 = 20 \frac{0,22}{0,22 + 0,83} = 4,2 \text{ м}; \quad l_2 = 20 \frac{0,83}{0,22 + 0,83} = 15,8 \text{ м}.$$

Контролем является равенство суммы l_1 и l_2 расстоянию a : $15,8 + 4,2 = 20,0 \text{ м}$.

Откладывая на чертеже от вершины B_2 расстояние, равное 4,2 м, или от B_3 расстояние, равное 15,8 м (см. рис. 70), получают точку нулевых работ. Аналогично находят точки нулевых работ на остальных сторонах квадратов. Соединяя их штрих-пунктирной ломаной линией, получают границу выемки и подсыпки.

Объемы грунта в полных квадратах находят по формуле (13.8). Например, для квадрата 1 (B_1, B_2, B_2, B_1)

$$V = \frac{(-1,27) + (-0,22) + (-0,52) + (-1,47)}{4} 400 = -348,0 \text{ м}^3 \text{ (выемка)}.$$

	1	2	3	4
	-1,27	-0,22	+0,83	+1,73
В	120,80	119,75	118,70	117,80
	-1,47	-0,52	+0,53	+1,73
Б	121,00	120,05	119,00	117,80
	-0,92	+0,03	+0,93	
А	120,45	119,50	118,60	

Рис. 69

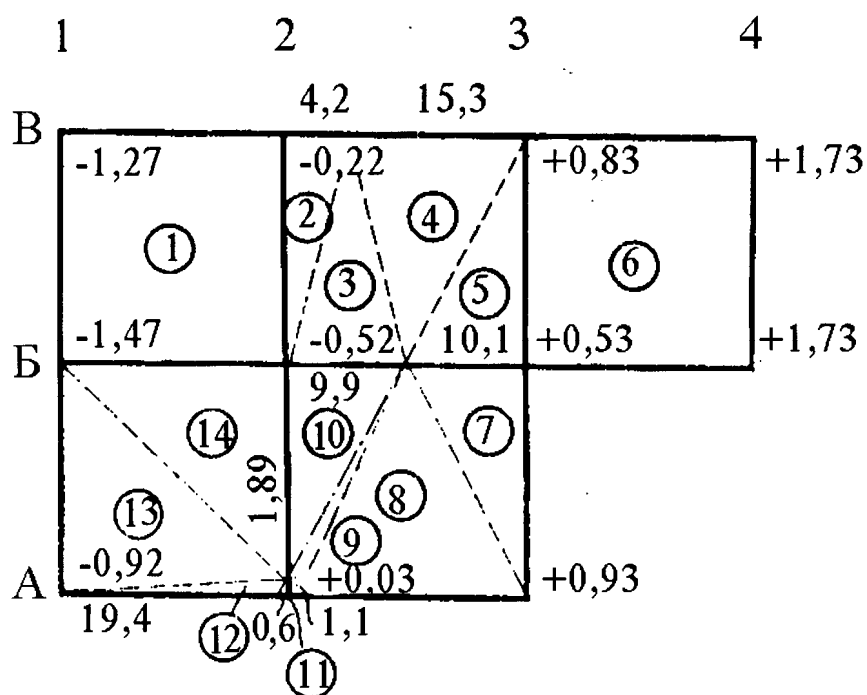


Рис. 70

При подсчете объемов земляных работ по неполным квадратам их

разбивают на треугольники, как это показано на рис. 70, и нумеруют каждую фигуру.

Находят площадь каждого треугольника и вычисляют объем грунта в пределах треугольных призм по формуле (13.9). Например, для фигуры 2 можно записать

$$S_T = 4,2 \cdot 20 / 2 = 42 \text{ м}^2 ;$$

$$V = \frac{(-0,22) + 0 + 0}{3} 42 = -2,9 \text{ м}^3 \text{ (выемка)}.$$

Все вычисления ведутся в ведомости (табл. 7), где окончательно получают объем выемки V_B и подсыпки V_{II} .

Т а б л и ц а 7

Ведомость вычисления объема грунта

Номер фигуры	Площадь, м ²	h_{cp}	Объем, м ³	
			Выемка (-)	Подсыпка (+)
1	400,0	-0,87	348,0	
2	42,0	-0,07	2,9	
3	99,0	-0,17	16,8	
4	158,0	+0,28		44,2
5	101,0	+0,45		45,4
6	400,0	+1,20		480,0
7	101,0	+0,49		49,5
8	200,0	+0,32		64,0
9	5,4	+0,01		0,1
10	93,6	-0,17	15,9	
11	0,3	+0,01		0,0
12	10,7	-0,31	3,3	
13	200,0	-0,80	160,0	
14	189,0	-0,66	124,7	
$\Sigma = 2000,0$			$V_B = 671,6$	$V_{II} = 683,2$

$$\Delta V = \frac{671,6 - 683,2}{671,6 + 683,2} 100 \% = 0,8 \% ,$$

$$\Delta V < 3 \% .$$

Ниже, в табл. 8 приводится вариант исходных данных для

выполнения расчетно-графического задания по вертикальной планировке.

Т а б л и ц а 8

Вариант исходных данных

	1	2	3	4	5	6
Г	147,13	147,58	146,83	146,12	146,65	147,21
В	147,78	148,73	148,07	147,64	147,95	148,16
Б	147,83	147,48	147,08	147,50	147,62	148,14
А	148,23	147,64	147,23	147,71	148,32	149,13

Практическая часть

1. Применительно к М 1:1000 принять участок с размерами 5×3 квадрата с длиной сторон 20 м.
2. Преобразовать исходные черные отметки в соответствии со своим номером в подгруппе, увеличивая каждую отметку на число метров, равное своему номеру.
3. Спланировать горизонтальную площадку исходя из баланса земляных работ.
4. Построить картограмму земляных работ, вычислить объемы земляных масс и проверить их баланс.

**14. РАСЧЕТ РАЗБИВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
ДЛЯ ПЕРЕНЕСЕНИЯ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ В НАТУРУ**

Разбивкой сооружения или перенесением его в натуру называется комплекс геодезических работ по определению на местности положения будущего сооружения.

По сути, разбивочные работы являются процессом, обратным топографической съемке. При топографической съемке характерные точки ситуации и рельефа переносятся с местности на план; в процессе разбивки, наоборот, запроектированное на топографическом плане сооружение должно быть перенесено на местность.

Разбивку, как очень ответственную работу в строительстве, выполняют в два этапа: сначала определяют положение главных осей, являющихся осями симметрии здания или сооружения, или основных осей,

образующих контур здания или сооружения; затем от этих осей осуществляют детальную разбивку дополнительных и вспомогательных осей, конструктивных элементов и др.

Оси зданий и сооружений разбивают на местности от главной разбивочной основы, которой могут быть: существующие местные объекты, пункты плановой геодезической сети или пункты специальной сети (строительная сетка, линии регулирования застройки).

Переносу проекта в натуру предшествует его геодезическая подготовка, в процессе которой по заданным или определенным графически координатам характерных точек сооружения вычисляются разбивочные элементы, т.е. дирекционные углы и расстояния, определяющие положение этих точек относительно пунктов геодезической разбивочной основы.

Исходные данные определяют в зависимости от принятой разбивочной основы и принятого способа перенесения проекта. При подготовке геодезических данных для перенесения проекта в натуру применяются три способа: графический, графоаналитический (смешанный) и аналитический.

При графическом способе измеряют на плане расстояния при помощи циркуля и графического масштаба, а углы – при помощи транспортира. При графоаналитическом способе графически определяют координаты переносимой точки, выписывают из ведомости координаты пункта разбивочной основы, найденные ранее аналитически, и вычисляют по координатам значения углов и расстояний.

14.1. Вычисление исходных данных

Для перенесения точек A и B здания на местность способом полярных координат (рис. 71) необходимо найти углы β_1 и β_2 и расстояния d_1 и d_2 . Координаты точек A и B определяют графически, а координаты точки M и дирекционный угол стороны MN берут из ведомости вычисления координат теодолитного хода.

Нахождение расстояния и направления линии по координатам ее начала и конца в геодезии называют решением обратной геодезической задачи.

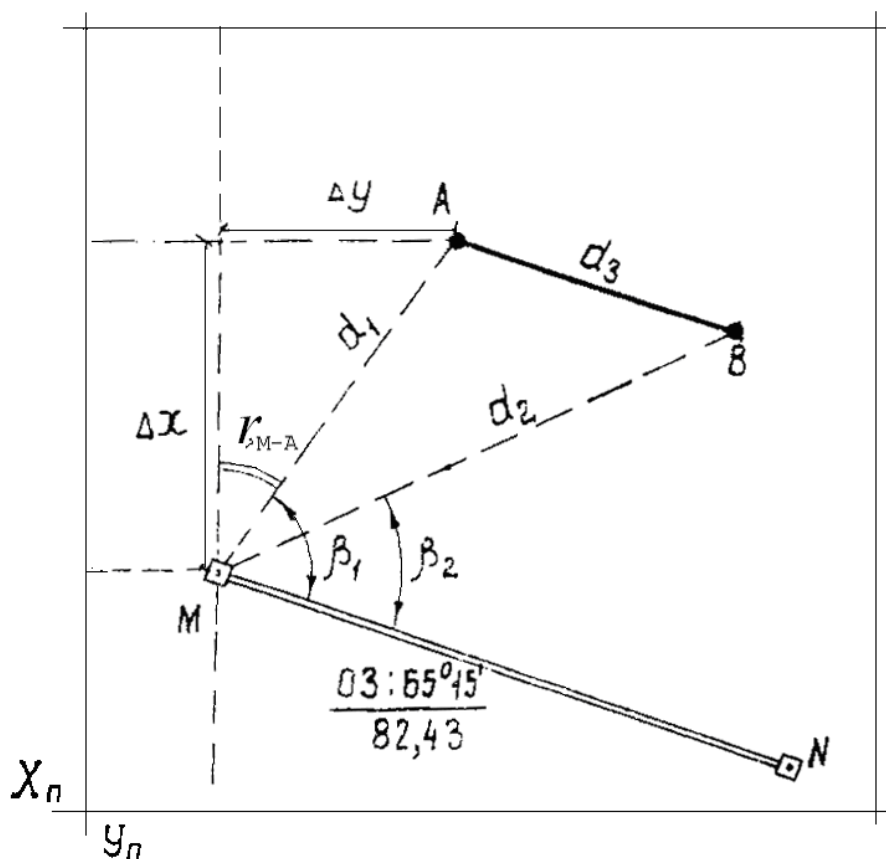


Рис. 71

Вычисление β_1 и d_1 для перенесения точки A на местность способом полярных координат производят в определенной последовательности.

Находят разности координат точек начала и конца линии MA

$$\Delta x = x_A - x_M; \Delta y = y_A - y_M. \quad (14.1)$$

Вычисляют величину румба линии MA по формуле

$$\text{tgr}_{MA} = \frac{|y_A - y_M|}{|x_A - x_M|} = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (14.2)$$

Определяют по знакам приращений наименование румба и переходят от него к дирекционному углу линии MA .

Находят величину горизонтального угла

$$\beta_1 = \alpha_{MN} - \alpha_{MA}. \quad (14.3)$$

Вычисляют расстояние d_1 по формулам

$$d_1 = \frac{\Delta x}{\cos r_{MA}}; \quad (14.4)$$

$$d_1 = \frac{\Delta y}{\sin r_{MA}}. \quad (14.5)$$

Аналогичным образом можно найти связь точки B с точкой основы M .

14.2. Составление разбивочного чертежа

После вычисления исходных данных, определяющих положение здания или сооружения на местности, составляют чертеж в масштабе 1:500, 1:1000 или 1:2000. Основой этого чертежа является топографический план участка местности, где строится объект. На этом чертеже показывают пункты разбивочной основы, запроектированное здание или сооружение, значения длин линий и углов, необходимых для определения на местности точек, принадлежащих главным или основным осям.

Для работы в поле с разбивочного чертежа составляют схему (рис. 71), на которой указывают данные, необходимые для перенесения проекта на местность.

Пример 1. Выполнить расчет разбивочных элементов для перенесения в натуру проектной точки A (см. рис. 71) при следующих исходных данных:

координаты точки M разбивочной основы: $x_M = 5031,25$ м;
 $y_M = 4814,37$ м;

координаты точки A : $x_A = 5072,50$ м; $y_A = 4843,70$ м;

дирекционный угол линии MN разбивочной основы $\alpha_{MN} = 114^\circ 45'$.

Вычисления производятся в следующей последовательности.

1. Находят разности координат точек начала и конца линии MA

$$\Delta x = x_A - x_M = 5072,50 - 5031,25 = 41,25 \text{ м};$$

$$\Delta y = y_A - y_M = 4843,70 - 4814,37 = 29,33 \text{ м}.$$

2. Вычисляют величину румба линии MA

$$\operatorname{tgr}_{MA} = \frac{|\Delta y|}{|\Delta x|} = \frac{29,33}{41,25} = 0,71103.$$

Отсюда находят румб $r_{MA} = \text{СВ}: 35^\circ 25'$ и соответствующий ему дирекционный угол $\alpha_{MA} = 35^\circ 25'$.

3. Находят величину горизонтального угла

$$\beta_1 = \alpha_{MN} - \alpha_{MA} = 114^\circ 45' - 35^\circ 25' = 79^\circ 20'.$$

4. Вычисляют расстояние d_1 по формулам (14.4) и (14.5)

$$d_1 = \frac{\Delta x}{\cos r_{MA}} = \frac{41,25}{\cos 35^\circ 25'} = \frac{41,25}{0,81496} = 50,62 \text{ м};$$

$$d_1 = \frac{\Delta y}{\sin r_{MA}} = \frac{29,33}{\sin 35^\circ 25'} = \frac{29,33}{0,57952} = 50,61 \text{ м},$$

откуда $d_1^{\text{cp}} = 50,62 \text{ м}$.

Пример 2. Чтобы подготовить разбивочные данные для перенесения точек главной оси сооружения в натуру, следует применить смешанный способ при условии, что координаты точки A задаются, а координаты точки B берутся графически с плана (рис. 72).

Задание выполняется в следующем порядке.

1. Вычертить сетку координат – два квадрата 10×10 см (рис. 72).
2. Заготовить таблицу (табл. 9) и выписать из табл. 10 исходные данные для своего варианта (координаты соответствующих точек).
3. Произвести оцифровку сетки координат применительно к М 1:2000, исходя из данных координат точки I (рис. 72, юго-западный угол координатной сетки).
4. Нанести по координатам точки разбивочного обоснования (рис. 72, точки № 20, 21, 4, 5) и точку A .
5. Провести произвольно линию AB длиной $d_{AB} = 352$ м так, чтобы точка B располагалась в пределах квадрата координатной сетки.
6. Графически определить координаты точки B , занести их в табл. 9.
7. Произвести расчет разбивочных элементов ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, d_{20-A}, d_{21-A}, d_{4-B}, d_{5-B}$). Вычисление угла β_4 привести в пояснительной записке, сопроводив расчет схемами (рис. 73, 74), все остальные расчеты представить в табличной форме (табл. 11).

Подготовка геодезических данных для перенесения в натуру линии AB сводится к вычислению углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ и проложений линий $d_{20-A}, d_{21-A}, d_{4-B}, d_{5-B}$. Вычисление указанных разбивочных элементов производится решением обратных геодезических задач.

Пусть, например, координаты точек A и № 20 будут такими, как в табл. 9 и на рис. 73.

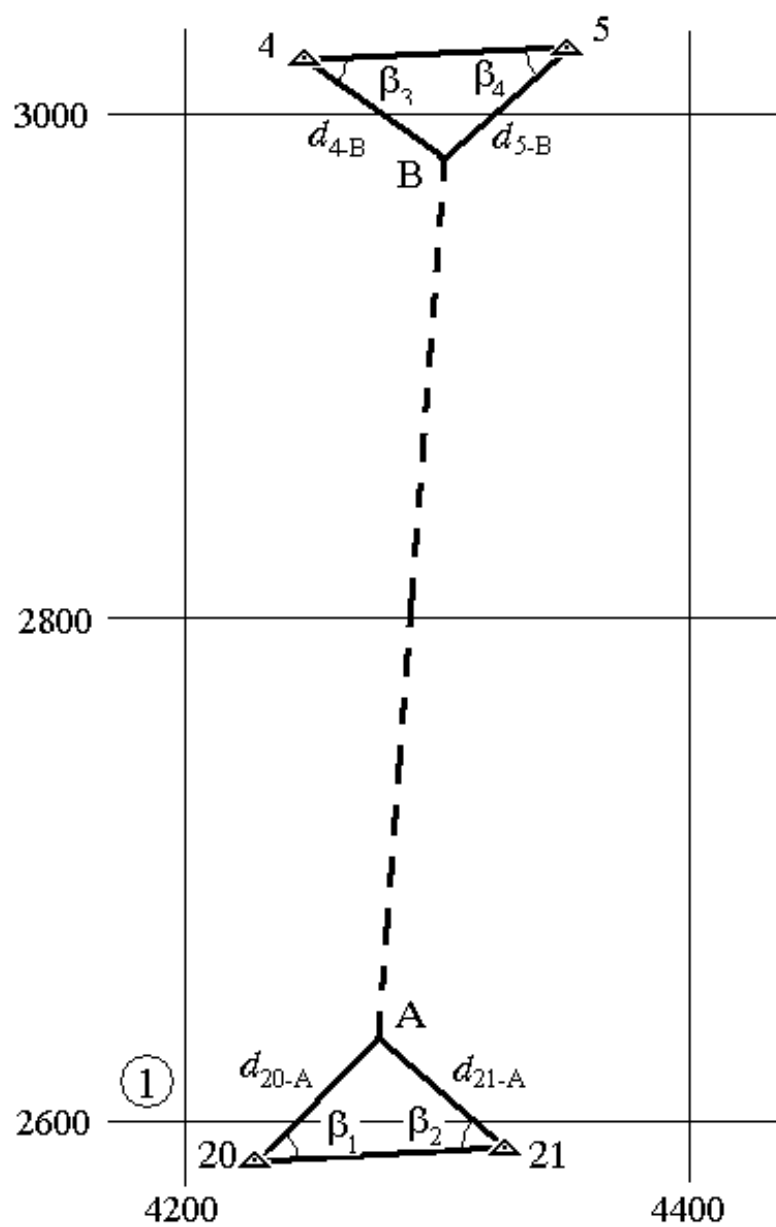


Рис. 72

Т а б л и ц а 9

Исходные данные

Координаты	Точка № 1	№ 20	№ 21	№ 4	№ 5	A	B
x	2600,00	<u>2590,40</u>	2594,40	3016,60	3012,10	<u>2630,40</u>	
y	4200,00	<u>4257,50</u>	4358,30	4256,10	4367,80	<u>4308,80</u>	

Варианты исходных данных

Номера точек	Номера вариантов												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	x	2600,00	2400,00	2000,00	1800,00	1600,00	1400,00	1200,00	1000,00	800,00	600,00	400,00	200,00
	y	4200,00	4000,00	3600,00	3400,00	3200,00	3000,00	2800,00	2600,00	2400,00	2200,00	2000,00	1800,00
20	x	2590,40	2390,40	1990,40	1790,40	1590,40	1390,40	1190,40	990,40	790,40	590,40	390,40	190,40
	y	4257,50	4057,50	3857,50	3657,50	3457,50	3257,50	2857,50	2657,50	2457,50	2257,50	2057,50	1857,50
21	x	2594,40	2394,40	1994,40	1794,40	1594,40	1394,40	1194,40	994,40	794,40	594,40	394,40	194,40
	y	4358,30	4158,30	3958,30	3758,30	3558,30	3358,30	2958,30	2758,30	2558,30	2358,30	2158,30	1958,30
4	x	3016,60	2816,60	2616,60	2416,60	2216,60	1816,60	1616,60	1416,60	1216,60	1016,60	816,60	616,60
	y	4256,10	4056,10	3856,10	3656,10	3456,10	3056,10	2856,10	2656,10	2456,10	2256,10	2056,10	1856,10
5	x	3012,10	2812,10	2612,10	2412,10	2212,10	1812,10	1612,10	1412,10	1212,10	1012,10	812,10	612,10
	y	4367,80	4167,80	3967,80	3767,80	3567,80	3367,80	2967,80	2767,80	2567,80	2367,80	2167,80	1967,80
A	x	2630,40	2430,40	2230,40	2030,40	1830,40	1630,40	1230,40	1030,40	830,40	630,40	430,40	230,40
	y	4308,80	4108,80	3908,80	3708,80	3508,80	3308,80	2908,80	2708,80	2508,80	2308,80	2108,80	1908,80

Расчет разбивочных элементов

Номера точек	$y_i, \text{м}$	$\Delta y = y_k - y_n, \text{м}$	$x_i, \text{м}$	$\Delta x = x_k - x_n, \text{м}$	$\text{tg } r_i$	r_i	$d_i, \text{м}$	β_i
20	4257,50	$\Delta y_{20-21} = y_{21} - y_{20} =$ $=4358,30 - 4257,50 =$ $=+100,80$	2590,40	$\Delta x_{20-21} = x_{21} - x_{20} =$ $=2594,40 - 2590,40 =$ $=+4,00$	$\text{tg } r_{20-21} =$ $=100,80/4,00 =$ $=25,200$	$r_{20-21} = \text{CB} :$ $87^\circ 43' 39''$	$d_{20-21} =$ $=100,88$	$\beta_1 =$ $=35^\circ 40' 16''$
21	4358,30		2594,40					
20	4257,50	$\Delta y_{20-A} = +51,30$	2590,40	$\Delta x_{20-A} = +40,00$	1,283	$r_{20-A} = \text{CB} :$ $52^\circ 03' 23''$	65,05	$\beta_2 =$ $=38^\circ 17' 58''$
A	4308,80		2630,40					
21	4358,30	$\Delta y_{21-A} = -49,50$	2594,40	$\Delta x_{21-A} = +36,00$	1,375	$r_{21-A} = \text{C3} :$ $53^\circ 58' 23''$	49,52	$\beta_3 = \dots$
A	4308,80		2590,40					
4	4256,10	$\Delta y_{4-5} = +111,70$	3016,60	$\Delta x_{4-5} = -4,50$	24,822		111,79	
5	4367,80		3012,10					
4	4256,10	$\Delta y_{4-B} = \dots$	3016,60	$\Delta x_{4-B} = \dots$				
B	...		...					
5	4367,80	$\Delta y_{5-B} = \dots$	3012,10	$\Delta x_{5-B} = \dots$				$\beta_4 = \dots$
B	...		...					

Тогда тангенс румба линии 20–А равен

$$\operatorname{tgr}_{20-A} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_K - y_H}{x_K - x_H},$$

где y_K, x_K – координаты конечной точки линии (в данном случае координаты точки А); y_H, x_H – координаты начальной точки линии (№ 20).

Подставляя исходные данные, получим

$$\operatorname{tgr}_{20-A} = \frac{y_K - y_H}{x_K - x_H} = \frac{y_A - y_{20}}{x_A - x_{20}} = \frac{4308,80 - 4257,50}{2630,40 - 2590,40} = \frac{+51,30}{+40,00} = 1,2825.$$

По знакам приращений координат Δx и Δy (плюс в числителе и знаменателе) определяем наименование румба линии 20 – А: северо-восток. По таблицам приложения находим величину румба – $52^\circ 03' 23''$, следовательно, $r_{20-A} = \text{СВ } 52^\circ 03' 23''$.

Для определения угла β_1 необходимо знать также румб линии 20 – 21. Пусть в результате аналогичных вычислений получено: $r_{20-21} = \text{СВ: } 87^\circ 43' 39''$. Тогда $\beta_1 = 87^\circ 43' 39'' - 52^\circ 03' 23'' = 35^\circ 40' 16''$ (см. рис. 74).

Горизонтальное проложение линий 20 – А вычисляется по формулам

$$d = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}; \quad d = \frac{\Delta x}{\cos r}; \quad d = \frac{\Delta y}{\sin r}.$$

В данном случае $d_{20-A} = \sqrt{(40,00)^2 + (51,30)^2} = 65,05 \text{ м.}$

Контроль: $d_{20-A} = \frac{\Delta x}{\cos r} = \frac{40,00}{\cos 52^\circ 03' 23''} = \frac{40,00}{0,6149} = 65,05 \text{ м.}$

Результаты вычислений представляются в табличном виде (см. табл. 11).

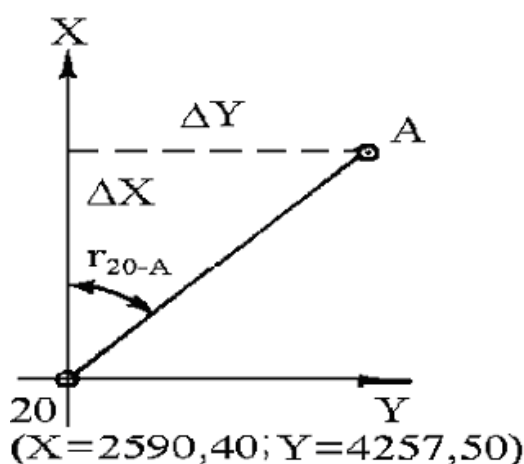


Рис. 73

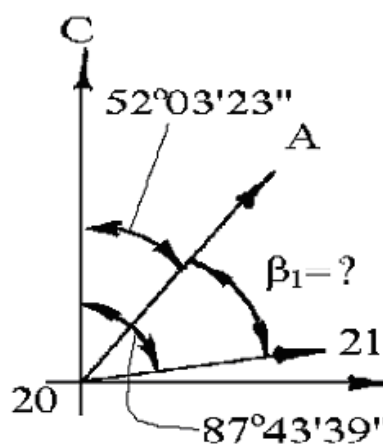


Рис. 74

Контролем угловых вычислений является равенство 180° суммы внутренних углов треугольников $20 - A - 21$ и $4 - B - 5$ (см. рис. 72), причем значения углов могут быть определены по значениям румбов соответствующих сторон. Так, например, для первого треугольника внутренний угол

$$A = r_{20-A} + r_{21-A} = 52^\circ 03' 53'' + 53^\circ 58' 23'' = 106^\circ 01' 46''.$$

Тогда сумма внутренних углов треугольника равна

$$\beta_1 + A + \beta_2 = 35^\circ 40' 16'' + 106^\circ 01' 46'' + 38^\circ 17' 58'' = 180^\circ 00' 00''.$$

15. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения подразделяются на прямые и косвенные, однократные и многократные, равноточные и неравноточные.

При прямых измерениях значение искомой величины получается непосредственно по показаниям прибора (например, рулеткой измеряется длина отрезка).

При косвенных измерениях значение искомой величины находится вычислениями по известным формулам на основании данных прямых измерений (например, определение площади треугольника по измеренным основанию и высоте).

Однократные измерения дают одно значение измеряемой величины. При многократных – величина измеряется $n > 1$ раз. Такие измерения необходимы для контроля, позволяют получить более надежный результат.

Равноточные – измерения выполняются в одинаковых условиях: приборами одинаковой точности, исполнителями одинаковой квалификации, одними и теми же методами и равное число раз, при одинаковых условиях внешней среды.

Неравноточные – измерения, выполненные в неодинаковых условиях и поэтому имеющие разную точность.

Любое измерение сопровождается погрешностями измерения, которые разделяют на грубые, систематические и случайные.

Грубые погрешности (ошибки, промахи, просчеты) выявляют и устраняют контрольными измерениями.

Систематические погрешности искажают результат измерений всегда в какую-либо сторону. Например, мерная лента на величину Δl

короче эталона, или известна ее длина при одной температуре, а измерения производятся при другой, и тогда появится систематическая погрешность за счет теплового линейного расширения материала ленты. Систематические погрешности стараются исключить введением поправок.

Случайные погрешности принципиально неустранимы, так как они изменяются случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Борьба за уменьшение их влияния сводится к совершенствованию приборов и методов измерений, в частности к увеличению числа повторных измерений, к выбору наиболее благоприятных условий работы

Установлены следующие статистические свойства случайных погрешностей.

1. Погрешности по модулю не превосходят некоторого предела

$$|\Delta| \leq \Delta_{\text{пред}}. \quad (15.1)$$

2. Равные по модулю положительные и отрицательные погрешности одинаково возможны.

3. Малые погрешности встречаются чаще, чем большие.

4. Среднее арифметическое из погрешностей равнозначных измерений стремится к нулю при неограниченном возрастании числа измерений

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0. \quad (15.2)$$

На этих свойствах основана оценка погрешностей и установление наиболее достоверных результатов измерений. Надежную оценку точности измерений – среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения – предложил Гаусс:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}. \quad (15.3)$$

В большинстве случаев критерий Гаусса обеспечивает более надежную оценку точности по сравнению со средним арифметическим из абсолютных значений погрешностей $\theta = [|\Delta|]/n$, что можно видеть из следующего примера.

Пример 1. Пусть имеется два ряда измерений при условии, что точность первого ряда заведомо ниже, так как он содержит более значительные по величине погрешности (–6 и +7).

I ряд: $-1; +2; -6; +7; -1$ $[\Delta] = 17$.

II ряд: $-4; +2; -4; +3; -4$ $[\Delta] = 17$.

Тогда $\theta_1 = \pm 17/5 = \pm 3,4$ и $\theta_2 = \pm 17/5 = \pm 3,4$, то есть получается, что точность обоих рядов одинакова. Но при оценке точности критериев Гаусса получаем

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{1^2 + 2^2 + 6^2 + 7^2 + 1^2}{n}} = \pm 4,2;$$
$$m_2 = \pm \sqrt{\frac{4^2 + 2^2 + 4^2 + 3^2 + 4^2}{n}} = \pm 3,5.$$

Видно, что $m_1 > m_2$, и наличие в первом ряду больших погрешностей проявилось.

Доказано, что при достаточно большом числе измерений случайная погрешность может быть больше $2m$ в пяти случаях из ста и больше $3m$ в трех случаях из 1000. Обычно принимают для более ответственных измерений $\Delta_{\text{пред}} = 2m$, отбраковывая те результаты измерений, где погрешность больше $2m$.

Средняя θ , средняя квадратическая m и предельная $\Delta_{\text{пред}}$ погрешности называют абсолютными. Они имеют ту же размерность, что и измеряемая величина.

Часто на практике необходимо знать не абсолютную, а относительную погрешность. Например, если одна линия измерена с точностью $\frac{1}{2000}$ (т.е. на 2000 м погрешность составляет 1 м), а вторая с точностью $\frac{1}{5000}$, то, очевидно, что вторая линия измерена точнее.

Относительную погрешность обычно представляют дробью, числитель которой равен 1, а знаменатель есть частное от деления измеренной величины на абсолютную погрешность. Так, относительная средняя квадратическая погрешность будет $\frac{m}{L} = \frac{1}{L:m}$. Необходимость оценивать точность измерений возникает в следующих случаях.

1. Истинное значение измеряемой величины X известно заранее, например сумма углов многоугольника. Тогда значение погрешности

измерений $\Delta_i = l_i - X$ и $m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$. В практике такой случай встречается редко.

2. Истинное значение измеряемой величины заранее неизвестно. Тогда, по результатам нескольких равноточных измерений, можно определить наиболее вероятное (вероятнейшее) значение измеряемой величины $\bar{l}$, которым оказывается арифметическое среднее. Зная $\bar{l}$, можно вычислить вероятные погрешности (отклонения) $v_i = l_i - \bar{l}$ и по формуле Бесселя среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения

$$m = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}.$$

Но само вероятнейшее значение будет определено также с погрешностью, которую находят по формуле $M = m/\sqrt{n}$.

Пример 2. Даны результаты измерения линии (табл. 12). Оценить точность измерений, т.е. вычислить m , M и $\frac{M}{\bar{l}}$.

Т а б л и ц а 12

Исходные данные

Номер измерения	l , м	V , см	v^2 , см ²
1	68,31	-1	1
2	68,30	-2	4
3	68,34	+2	4
4	68,32	0	0
5	68,33	+1	1
	$\bar{l} = 68,32$	$[v] = 0$	$[v^2] = 10$

Решение

$$\bar{l} = \frac{68,31 + 68,30 + 68,34 + 68,32 + 68,33}{5} = 68,32 \text{ м.}$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{10}{5-1}} = 2 \text{ см.}$$

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} \approx \pm \frac{2}{\sqrt{5}} \approx \pm 0,7 \text{ см.}$$

$$\frac{M}{\bar{l}} \approx \frac{0,7 \text{ см}}{68,32 \text{ м}} \approx \frac{1}{9706}.$$

3. Измеряемая величина определяется косвенным путем, то есть является функцией $z = f(x, y, \dots t)$ других измеренных с какой-то точностью величин (так называемых измеряемых аргументов), средние квадратические погрешности которых $m_x; m_y; \dots m_t$.

В теории погрешностей измерений доказано, что средняя квадратическая погрешность величины $z(m_z)$ выражается следующей формулой

$$m_z = \pm \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x} m_x\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} m_y\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial t} m_t\right)^2}$$

Пример 3. В треугольнике на плане измерено основание $b = 112,00$ м с $m_b = \pm 5$ см и высота $h = 60,18$ м с $m_h = \pm 5$ см. Определить относительную среднюю квадратическую погрешность площади треугольника $\frac{m_S}{S}$.

Площадь треугольника участка равна

$$S = \frac{1}{2}bh = \frac{1}{2} \cdot 112,00 \cdot 60,18 = 3370,08 \text{ м}^2.$$

Найдем частные производные от функции S по аргументам b и h .

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \frac{1}{2}h; \quad \frac{\partial S}{\partial h} = \frac{1}{2}b.$$

Тогда

$$m_S = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2}hm_b\right)^2 + \left(\frac{1}{2}bm_h\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}60,18 \cdot 0,05\right)^2 + \left(\frac{1}{2}112,00 \cdot 0,03\right)^2} = 2,2 \text{ м}^2$$

и

$$\frac{m_S}{S} \approx \frac{2,2}{3370} \approx \frac{1}{1500}.$$

Сведения, приведенные в данном пособии, являются дополнением к основным темам, изучаемым на лекциях. Они позволяют студентам получить практические навыки в решении конкретных инженерных задач по планам и картам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инженерная геодезия: Учебник для вузов / Е.Б. Ключин, М.И. Киселев, Д.Ш. Михелев, В.Д. Фельдман; Под ред. Д.Ш. Михелева. 4-е изд., испр. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 480 с.
2. Инженерная геодезия. Решение инженерных задач на планах и картах: Учеб. пособие / Н.Д. Беляев, Ф.Н. Духовской, Н.Н. Загрядская, Е.Б. Михаленко. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. 66 с.
3. Инженерная геодезия. Расчетно-графические задания: Учеб. пособие / В.Н. Гусев, В.С. Ермаков, Е.Б. Михаленко. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1997. 80 с.
4. Инженерно-геодезические измерения: Метод. указания / Сост. В.Н. Гусев, В.Я. Хотяков. Л.: Изд-во ЛПИ, 1989. 40 с.
5. Топографические карты и планы: Метод. указания / Сост. В.Н. Гусев, В.Я. Хотяков. Л.: Изд-во ЛПИ, 1988. 32 с.
6. Топографические планы и карты: Метод. указания / Сост. Н.И. Юркевич, Р.Ф. Рябошлык. Л.: Изд-во ЛПИ, 1983. 52 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Форма и размеры Земли	3
2. Общие понятия о картах, планах и профилях	8
3. Масштабы	11
Практическая часть	15
4. Условные знаки	16
Практическая часть	17
5. Измерение отрезков	18
Практическая часть	20
6. Измерение площадей	20
6.1. Устройство и поверки планиметра	23
6.2. Измерение площадей планиметром	25
7. Изображение рельефа горизонталями	28
7.1. Свойства горизонталей	32
7.2. Аналитическое интерполирование	35
7.3. Графическое интерполирование	36
7.4. Интерполирование на глаз	37
Практическая часть	37
8. Решение задач по топографическим картам	38
8.1. Определение отметок точек	38
8.2. Определение крутизны ската	39
8.3. Проведение линии по кратчайшему направлению с уклоном не более заданного (проектного)	40
8.4. Построение профиля по заданному направлению	41
8.5. Определение границы водосборной площади	42
Практическая часть	42
9. Определение планового положения точек земной поверхности	47
9.1. Географические координаты	47
9.2. Зональная система плоских прямоугольных координат (проекция Гаусса – Крюгера)	48
Практическая часть	51
10. Ориентирование линий, планов и карт	53
Практическая часть	58
11. Номенклатура топографических карт	59
11.1. Разграфка и номенклатура топографических карт	59

11.2. Определение номенклатуры топографической карты	64
12. План по материалам теодолитной съемки	66
13. Проект вертикальной планировки (проектирование горизонтальной	
площадки)	73
Практическая часть	86
14. Расчет разбивочных элементов для перенесения проектной линии в	
натуру	88
14.1. Вычисление исходных данных	89
14.2. Составление разбивочного чертежа	91
15. Оценка точности геодезических измерений	97
Библиографический список	102

МИХАЛЕНКО Евгений Борисович
ЗАГРЯДСКАЯ Наталия Николаевна
БЕЛЯЕВ Николай Дмитриевич
ВИЛЬКЕВИЧ Валентин Войтехович
ДУХОВСКОЙ Федор Николаевич
СМИРНОВ Александр Александрович

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ
РЕШЕНИЕ ОСНОВНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ НА ПЛАНАХ И КАРТАХ

Учебное пособие

Редактор *О.Е. Сафонова*
Технический редактор *А.И. Колодяжная*
Оригинал-макет подготовлен авторами

Директор Издательства Политехнического университета *А.В. Иванов*
Свод. темплан 2006 г.
Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97
Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции ОК 005–93, т. 2;
95 3005 – учебная литература

Подписано в печать	Формат 60x84/16.		
Усл. печ. л.	Уч.-изд. л.	Тираж 100.	Заказ

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.
Издательство Политехнического университета, член Издательско-полиграфической
ассоциации университетов России.
Адрес университета и издательства: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.