

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет имени П.О.
Сухого»

Кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений и
транспорт нефти»

**ГЕОДЕЗИЯ, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И
ГЕОМЕТРИЗАЦИЯ НЕДР**

Практикум по одноименной дисциплине для студентов специальности
1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений»

Гомель 2017

УДК 622.1+550.8
ББК 33.12

Рекомендовано кафедрой «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений и транспорт нефти» ГГТУ им.П.О. Сухого (протокол №10 от 24.03.2017 г.)

Рецензент: А.П. Гусев, к.г.-м.н., доцент, декан геолого-географического факультета УО ГГУ им. Ф.Скорины;

Абрамович О.К.

Геодезия и маркшейдерское дело: практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» дневной и заочной формы обучения / О.К. Абрамович – Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2017 - 59 с.

Практикум содержит задачи из трёх основных разделов дисциплины:

- геодезии;
- маркшейдерского дела;
- геометризация недр.

В основном, каждая последующая работа является логическим продолжением предыдущих заданий. Практические работы включают несколько задач, что способствует закреплению теоретического материала в полном объёме в соответствии с программой курса. В практикуме рассмотрены примеры решения наиболее типичных задач по геометризации недр.

Содержание

Практическое занятие № 1 Изучение содержания топографических планов и карт.....	4
Практическое занятие №2 Измерение по топокартам расстояний, определение координат и углов ориентирования.....	12
Практическое занятие №3 Разграфка и номенклатура топографических карт и планов.....	20
Практическое занятие №4 Решение задач с горизонталями.....	27
Практическое занятие № 5 Обработка материалов технического нивелирования.....	30
Практическое занятие № 6 Определение площадей графическим способом.....	46
Практическое занятие № 7 Определение площади при помощи квадратной палетки.....	47
Практическое занятие № 8 Определение площади при помощи параллельной палетки.....	48
Практическое занятие № 9 Аналитический способ определения площадей.....	51
Практическое занятие № 10 Определение площади при помощи полярного планиметра.....	53
Практическое занятие № 11 Геодезические расчёты при проектировании линейной части магистрального трубопровода по топографической карте.....	57
Практическое занятие №12 Решение задач по геометризации недр.....	74
Практическое занятие № 13 Решение задач по теории ошибок.....	82
Список литературы.....	97

Практическое занятие № 1

Изучение содержания топографических планов и карт

Цель занятия: изучить структуру топографической карты масштаба 1:10 000 и условные обозначения, принятые для планов и карт.

1. Теоретическая часть

Карты и планы классифицируют в основном по масштабам и назначению.

По масштабам карты подразделяются на мелко-, средне- и крупномасштабные. Мелкомасштабные карты мельче 1:1000000 – это карты обзорного характера и в геодезии практически не применяются; среднемасштабные (обзорно-топографические) карты масштабов 1:1000000, 1:500000, 1:300000 и 1:200000; крупномасштабные (топографические) – масштабов 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000. Принятый в Российской Федерации масштабный ряд заканчивается топографическими планами масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. В строительстве иногда составляют планы в масштабах 1:200, 1:100 и 1:50.

По назначению топографические карты и планы делятся на основные и специализированные. К *основным* относятся карты и планы общегосударственного картографирования. Это карты многоцелевого назначения, поэтому на них отображают все элементы местности.

Специализированные карты и планы создаются для решения конкретных задач отдельной отрасли. На них выборочно показывают ограниченный круг элементов (например, геологии, почвенных структур). К специализированным относятся и изыскательские планы, используемые только в период проектирования и строительства данного вида сооружений.

Условные знаки на планах и картах. На топографических картах и планах изображают разные объекты местности: контуры населенных пунктов, сады, огороды, озера, реки, линии дорог, электропередачи. Совокупность этих объектов называется *ситуацией*. Ситуацию изображают условными знаками.

Условные знаки, обязательные для всех учреждений и организаций, составляющих топографические карты и планы, устанавливаются Государственной службой геодезии и картографии РБ «Белгеодезия» и издаются либо отдельно для каждого масштаба, либо для группы масштабов. Хотя число условных знаков велико (около 400), они легко запоминаются, так как внешне напоминают вид и характер изображаемых объектов.

Условные знаки подразделяют на пять групп: площадные, линейные, внемасштабные, пояснительные, специальные.

Площадные условные знаки (рисунок 1.1, а) применяют для заполнения площадей объектов (например: пашни, леса, озера, луга); они состоят из знака границы объекта (точечный пунктир или тонкая сплошная линия) и заполняющих его изображений или условной окраски; например, на условном знаке 1 показан березовый лес; цифры (20/0,18)-4 характеризуют древостой, м: числитель – высоту, знаменатель – толщину ствола, 4 – расстояние между деревьями.

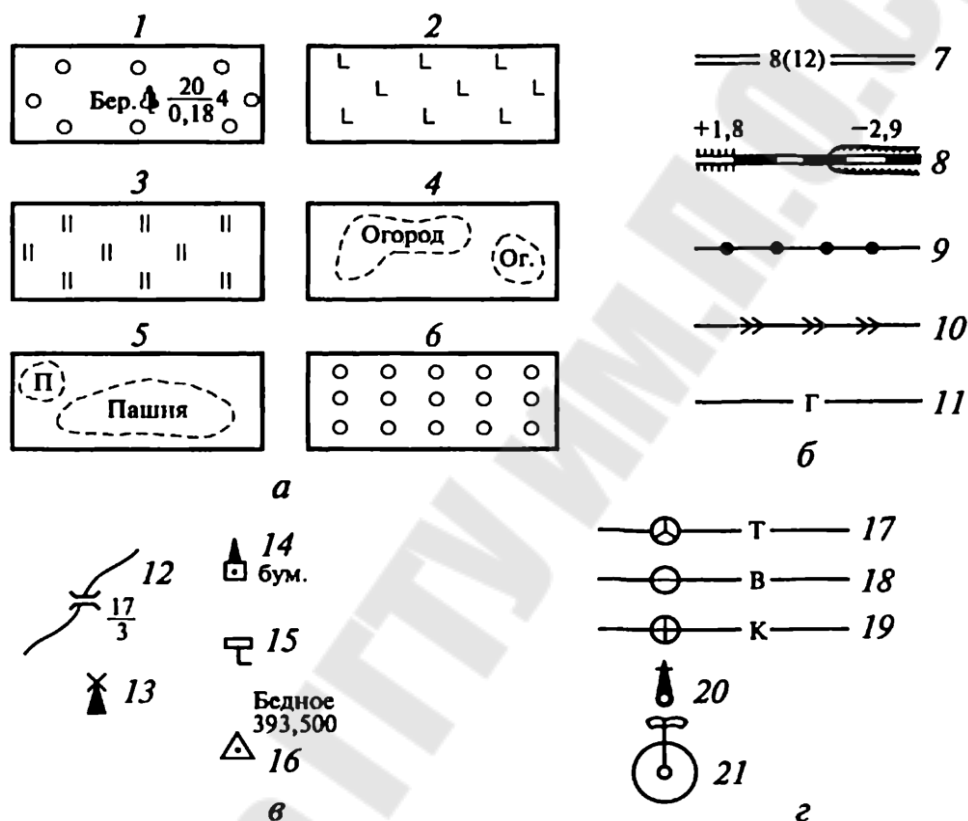


Рисунок 1.1 – Условные знаки: а – площадные; б – линейные; в – немасштабные; г – специальные; 1 – березовый лес; 2 – вырубка; 3 – луг; 4 – огород; 5 – пашня; 6 – фруктовый сад; 7 – шоссе; 8 – железная дорога; 9 – линия связи; 10 – линия электропередачи; 11 – магистральный трубопровод (газ); 12 – деревянный мост; 13 – ветряная мельница; 14 – завод, фабрика; 15 – километровый столб; 16 – пункт геодезической сети; 17 – трасса; 18 – водопровод; 19 – канализация; 20 – водозаборная колонка; 21 – фонтан

Линейными условными знаками (рисунок 1.1, б) показывают объекты линейного характера (дороги, реки, линии связи, электропередачи), длина которых выражена в данном масштабе. На условных изображениях приводятся различные характеристики объектов; например, на шоссе 7 показаны, м: ширина проезжей части – 8, всей дороги – 12; на железной дороге 8, м: +1,8 – высота насыпи, -2,9 – глубина выемки.

Немасштабные условные знаки (рисунок 1.1, в) служат для изображения объектов, размеры которых не отображаются в данном

масштабе карты или плана (мосты, километровые столбы, колодцы, геодезические пункты).

Как правило, внемасштабные знаки определяют местоположение объектов, но по ним нельзя судить об их размерах. На знаках приводятся различные характеристики, например: длина 17 и ширина 3 м деревянного моста 12, отметка 393,500 пункта геодезической сети 16.

Пояснительные условные знаки представляют собой цифровые и буквенные надписи, характеризующие объекты, например: глубину и скорость течения рек, грузоподъемность и ширину мостов, породу леса, среднюю высоту и толщину деревьев, ширину шоссе дорог. Их проставляют на основных площадных, линейных, внемасштабных знаках.

Специальные условные знаки (рисунок 1.1, г) устанавливают соответствующие ведомства отраслей народного хозяйства; их применяют для составления специализированных карт и планов этой отрасли, например знаки для маркшейдерских планов нефтегазовых месторождений – нефтепромысловые сооружения и установки, скважины, промышленные трубопроводы.

Чтобы придать карте или плану большую наглядность, для изображения различных элементов используют цвета: для рек, озер, каналов, заболоченных участков – синий; лесов и садов – зеленый; шоссе дорог – красный; улучшенных грунтовых дорог – оранжевый.

Все остальное дают черным цветом. На изыскательских планах цветными делают подземные коммуникации (трубопроводы, кабели).

2. Практическая часть

1. Составить структурную схему карты масштаба 1:10 000 с указанием её элементов и их назначения (Приложение А);

2. Сгруппировать условные обозначения для карты масштаба 1:10 000 по следующей классификации:

- 2.1. Внемасштабные знаки,
- 2.2. Площадные знаки,
- 2.3. Линейные знаки,
- 2.4. Линейные знаки в сочетании с внемасштабными,
- 2.5. Площадные знаки в сочетании с линейными,
- 2.6. Пояснительные знаки,
- 2.7. Внемасштабные знаки в сочетании с пояснительными знаками,
- 2.8. Линейные знаки в сочетании с пояснительными знаками,
- 2.9. Площадные знаки в сочетании с пояснительными знаками,

2.10. Площадные знаки в сочетании с линейными и пояснительными знаками,

2.11. Линейные знаки в сочетании с внемасштабными и пояснительными знаками.

3. Вычертить фрагмент топокарты в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 по вариантам. Размеры знаков для указанных масштабов соблюдать. Предварительно составить легенду с указанием размеров знаков. Возможен чертёжный или компьютерный варианты. Выполнение проводится на плотных чертёжных листах А4. (Приложение Б, приложение В)

Пояснение к выполнению задания

Показать на структурной схеме карты её элементы:

- математическую основу;
- вспомогательное оснащение;
- картографическое изображение;
- дополнительные данные.

Перечисленные элементы подразделяются в свою очередь также на ряд элементов:

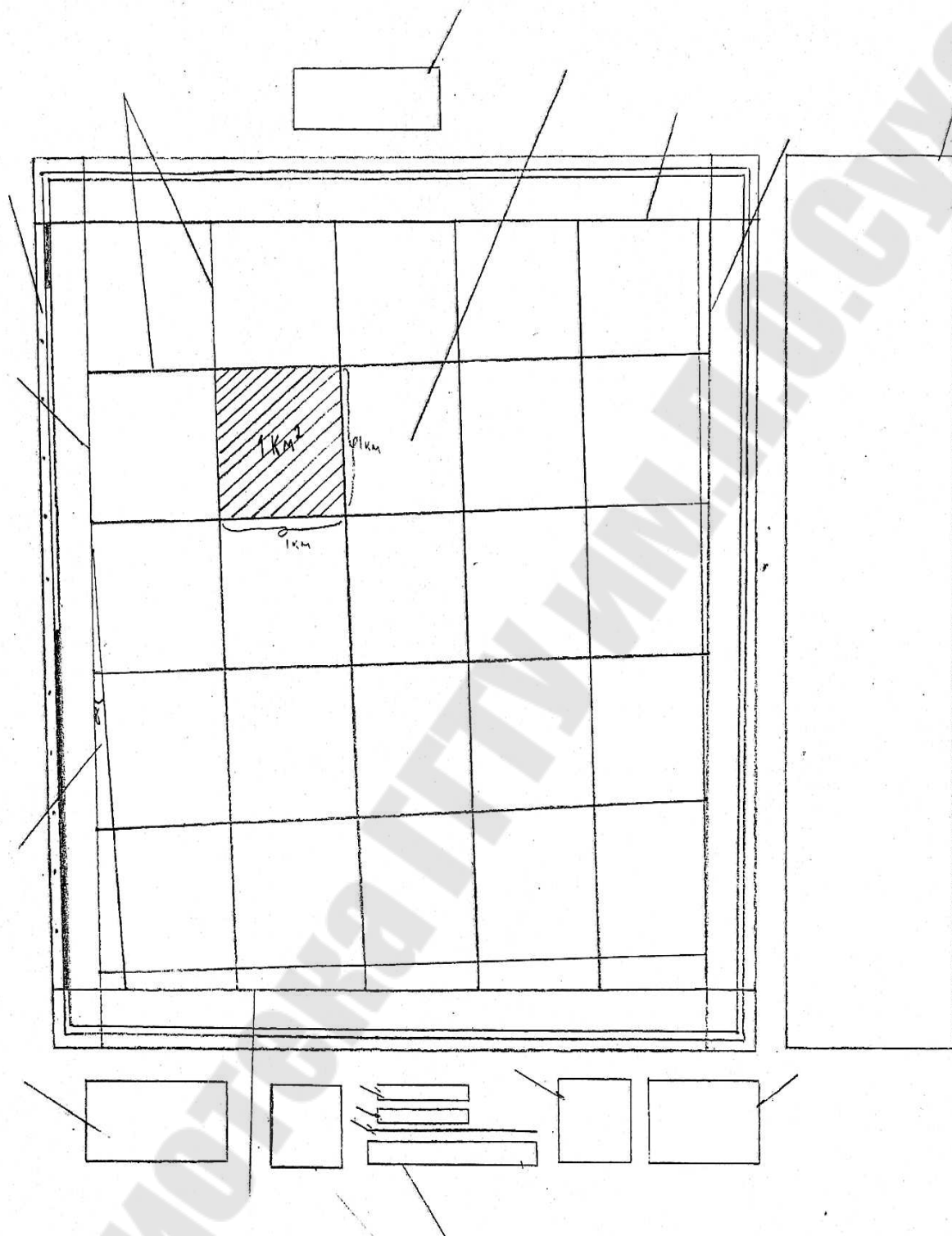
- 1) номенклатуру, которая определяет место нашей карты в общей системе карт;
- 2) картографическое изображение, несущее основную нагрузку карты;
- 3) линии координатной километровой сетки, служащие для определения координат и измерения углов ориентирования;
- 4) параллели, ограничивающие картографическое изображение с юга и с севера;
- 5) меридианы, ограничивающие картографическое изображение с запада и с востока;
- 6) угол сближения меридианов – т.е. угол между истинным и осевым меридианом;
- 7) минутную рамку, служащую для определения координат;
- 8) легенду, т.е. систему условных обозначений, облегчающую чтение карты;
- 9) текстовые данные о начальных направлениях для установления связи углов ориентирования;
- 10) схему взаимного расположения начальных меридианов: истинного, магнитного и осевого;
- 11) численный масштаб;
- 12) именованный масштаб;
- 13) линейный масштаб;
- 14) сведения о высоте сечения рельефа и принятой на карте систем высот;
- 15) график заложений для определения крутизны склонов;

16) выходные данные карты, предоставляющие сведения о дате издания и организации, издавшей карту.

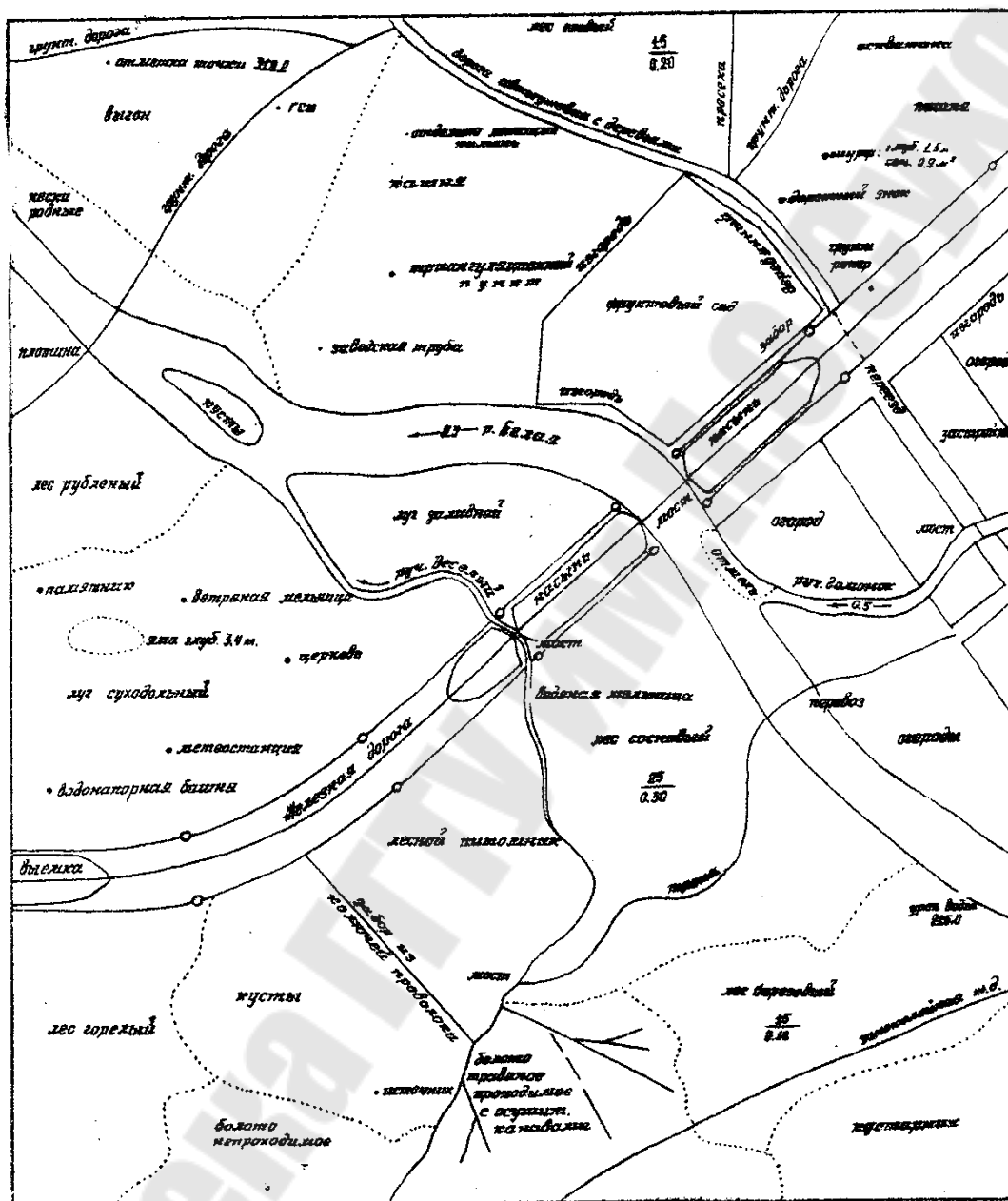
Вопросы для самоконтроля

- 1) Знание назначения каждого элемента карты и его расположение на листе.
- 2) Классификация условных знаков и определение каждой группы.
- 3) Чтение карты без обращения к легенде.

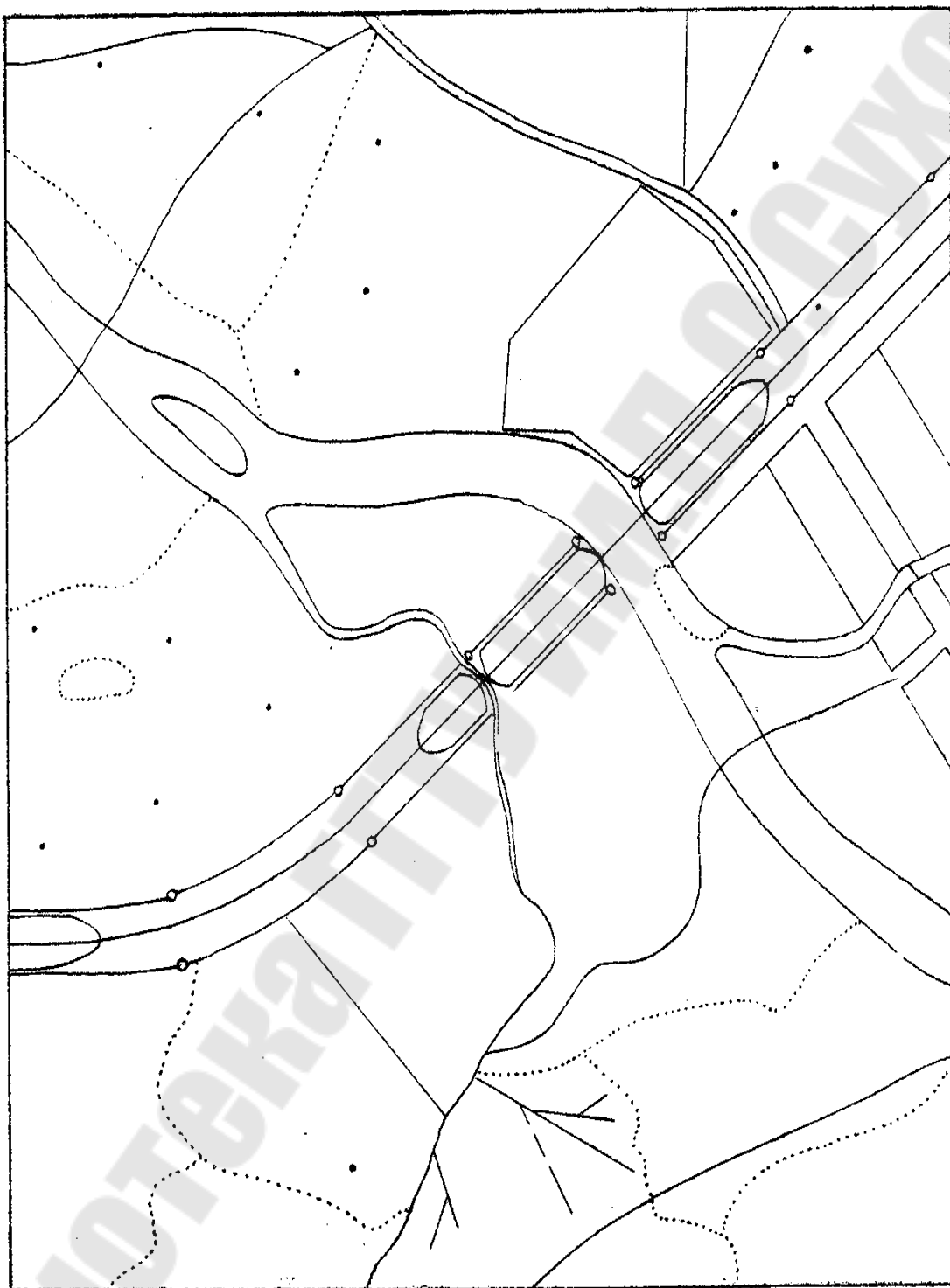
ПРИЛОЖЕНИЕ А (Задание 1)



ПРИЛОЖЕНИЕ Б (Задание 3)



ПРИЛОЖЕНИЕ В (Задание 3)



Практическое занятие №2

Измерение по топокартам расстояний, определение координат и углов ориентирования

Цель занятия: научиться решать по топографическим картам простейшие картометрические задачи.

1. Теоретическая часть

Измерение длин линий

На топографической карте можно непосредственно, учитывая масштаб, измерить длину горизонтальных положений. Для получения расстояний необходимо учесть угол наклона местности.

Используют следующие виды масштабов: численный, линейный и поперечный.

Масштаб, выраженный дробью с числителем, равным единице, называется *численным* масштабом, например, 1:500, 1:2000 и др.

Знаменатель дроби показывает, во сколько раз действительные длины горизонтальных проекций линий местности уменьшены при изображении их на карте. Чем больше знаменатель численного масштаба, тем мельче считается масштаб, и наоборот. Например, масштаб карты 1:25 000 в 2,5 раза мельче, чем масштаб карты 1:10 000.

Если на карте масштаба 1:М длина линии равна β , то длина горизонтального проложения этой линии на местности будет равна

$$S = \beta M$$

Для удобства практического пользования строят линейный или поперечный масштаб. Линейный масштаб (рисунок 2.1) представляет собой прямую линию, на которой отложены равные отрезки, называемые основанием масштаба.

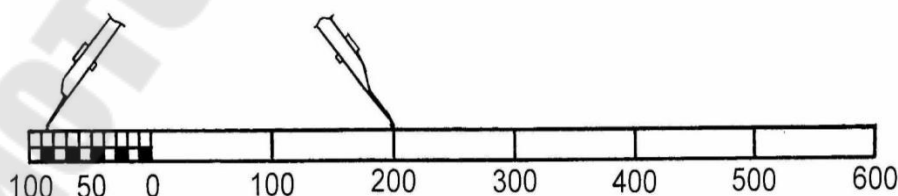


Рисунок 2.1 – Линейный масштаб 1:5000

Масштабы, в основании которых принято 2 см, называются нормальными. Первое основание делится на десять равных частей, каждая – ещё пополам.

На рисунке 2.1 измеренное расстояние равно 285 м. При работе с картой (планом) возникает необходимость в понятии точности масштаба карты (плана). Известно, что невооружённый глаз человека может различать на бумаге отрезок длиной не менее 0,1 мм. Длина отрезка местности, соответствующая этому отрезку карты, называется точностью масштаба карты. Так, точность масштабов карт 1:10 000, 1:5000, 1:100 000 соответственно равно 1 м; 0,5 м; 10 м. Точность масштаба является определяющим фактором при выборе масштаба съёмки, если известны минимальные размеры предметов, подлежащих изображению на карте.

Более точно измерения длин линий по карте или плану можно выполнить с помощью поперечного масштаба.

На рисунке 2.2 показан нормальный поперечный масштаб.

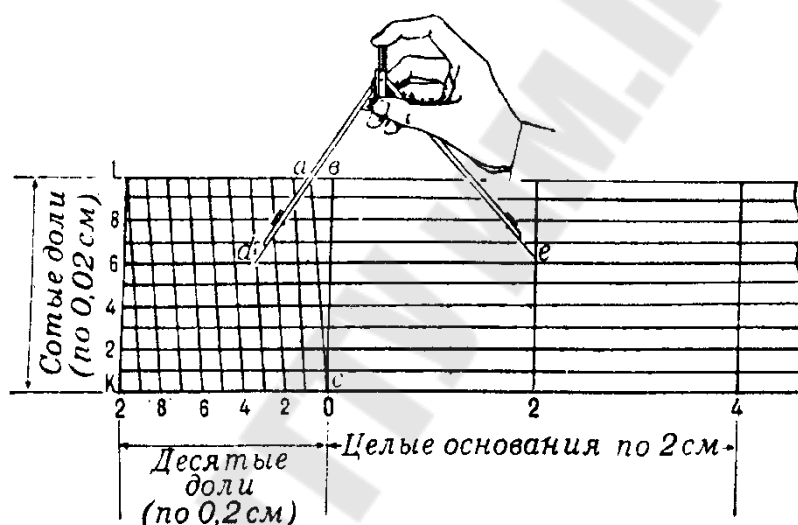


Рисунок 2.2 – Нормальный поперечный масштаб

Приведено 3 основания по 2 см. В каждой точке восстановлены перпендикуляры длиной 2 см. На крайних перпендикулярах отложено по 10 равных отрезков, через концы которых проведены линии, параллельные основаниям. Верхняя ($L - в$) и нижняя ($K - с$) линии первого основания делятся на 10 равных частей (по 2 мм). Точка a соединяется с $с$, затем параллельно линии $a - с$ проводятся другие *трансверсали*.

Половина наименьшего деления ($a - b$) поперечного масштаба, равная 0,01 см, соответствует *точности масштаба*. По поперечному масштабу можно инструментально откладывать (измерять) расстояния с графической точностью масштаба карт. Длина ломаной линии измеряется путём постепенного спрямления её (рисунок 2.3).

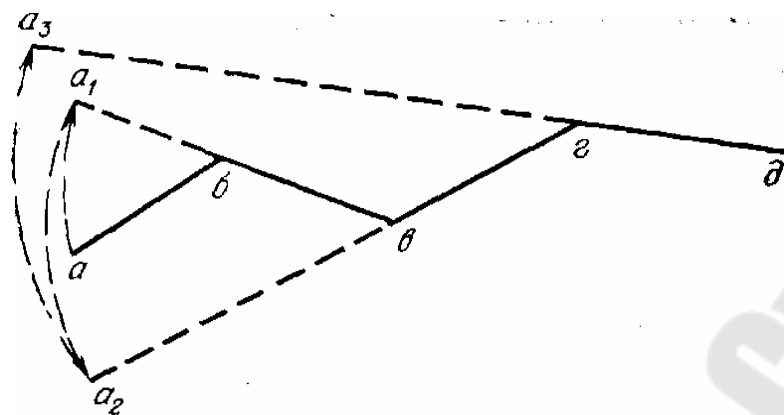


Рисунок 2.3 – Измерение ломаной линии ($a-b-c-d$) методом спрямления

Длину извилистой линии можно получить последовательным откладыванием на ней циркулем отрезка длиной 2-4 мм (рисунок 2.4). Величина отрезка зависит от извилистости измеряемой линии.

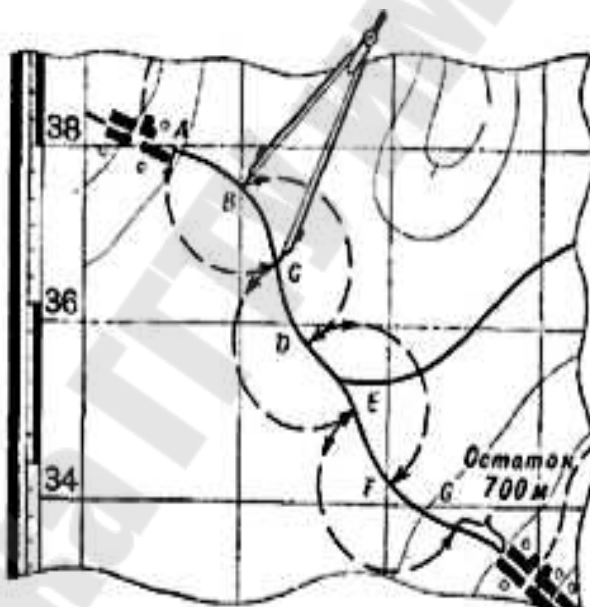


Рисунок 2.4 – Измерение извилистой линии раствором циркуля

Определение прямоугольных и географических координат

Положение любой точки земной поверхности определяется однозначно, если известны ее координаты и высота. В геодезии применяются астрономические, геодезические и прямоугольные координаты. При решении ряда инженерных задач допустимо не учитывать уклонение отвесных линий, т. е. угол несоответствия нормали и отвесной линии, при этом не различают астрономические и геодезические координаты, и называют их *географическими*. Географические координаты – это угловые величины. Для определения географических координат φ , λ используется рамка с минутными делениями. Счет широт

идет от экватора ($\varphi = 0$) к полюсу ($\varphi = 90^\circ$). Широты бывают южные и северные. Северные положительные, южные отрицательные. Счет долгот идет от Гринвичского меридиана ($\lambda = 0$) на восток до ($\lambda = 180^\circ$) и на запад до ($\lambda = 180^\circ$). Восточные широты положительные, западные отрицательные.

Внутренняя рамка топографической карты образована выпрямленными дугами меридианов и параллелей. В углах этой рамки подписаны географические координаты. Внешняя минутная рамка разделена на отрезки (черного и белого цветов), соответствующие 1 минуте ($1'$) широты или долготы. Точками каждый отрезок в $1'$ разделен на 6 частей по 10 секунд ($10''$) каждая. Минутная рамка для отсчета широт расположена вертикально, а для отсчета долгот – горизонтально.

Для определения географических координат точки необходимо провести перпендикуляры к линиям минутной рамки. Широта точки будет складываться из широты южной рамки листа карты, количества минут, отсчитанных до ближайшей южной параллели и приращения от параллели до точки (в секундах). Аналогично долгота точки будет равна сумме долготы западной рамки листа, количества минут и секунд (рисунок 2.5).

Прямоугольными координатами называются линейные величины, определяющие относительное положение точек на плоскости: абсцисса – x ($x = 0$ на экваторе) – расстояние в метрах от экватора до данной точки, и ордината y ($y = 500$ км на пересечении осевого меридиана зоны и экватора), расстояние до точки от осевого меридиана. Для определения прямоугольных координат и нанесения точек по заданным координатам на топографических картах имеется координатная (километровая) сетка.

Вертикальные линии сетки параллельны осевому меридиану зоны, а горизонтальные – экватору. Полная подпись абсцисс и ординат этих линий даются вблизи углов карты ($6066; 4312$), остальные подписывается сокращенно двумя последними цифрами ($67; 13$ и т.д.). Прямоугольные координаты определяют с помощью поперечного масштаба и циркуля-измерителя (рисунок 2.6). Чтобы определить абсциссу точки, необходимо измерить кратчайшее расстояние (по перпендикуляру) в метрах от точки до южной координатной линии и прибавить к значению координатной линии, выраженной в км. Для определения ординаты точки измеряют расстояние в метрах по перпендикуляру от точки до западной координатной линии и прибавляют к полному значению ординаты выраженной в километрах.



Рисунок 2.5 – Определение географических координат

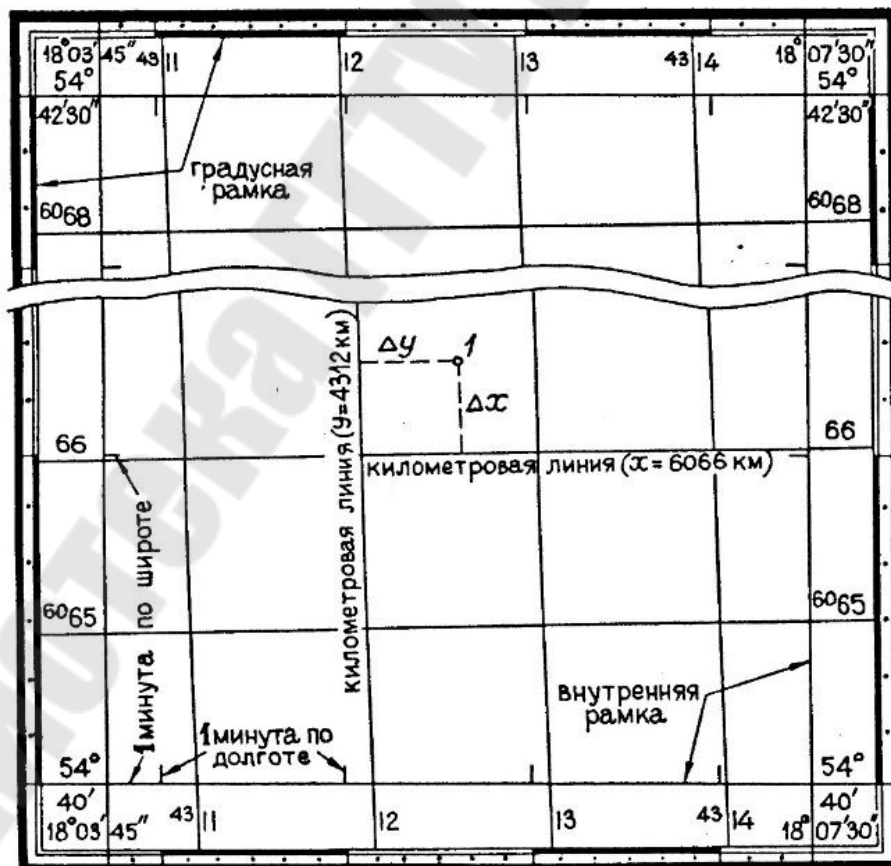


Рисунок 2.6 – Определение прямоугольных координат

Определение дирекционных углов и румбов

Дирекционным углом α называется угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана (вертикальной линии

километровой сетки) по ходу часовой стрелки до заданного направления, причем $\alpha_{обр} = \alpha_{пр} \pm 180^\circ$. Дирекционный угол измеряется транспортиром (рисунок 2.7).

Румб (r) – это острый угол, отсчитываемый от ближайшего направления осевого меридиана по ходу или против хода часовой стрелки до заданного направления. Его можно вычислить через дирекционный угол (рисунок 2.8).

Для контроля румбы и дирекционные углы вычисляются по формулам:

$$tgr(AB) = \frac{\Delta y}{\Delta x} \Rightarrow r(AB) = arctg \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

где Δx и Δy – разница прямоугольных координат между точками.

Затем по знакам Δx и Δy определяется номер четверти и по соответствующей формуле вычисляется значение α (рисунок 2.7).

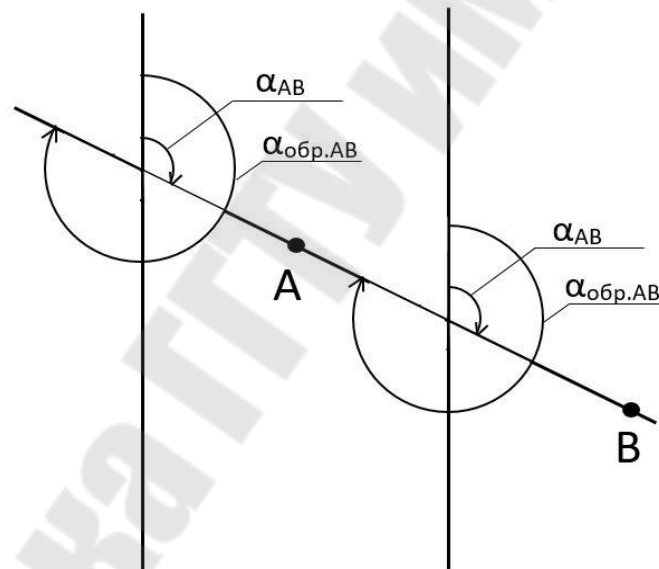


Рисунок 2.7 – Определение дирекционных углов

Определение истинных магнитных азимутов

Истинным (географическим) азимутом ($A_{и}$) называется угол, отсчитываемый от северного направления истинного (географического) меридиана по ходу часовой стрелки до заданного направления.

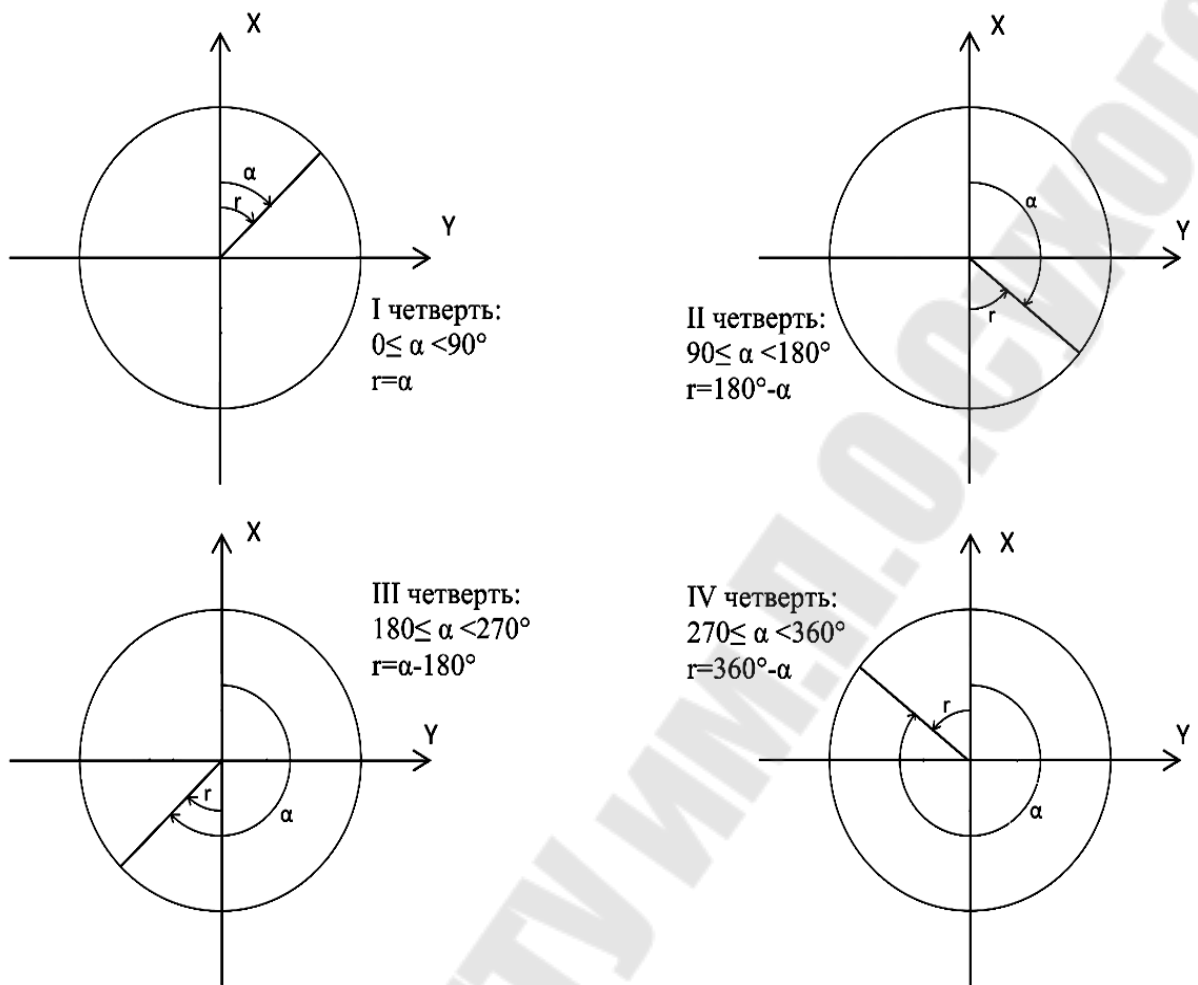


Рисунок 2.8 – Вычисление румбов

Для непосредственного измерения истинного азимута линии, через её начальную точку проводят линию, параллельную линии географического меридиана и измеряют азимут транспортиром (аналогично дирекционному углу).

Если известен дирекционный угол данного направления и сближение меридианов (сближение меридианов берут с вспомогательного чертежа, помещённого за южной рамкой карты, то можно определить истинный азимут.

Магнитный азимут (A_m) определяется аналогично истинному азимуту и дирекционному углу, только за начальное направление берётся направление магнитного меридиана.

1. Практическая часть

1. На местности измеренное расстояние равно значениям

$$(875 + N) \text{ м,}$$

$$(261 + N) \text{ м,}$$

$1 \text{ км} (93 + N) \text{ м}$,

где N – номер варианта. Какой длины эти отрезки расстояний будут на картах масштабов 1:25 000, 1:50 000, 1:200 000? Ответ оформить в виде таблицы.

2. На карте масштаба 1:25 000 измерено расстояние АВ, равное $6,2+N,0$ мм. Какому расстоянию на местности оно соответствует?

3. Измеренное на карте масштаба 1:20 000 расстояние от подошвы до вершины горы равно $1,94 + N,00$ см. Крутизна склона $\nu = 30^\circ$. Вычислить чему равно расстояние от подошвы до вершины на местности.

4. На карте масштаба 1:25000 участок местности занимает площадь в $(4 + N)$ см². Во сколько раз меньше будет его изображение на карте масштаба 1:5 000, 1:10 000. Ответ оформить в виде таблицы.

5. Какой численный масштаб имеют карты, на которых в 2 см – 1 км, в 2,5 см – 5 км, в 4 см – 1 км?

6. Составить таблицу зависимости длины основания поперечного масштаба от масштабов карты: 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000.

7. Какова предельная точность масштабов карт: 1:25 000, 1:2000, 1:50 000, 1:36 000. Ответ оформить в виде таблицы.

8. Определить с помощью нормального поперечного масштаба расстояние на местности, соответствующее отрезку АВ на карте масштаба 1:10 000.

9. Определить длину реки по топографической карте масштаба 1:10 000.

10. Определить длину ломаной линии, состоящей из 5-ти отрезков, построенной в масштабе 1:25 000.

11. Построить на чертёжной бумаге поперечный масштаб для масштаба 1:10000. Определить длину основания и наименьшего деления. *Выполнение пунктов 8, 9, 10, 11 – пояснить схемой.*

12. Определить прямоугольные координаты двух произвольно выбранных точек по карте масштаба 1:10 000. Определить географические координаты тех же точек. *Схему определения для пунктов 12, 13 зарисовать в тетради.*

13. Нарисовать 6 возможных случаев взаимного расположения направлений истинного, магнитного, осевого меридианов; показать все возможные углы ориентирования и выразить связь между ними.

14. Найти на топографической карте два таких направления, чтобы их дирекционные углы оказались в разных четвертях. Измерить дирекционные углы, найти дирекционные углы обратных направлений, румбы и магнитные азимуты прямых и обратных направлений.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Определение географических и прямоугольных координат.
- 2) Определение длин линий.
- 3) Определение углов ориентирования.

Практическое занятие №3

Разграфка и номенклатура топографических карт и планов

Цель занятия: изучение системы разграфки и номенклатуры топокарт, уяснение связи и зависимости номенклатуры топокарт с масштабами и координатами рамок листов карт.

1. Теоретическая часть

Классификация, назначение, разграфка и номенклатура топографических карт. Топографическими называются такие карты, полнота содержания которых позволяет решать по ним задачи инженерного, научного и оборонного значения. Карты либо являются результатом непосредственной съёмки местности, либо составляются по имеющимся картографическим материалам. Деление многолистной карты на отдельные листы по определенной системе называется разграфкой карты, а обозначение листа многолистной карты – номенклатурой. В картографической практике применяются следующие системы разграфки карт:

- по линиям картографической сетки меридианов и параллелей;
- по линиям прямоугольной координатной сетки;
- по вспомогательным линиям, параллельным среднему меридиану карты и линии ему перпендикулярной и т.п.

Наибольшее распространение в картографии получила разграфка карт по линиям меридианов и параллелей, поскольку в этом случае положение каждого листа карты на земной поверхности точно определено значениями географических координат углов рамки и положением ее линий. Такая система является универсальной, удобной для изображения любых территорий Земного шара, кроме полярных областей. Она применяется в России, США, Франции, Германии и многих других странах мира (рисунок 3.1).

Основой разграфки и номенклатуры листов карты масштаба 1:500 000 и крупнее являются международная разграфка и номенклатура листов карты масштаба 1:1 000 000. Листы этой карты по параллелям образуют пояса, каждый по 4° широты, а по меридианам – колонны, каждая по 6°

долготы. Пояса обозначаются заглавными буквами латинского алфавита (от *A* до *V*), начиная от экватора к северу и югу, а колонны арабскими цифрами (от 1 до 60) от меридиана 180° с запада на восток (рисунок 3.2). Номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000 состоит из буквы, обозначающей пояс, и номера колонны (например, лист с г. Москвы обозначается *N-37*). Схема листов карты масштаба 1:1 000 000 дана на рисунке 3.1.

Лист карты 1:1 000 000 содержит 4 листа карты 1:500 000, обозначаемых заглавными буквами *A, B, B, Г*; 36 листов карты 1:200 000, обозначаемых от *I* до *XXXVI*; 144 листа карты 1:100 000, обозначаемых от 1 до 144.

Лист карты 1:100 000 содержит 4 листа карты 1:50 000, которые обозначаются заглавными буквами *A, B, B, Г* (рисунок 3.3).



Рисунок 3.1 – Схема листов карты масштаба 1:1 000 000

Лист карты 1:50 000 делится на 4 листа карты 1:25 000, которые обозначаются строчными буквами *a, б, в, г* (рисунок 3.3).

В пределах листа карты 1:1 000 000 расстановка цифр и букв при обозначении листов карт 1:500 000 и крупнее производится слева направо по рядам и в направлении к южному полюсу. Начальный ряд примыкает к северной рамке листа.

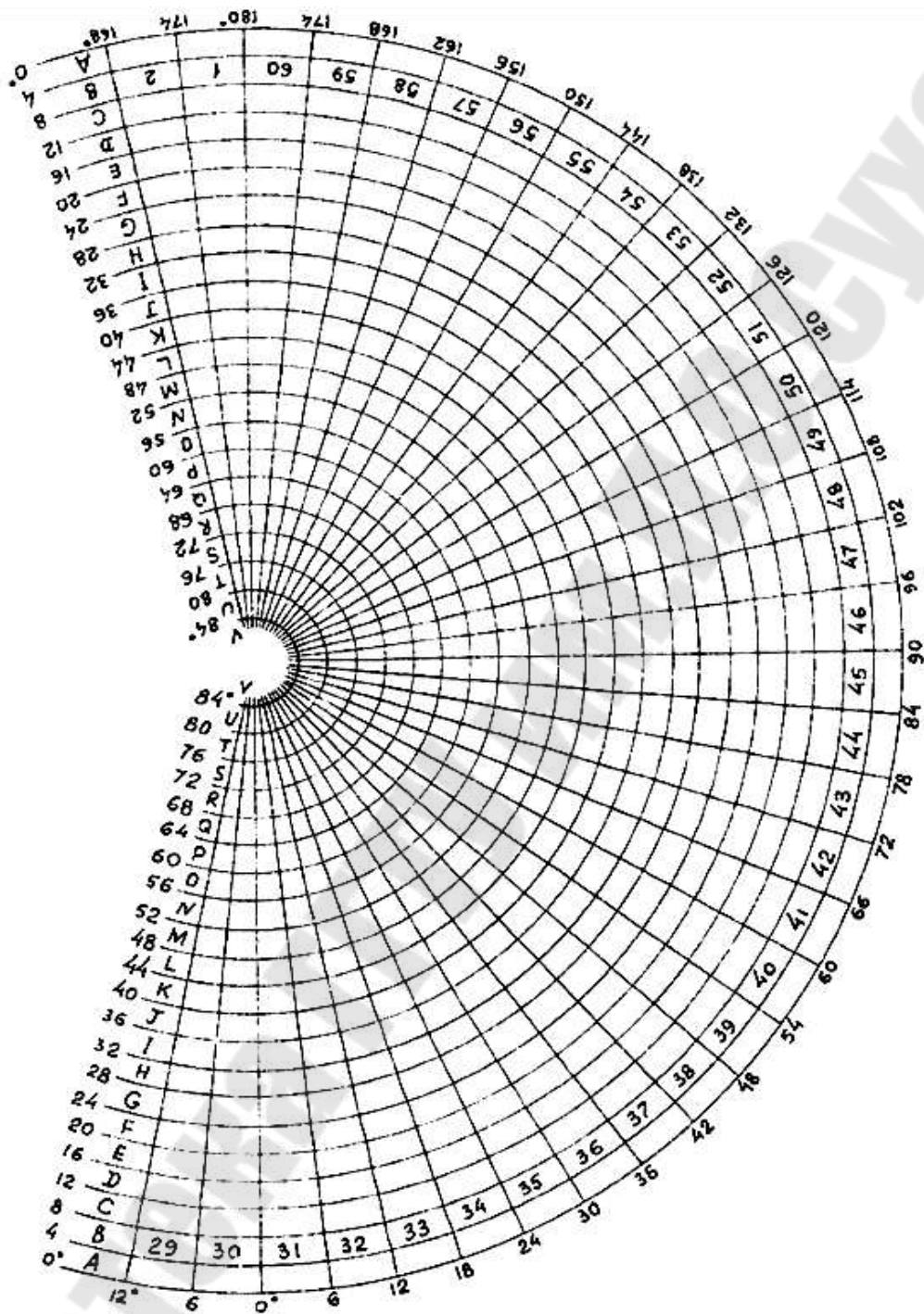


Рисунок 3.2 – Схема обозначения листов

Недостаток этой системы разграфки – изменение линейных размеров северной и южной рамок листов карт в зависимости от географической широты. В результате по мере удаления от экватора листы приобретают вид все более узких полос, вытянутых вдоль меридианов. Поэтому топографические карты России всех масштабов от 60 до 76° северной и южной широт издаются сдвоенными по долготе, а в пределах от 76 до 84°

– счетверенными (в масштабе 1:200000 – строенными) по долготе листами.

Номенклатуры листов карт масштабов 1:500 000, 1:200 000 и 1:100 000 слагаются из номенклатуры листа карты 1:1 000 000 с последующим добавлением обозначений листов карт соответствующих масштабов. Счет поясов ведется от экватора к полюсам, а колон – от меридиана 180° с запада на восток.

Для получения карты масштаба 1:500000 лист карты масштаба 1:1000000 делят на 4 части, которые обозначают прописными буквами русского алфавита (рисунок 3.3).

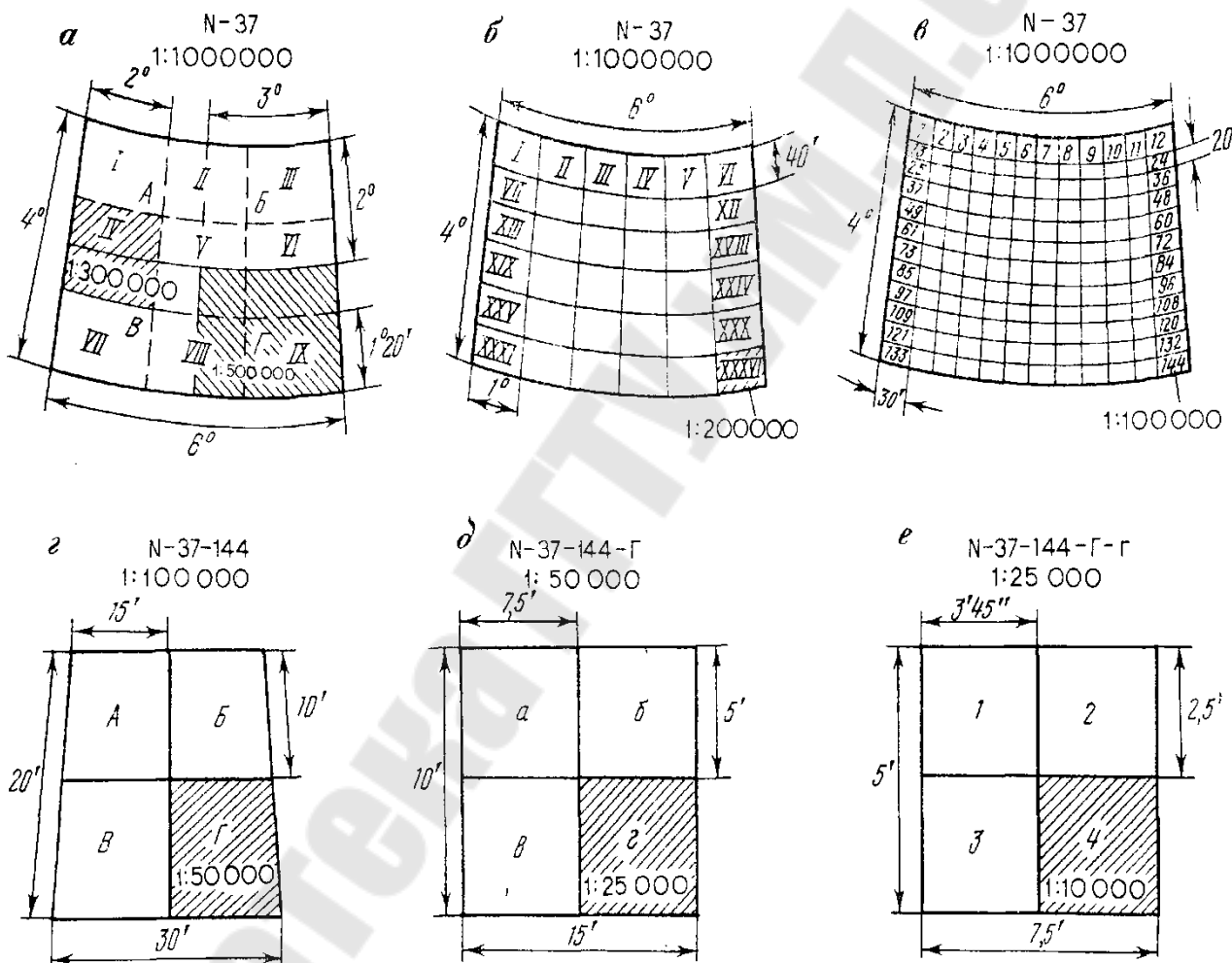


Рисунок 3.3 – Номенклатура карт масштабов от 1:200 000 до 1:10 000

Номенклатура листа карты масштаба 1:500 000 складывается из номенклатуры листа исходного масштаба 1:1 000 000 с добавлением индекса листа масштаба 1:500 000, например, N-37-Г.

В одном листе карты масштаба 1:1 000 000 содержится 9 листов карты масштаба 1:300 000, которые обозначаются римскими цифрами от I

до IX, подписываемыми перед номенклатурой миллионного листа, например, IX-N-37 (рисунок 3.3).

Если миллионный лист карты разделить на 36 частей, то каждая часть будет составлять лист карты масштаба 1:200 000. Каждый лист нумеруется римскими цифрами от I до XXXVI, начиная с северо-западного угла. Номенклатура листа карты масштаба 1:200 000 складывается из номенклатуры миллионного листа с добавлением к ней соответствующей римской цифры, например, N-37-XXXVI (рисунок 3.3).

Лист карты масштаба 1:100 000 получается при делении листа карты масштаба 1:1000 000 на 144 части, которые нумеруются арабскими цифрами от 1 до 144. Его номенклатура складывается из номенклатуры миллионного листа с добавлением к ней соответствующей арабской цифры, например, N-37-144 (рисунок 3.3).

Листы карт масштабов от 1:50 000 до 1:10 000 получают последовательным делением листа карты более мелкого предыдущего масштаба на 4 части. Так, если разделить лист карты масштаба 1:100 000 на 4 части, обозначив каждую из них прописными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, то получим 4 листа карты масштаба 1:50 000. Номенклатура листа Г масштаба 1:50 000 будет N-37-144-Г (рисунок 3.3). Лист карты масштаба 1:50 000 делится на 4 листа масштаба 1:25 000, обозначаемые строчными буквами русского алфавита. Например, лист г масштаба 1:25 000 имеет номенклатуру N-37-144-Г-г (рисунок 3.3).

Лист карты масштаба 1:25 000 делится на 4 листа масштаба 1:10 000, которые обозначаются арабскими цифрами 1, 2, 3, 4. Номенклатура листа карты данного масштаба получается добавлением справа к номенклатуре листа карты масштаба 1:25000 соответствующей арабской цифры; например, лист 4 имеет номенклатуру N-37-144-Г-г-4 (рисунок 3.3).

Номенклатура позволяет легко отыскать не только нужный лист карты данного масштаба, но и найти его положение на земном шаре, используя географические координаты (широту и долготу) углов рамок трапеций.

Лист карты масштаба 1:100 000 служит также основой для разграфки и номенклатуры листов топографических планов масштабов 1:5000 и 1:2000 (рисунок 3.4). Одному листу карты масштаба 1:100 000 соответствуют 256 (16×16) листов плана масштаба 1:5000, которые обозначаются арабскими цифрами 1, 2, 3, ..., 256, заключенными в скобки. Например, номенклатура 256-го листа плана масштаба 1:5000 запишется: N-37-144-(256) (рисунок 3.4). Одному листу плана масштаба 1:5000 соответствуют 9 листов плана масштаба 1:2000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита от а до и, также заключенными в скобки. Тогда номенклатура листа плана масштаба 1:2000 будет: N-37-144-(256-и) (рисунок 3.4).

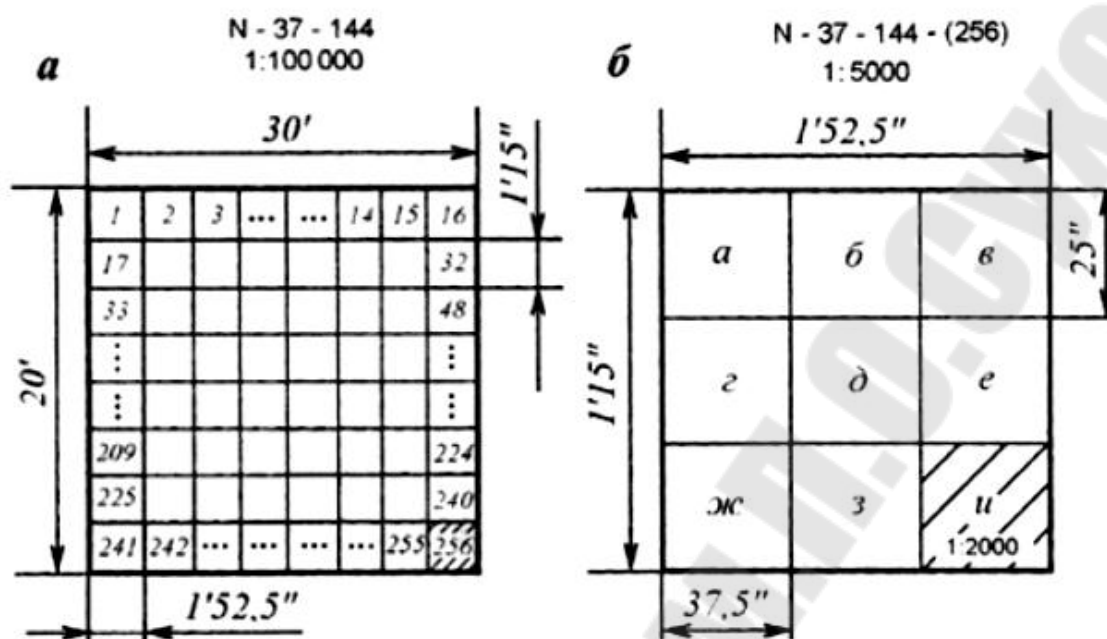


Рисунок 3.4 – Номенклатуры карт масштабов 1:5000 и 1:2000

Для планов масштабов 1:5000 и 1:2000, создаваемых на участке незастроенной территории площадью более 20 км², в основу разграфки положен лист карты масштаба 1:100 000, т.е. применяется государственная система разграфки и номенклатуры. Листы планов создаются в трехградусных зонах; сетка прямоугольных координат строится в виде квадратов 10 × 10 см. Листы планов масштаба 1:5000 получают делением листа масштаба 1:100 000 на 256 частей меридианами и параллелями. Размеры листа - 1'52.5" по долготе и 1'15" по широте.

Для топографических планов, создаваемых на территории городов и на участки незастроенной территории площадью менее 20 км², применяется *прямоугольная разграфка* (рисунок 3.5). За ее основу принимается лист плана масштаба 1:5000; листы плана масштаба 1:5000 нумеруются на участке съемки порядковыми номерами от 1 и далее.

Лист плана масштаба 1:5000 делится на 4 части и получают листы плана масштаба 1:2000, которые обозначаются русскими заглавными буквами, например, 5-Г. Лист плана масштаба 1:2000 делится на 4 листа масштаба 1:1000 или на 16 листов масштаба 1:500. Листы плана масштаба 1:1000 обозначаются римскими цифрами от I до IV, например, 5-Г-IV; листы плана масштаба 1:500 обозначаются арабскими числами от 1 до 16, например, 5-Г-16.

Размеры листа плана масштаба 1:5000 - 40 × 40 см; размеры листа В плана масштабов 1:2000, 1:1000, 1:500 - 50 × 50 см.



Рисунок 3.5 – Схема государственной и прямоугольной разграфки

2. Практическая часть

1. Определить номенклатуры карт с масштабами от 1:1 000 000 до 1:2000, если известно, что в них находятся точка с географическими координатами:

$$\varphi = 48^\circ (48 + N)' 48''$$

$$L = 125^\circ (25 + N)' 25''$$

где N – номер варианта.

2. Определить географические координаты рамок листа карты по заданной номенклатуре:

$$D - (2 + N) - B$$

$$K - (5 + N) - (144 - N) - 1$$

где N – номер варианта

3. Определить номенклатуру восьми смежных листов, прилегающих к месту заданной карты:

$$K - (2 + N) - (12 + N) - 1 - a$$

где N – номер варианта.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Понятие разграфки и номенклатуры.
- 2) Принятая система государственной разграфки и номенклатуры.
- 3) Прямоугольная разграфка.

Практическое занятие №4 Решение задач с горизонталями

Цель занятия: научиться читать рельеф, изображенный на карте, и решать наиболее часто встречающиеся задачи с горизонталями.

1. Теоретическая часть

Рельефом местности называется совокупность неровностей земной поверхности. В зависимости от характера рельефа местность подразделяют на равнинную, всхолмленную и горную. Равнинная местность имеет слабовыраженные формы или почти совсем не имеет неровностей; всхолмленная характеризуется чередованием сравнительно небольших по высоте повышений и понижений; горная представляет собой чередование возвышений высотой более 500 м над уровнем моря, разделенных долинами.

Способ изображения рельефа на картах и планах должен давать возможность судить о направлении и крутизне скатов, а также определять отметки точек местности. Вместе с тем он должен быть наглядным. Известны различные способы изображения рельефа: перспективное, штриховка линиями разной толщины, цветной отмыв (горы – коричневые, лощины – зеленые), подписи отметок точек, горизонтали. Наиболее совершенные с инженерной точки зрения способы изображения рельефа – горизонталями в сочетании с подписью отметок характерных точек (рисунок 4.1) и цифровой.

Горизонталь – это линия на карте, соединяющая точки с равными высотами. Если представить себе сечение поверхности Земли горизонтальной (уровенной) поверхностью P_0 , то линия пересечения этих поверхностей, ортогонально спроецированная на плоскость и уменьшенная до размера в масштабе карты или плана, и будет горизонталью. Если поверхность P_0 расположена на высоте H от уровенной поверхности, принятой за начало отсчета абсолютных высот,

то любая точка на этой горизонтали будет иметь абсолютную отметку, равную H . Изображение в горизонталях рельефа всего участка местности можно получить в результате сечения поверхности этого участка рядом горизонтальных плоскостей P_1, P_2, \dots, P_n , расположенных на одинаковом расстоянии h друг от друга. В результате на карте получают горизонтали с отметками $H + h, H + 2h$ и т.д.

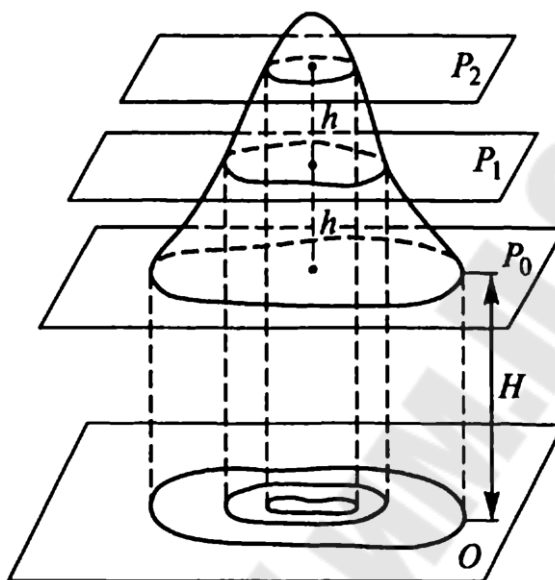


Рисунок 4.1 – Изображение рельефа горизонталями

Расстояние h между секущими горизонтальными плоскостями называется высотой сечения рельефа. Ее значение указывается на карте или плане под линейным масштабом. В зависимости от масштаба карты и характера изображаемого рельефа высота сечения различна.

Расстояние между горизонталями на карте или плане называется заложением (a). Чем больше заложение, тем меньше крутизна ската на местности, и наоборот.

Изучение рельефа начинается с определения по карте направлений повышения и понижения местности, руководствуясь следующими признаками:

- бергштрихи направлены в сторону понижения;
- основания цифр, которыми подписаны горизонтали, располагаются в направлении понижения ската;
- к водоёмам и водотокам местность понижается;
- перегиб горизонталей на линиях хребтов и тальвегах лощин.

Отметки точек определяются линейным интерполированием между горизонталями

$$x = \frac{(a_1 + a_2) - 10 \text{ м}}{a_1 + a_2} \times 10$$

Крутизна ската характеризуется либо углом наклона ν , либо уклоном, вычисляемым

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{a}$$

где h – высота сечения рельефа, a – заложение ската.

Обычно значения ν и i определяются по графикам заложений.

При описании рельефа по заданному маршруту на карте, указывается местонахождение очередной точки (на скате, дно котловины, седловина, ручей, водораздел, тальвег и т.д.) и направление ската между точками (спуск или подъем).

Граница водосборной площади проходит по водораздельным линиям хребтов, которыми являются нормали к горизонталям в точках их перегиба на хребтах, проходящие через вершины и седловины.

Если требуется задать линию предельного угла наклона, то это значит необходимо обозначить на карте направление, по которому расстояния между горизонталями равны заложению $a_{\text{пред}}$, соответствующему заданному предельному углу наклона $\nu_{\text{пред}}$, либо больше этого заложения. В точках поворота проводимой линии не должно быть острых углов.

2. Практическая часть

1. Вклеить в тетрадь образцы решения задач с горизонталями.
2. Определить отметки:
 - а) горизонтали;
 - б) двух точек, не лежащих на горизонталях и превышение между ними.
3. Определить среднюю крутизну указанного склона, пользуясь графиком заложений.
4. Построить графики заложений для углов наклона и уклонов:
 - а) для карты масштаба 1:10 000 с высотой сечения рельефа $h = 2,5$ м;
 - б) для карты масштаба 1:5000 с высотой сечения рельефа $h = 1,0$ м;
 - в) для карты масштаба 1:1000 с высотой сечения рельефа $h = 1,0$ м;
 - д) для карты масштаба 1:1000 с высотой сечения рельефа $h = 0,5$ м.
5. Описать рельеф по маршруту, указанному на карте.
6. Ограничить водосборную площадь водотока указанного на карте.

7. Провести на карте линию предельного угла наклона в заданном направлении длиной 3 – 4 см, $v_{\text{пред}} = 0^\circ + 0,1N$, где N – номер варианта.

8. Построить профиль по заданному направлению и определить взаимную видимость между указанными точками.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Построение горизонталей и их свойства.
- 2) Определение крутизны скатов.
- 3) Построение линий по заданному углу наклона местности.
- 4) Ограничение водосборной площади.
- 5) Порядок построения профиля.

Практическое занятие № 5

Обработка материалов технического нивелирования

Цель занятия: освоить камеральную обработку материалов технического нивелирования.

Работа состоит из двух частей:

5.1. Обработка материалов хода технического нивелирования и построение профиля.

5.2. Обработка материалов нивелирования поверхности и построение плана в горизонталях.

1. Теоретическая часть

Нивелирование – это вид геодезических измерений, в результате которых определяют превышения точек, а также их высоты над принятой уровенной поверхностью.

Нивелирование производят для изучения форм рельефа, определения высот точек при проектировании, строительстве и эксплуатации различных инженерных сооружений.

Результаты нивелирования имеют большое значение для решения научных задач как самой геодезии, так и других наук о Земле.

Основными геодезическими приборами, которыми производятся измерения, являются нивелиры. Прежде чем приступить к изучению конструкций нивелиров, рассмотрим устройство их основных частей, которые являются также основными частями и других геодезических приборов.

По способам выполнения и применяемым приборам различают: геометрическое, тригонометрическое, гидростатическое и барометрическое нивелирования.

Геометрическое нивелирование – наиболее распространенный способ. Его выполняют с помощью нивелира, задающего горизонтальную линию визирования. Сущность геометрического нивелирования (рисунок 5.1, а) заключается в следующем.

Нивелир устанавливают горизонтально и по рейкам с делениями, стоящими на точках *A* и *B*, определяют превышение *h* как разность между отрезками *a* и *b*.

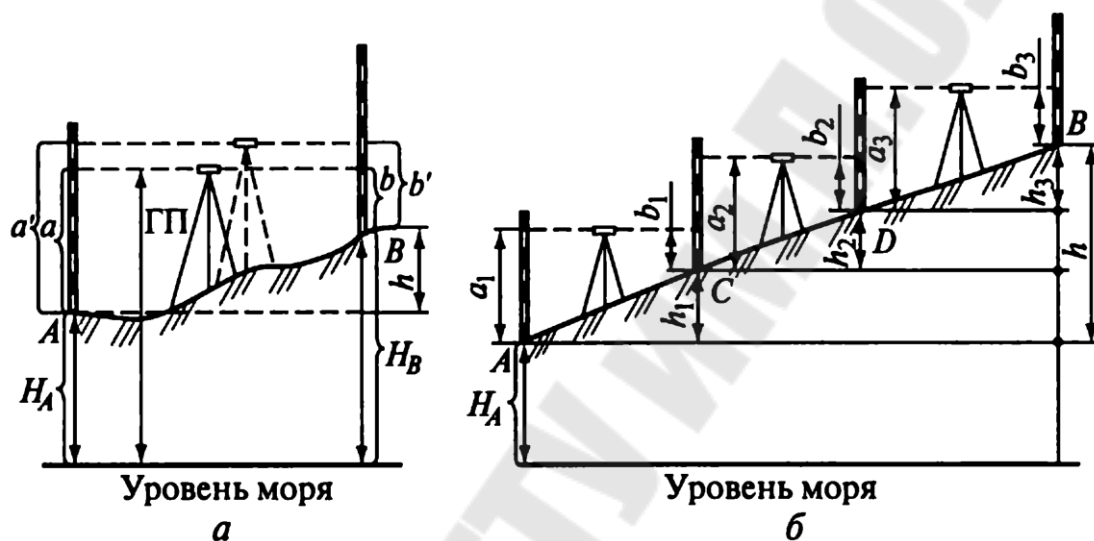


Рисунок 5.1 – Схемы нивелирования: а – простого; б – сложного

Если известна отметка H_A точки *A* и превышение *h*, отметку H_B точки *B* определяют как их сумму:

$$H_B = H_A + h.$$

Во избежание ошибок в знаке превышения точку, отметка которой известна, считают задней, а точку, отметку которой определяют, – передней, т.е. превышение – это всегда разность отсчетов назад и вперед. Иногда отсчет по рейке называют «взглядом», поэтому превышение равно «взгляду назад» минус «взгляд вперед».

Место установки нивелира называется станцией. С одной станции можно брать отсчеты по рейкам, установленным во многих точках. При этом превышение между точками не зависит от высоты нивелира над землей. Если поставить нивелир выше (на рисунке 15.6, а показано пунктиром), оба отсчета *a* и *b* будут больше на одну и ту же величину, но разности между ними будут одинаковы.

Для вычисления отметки искомой точки можно применять способ вычисления через горизонт прибора (ГП). Этот способ удобен, когда с

одной станции производят нивелирование нескольких точек. Очевидно, что если к отметке точки A прибавить отсчет по рейке на точке A , то получится отметка визирной оси нивелира. Эта отметка и называется горизонтом прибора. Если теперь из горизонта прибора вычесть отсчеты на всех точках, взятые на этой станции, получатся отметки этих точек.

Если для определения превышения между точками A и B достаточно один раз установить нивелир, то такой случай называется простым нивелированием (рисунок 5.1, а).

Если же превышение между точками можно определить только после нескольких установок нивелира, то такое нивелирование условно называют сложным (рисунок 5.1, б). В этом случае точки D и C называют связующими. Превышения между ними определяют по схеме простого нивелирования.

При сложном нивелировании превышение между точками A и B

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = \sum_{i=1}^n h_i .$$

Если известна отметка точки A , можно определить отметку точки B :

$$H_B = H_A + \sum_{i=1}^n h_i .$$

Такую схему нивелирования называют нивелирным ходом. Несколько ходов с общими начальными или конечными точками образуют нивелирную сеть.

2. Практическая часть

5.1 **Обработка материалов хода технического нивелирования и построение профиля.**

Исходные данные

№ п/п	Нивелирование трассы	
1	Журнал технического нивелирования и пикетажный журнал	
2	Дирекционный угол начальной линии трассы (α_n)	$132^{\circ}23' + N_{\alpha} =$
3	Угол поворота №1 Радиус кривой	$15^{\circ}10' + 0,1N_{\alpha} =$ 600 м
4	Угол поворота №2 Радиус кривой	$12^{\circ}34' + 0,1N_{\alpha} =$ 800 м
5	Высота репера №40	$112,438 + 0,01N_{\alpha} =$
6	Высота репера №41	$120,412 + 0,01N_{\alpha} =$
где N_{α} – номер варианта		

Согласно приведенным выше исходным данным составить:

1. Продольный профиль трассы от ПК 0 до ПК 20.
2. Поперечные профили на ПК 0 и ПК 20.
3. Чертеж детальной разбивки половины кривой на углу поворота ВУП

Все чертежи вычерчиваются на листе миллиметровой бумаги и оформляются в чёрном и красном цветах.

Журнал
ТЕХНИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ
Нивелир : НЗ №4856
Рейки: двухсторонние, складные
Участок трасы
от Р №40 до Р №41

Таблица 5.1

Журнал нивелирования профиля

№ станции	№ пикетов, реперов и промежуточных точек	Отсчёты по рейки			Превышения				Горизонт нивелира	Высоты
					Вычисления		Средние			
		Задание	Промежуточные точки	Передние	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Р № 40 ПК 0	343 5027		1628 6316		1285 1289		1287		
2	ПК 0 ПК 1	1153 5838		1836 6524		683 686		684		
3	ПК 1 ПК 2	859 5546		483 5171	376 375		376			
4	ПК 2 ПК 3	1280 5967		461 5146	819 821		820			
5	ПК 3 +42 ПК 4	2548 7234	1744	442 5126	2106 2108		2107			

6	ПК 4	821				1367				
	ПК 5	5509		2188		1363		1365		
	суммы	42125		42193			3303	3336		

Таблица 5.2

Журнал нивелирования профиля

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	ПК 5	663								
		5351		1154		491		489		
8	ПК 6	490				487				
		5178		2815		2325		2323		
9	ПК 7	516				2321				
		5201		2896		2380		2380		
10	ПК 8	556				2379				
		5238		2898		2342		2342		
11	ПК 9	325								
	+20	5012								
11	+68		456			197				
	ПК 10+71		2982			200		198		
	+90		2980							
	ПК 11		334	128						
12				4812						
	ПК 11	2425				1313				
12		7111				1313				
	ПК 12			1112				1313		
	суммы	38066		50111			1511	7534		

Таблица 5.3

Журнал нивелирования профиля

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	ПК 12	2876								
		7564		522						
14	ПК 13	2784								
		7486		419						
15	ПК 14	2683								
		7370		1596						
16	ПК 15	1382								
	+70	6067								
	ПК 16		820	1445						
				6132						

17	ПК 16 ПК 17	2584 7268		1569 6254						
18	ПК 17 +52 ПК 18	2773 7456	318	420 5104						
19	ПК 18 X	2312 6999		613 5298						
	суммы									

Таблица 5.4

Журнал нивелирования профиля

№ стан-ции	№ пикетов, реперов и промежу- точных точек	Отсчёты по рейки			Превышения				Горизонт нивелира	Высоты
					Вычислен- ные		Средние			
		Задание	Промежуточ ные точки	Передние	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	X ПК 19	2788 7476		341 5082	2447 2448		2448			
21	ПК 19 ПК 20 Р № 41	2351 7039	1426	1597 6284	754 755		754			
	суммы	19654		13250			3202			

$$\frac{\sum 3 - \sum II}{2} =$$

$$f_h =$$

$$\sum h_{cp} =$$

$$f_{hдоп} =$$

Журнал нивелирования поперечников

№ станции	№ пикетов, реперов и промежуточных точек	Отсчёты по рейки			Превышения				Горизонт нивелира	Высоты
					Вычисленные		Средние			
		Задание	Промежуточные точки	Передние	+	-	+	-		
Нивелирование поперечников										
Поперечник на пикете 0										
	ПК 0	1153								
	пр.+20		2171							
	...+36		2870							
	...+50		3420							
	лев.+31		785							
	...+50		220							
Поперечник на пикете 20										
	ПК 20	555								
	пр +20		2238							
	... +50		3186							
	лев.+15		560							
	... +28		212							
	... +50		186							

Пояснение к выполнению задания*1 Обработка данных журнала технического нивелирования*

1.1 Вычислить по отсчётам чёрной и красной сторон реек на каждой станции два значения превышения $h = 3 - \Pi$ и взять среднее из них (на одной странице) Средние значения округлить до 1 мм. Выполнить постраничный и пожурнальный контроли.

$$\frac{\sum 3 - \sum \Pi}{2} = \sum h$$

Расхождение значений левой и правой частей не должно превышать 1 – 2 мм.

1.2 Вычислить невязку f_h в превышениях нивелирного хода как разность между суммой средних превышений и разностью высот конечного и начального реперов, т.е.

$$f_h = \sum h_{\text{ср}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}})$$

Невязка не должна превышать 50 мм \sqrt{L} , где L – длина нивелирного хода, выраженная в км.

1.3 Невязку, взятую с обратным знаком, распределите поровну на все превышения, округляя их до 1 мм. По уравненным, превышениям и высотам исходных реперов вычислить высоты всех связующих точек:

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h$$

1.4 Вычислить высоты промежуточных точек и точек поперечников методом горизонта нивелира

$$ГН = H_3 + 3 = H_{\Pi} + \Pi$$

где Π – отсчёт на промежуточной точке.

1.5 По измеренным углам поворота, заданным радиусам кривых и пикетажным значениям вершин углов поворота трассы (ВУП) (рисунок 5.2) из таблицы для разбивки кривых выбрать элементы кривых и записать в пикетажный журнал. Вычислить пикетажные значения главных точек кривых с контролем.

2 Построение продольного и поперечного профилей.

2.1 На миллиметровой бумаге составить подробный продольный профиль в масштабах: горизонтальный 1 : 10 000 и вертикальный в 1 : 200 (рисунок 5.3).

2.2 На профиле путём постепенных проб нанести проектную линию с уклонами не более 12 % . Расчёт производится по формулам :

$$i = h/d \quad \text{и} \quad h = i \cdot d$$

где i – уклон линии d ; h – превышение.

2.3 Вычислить на профиле уклоны, проектные отметки, рабочие отметки, нанести на план участки прямых и кривых с соответствующей оцифровкой, определить положение точек нулевых работ.

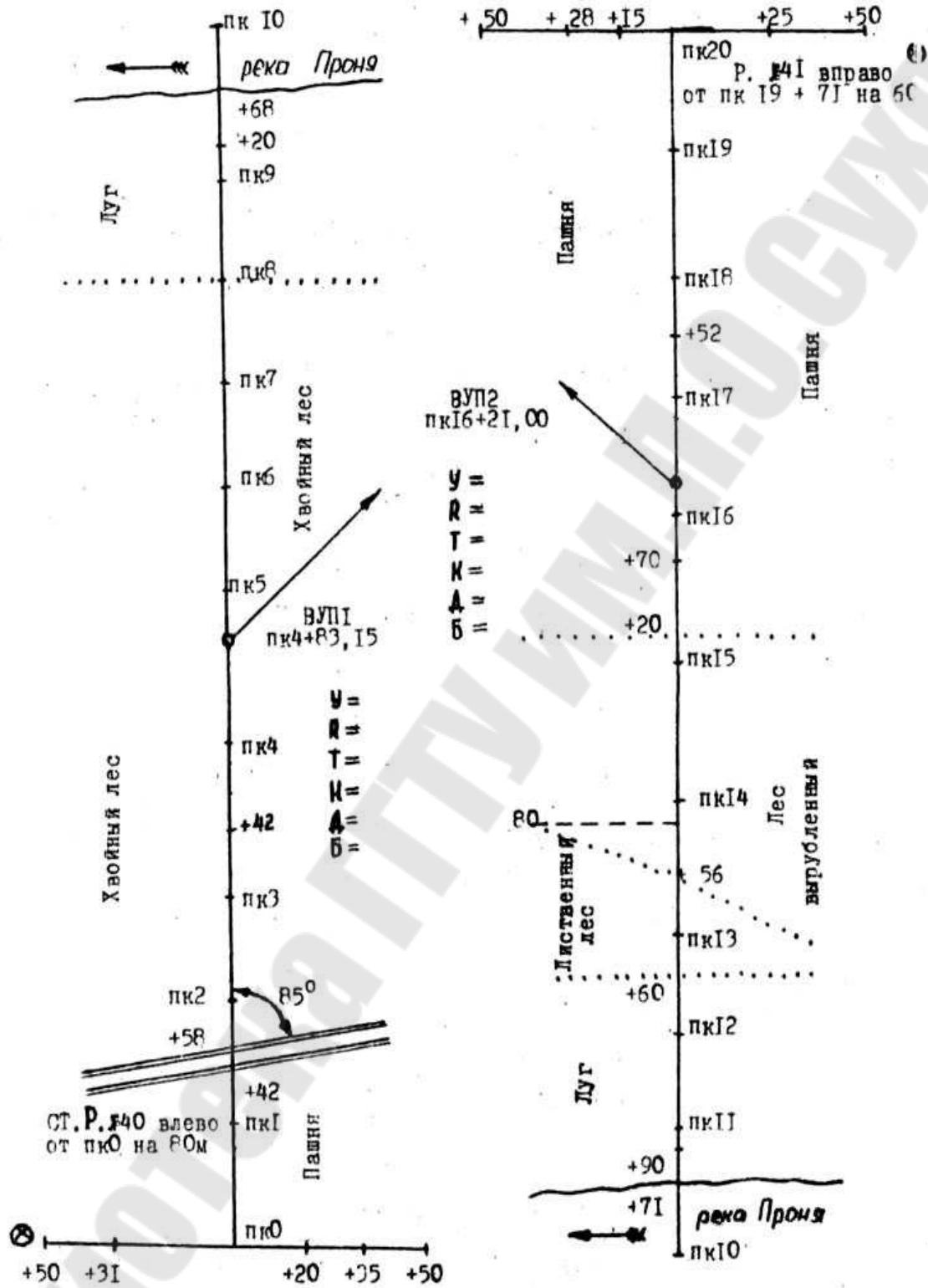


Рисунок 5.2 – Пикетажный журнал

2.4 Вычертить поперечные профили в масштабах: горизонтальный 1:1000 и вертикальный 1: 100 (рисунок 5.4).

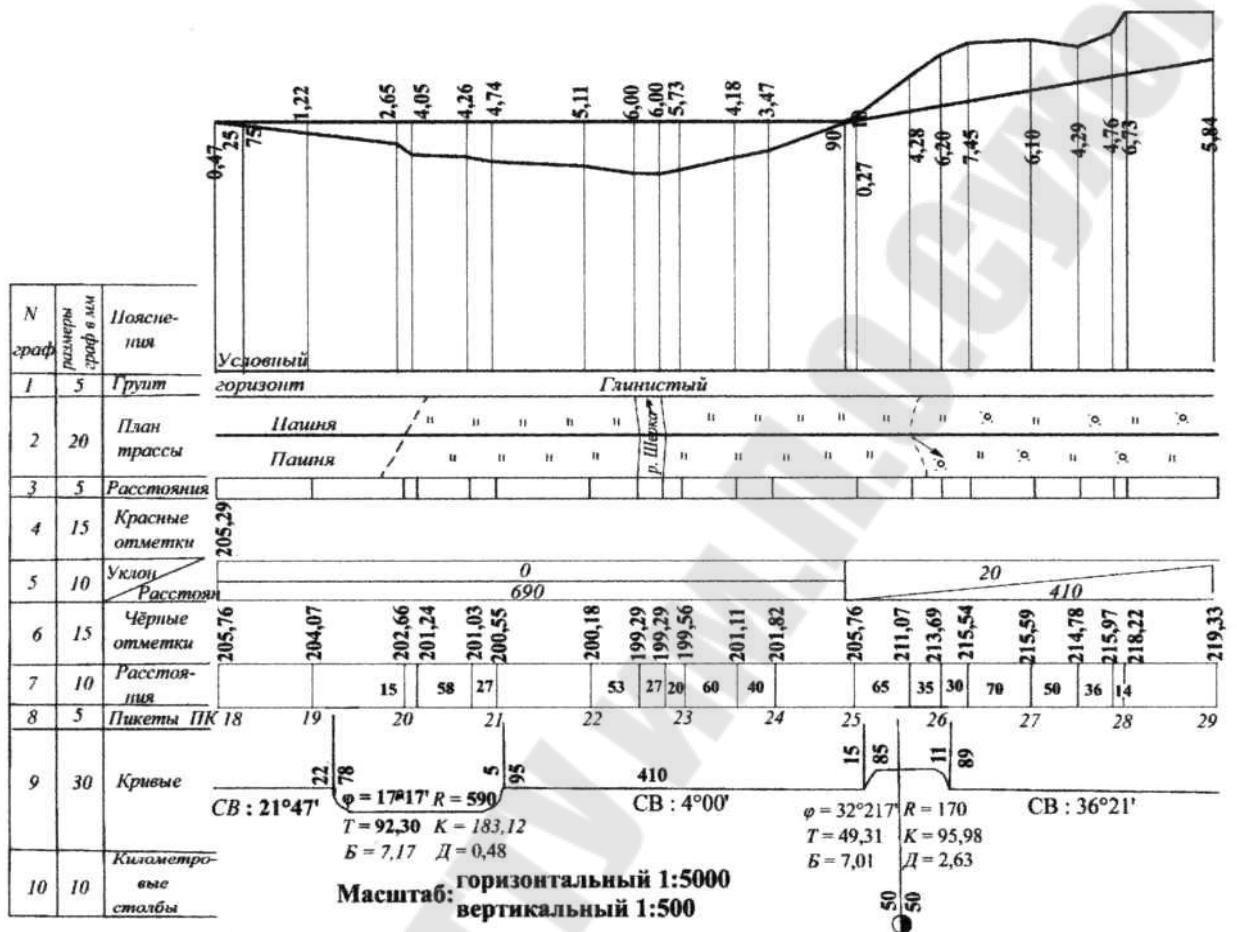


Рисунок.5.3 – Пример построения продольного профиля трассы

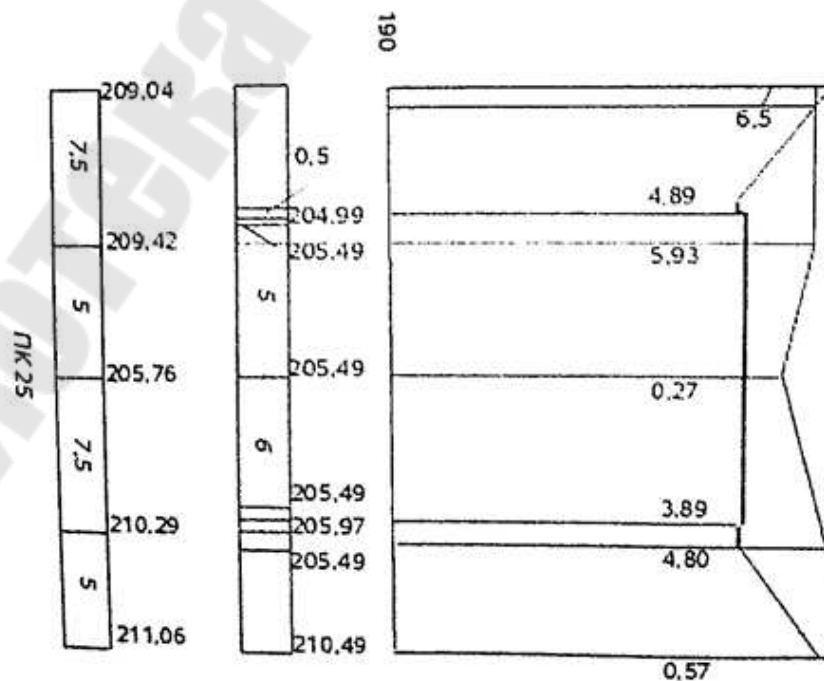


Рисунок 5.4 – Пример построения поперечного профиля трассы

3 Составление чертежа детальной разбивки кривой.

3.1 Составить чертёж в масштабе 1: 1000 детальной разбивки методом прямоугольных координат половины кривой в ВУП 1 с интервалом разбивки $K=10$ м.

На рисунке 5.5 показаны элементы круговой кривой. На рисунке 5.6 представлена схема детальной разбивки кривой способом прямоугольных координат.

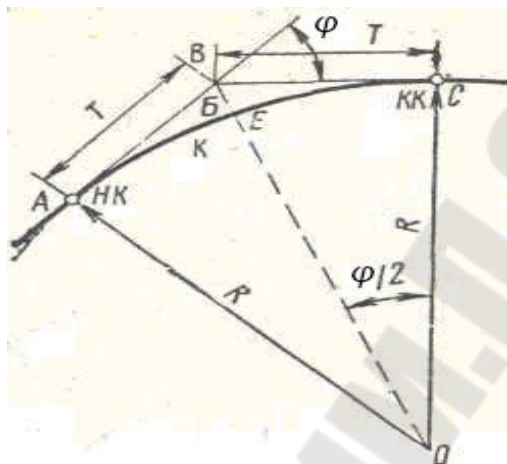


Рисунок 5.5 – Элементы круговой кривой

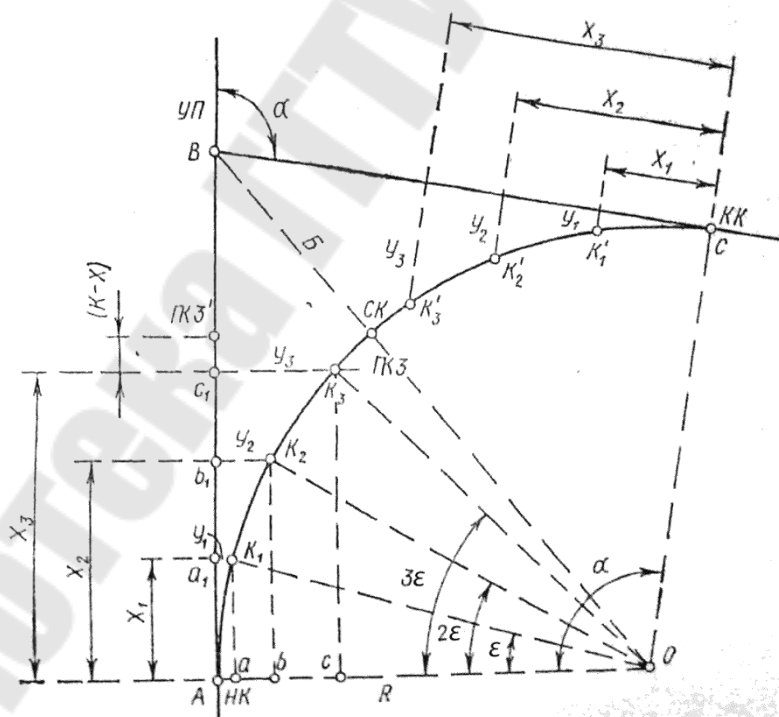


Рисунок 5.6 – Детальная разбивка кривой способом прямоугольных координат

Составление чертежа детальной разбивки кривой

1. Разбивка главных точек круговой кривой. Для разбивки точки начала (НК), середины (СК) и конца (КК) (рисунок 5.5) необходимо

рассчитать элементы круговой кривой: тангенс Т, длину кривой К, биссектрису Б, домер Д по формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \quad K = R \frac{\varphi}{\rho}; \quad B = R(\sec \frac{\varphi}{2} - 1); \quad D = 2T - K$$

где R – радиус кривой; φ – угол поворота магистрали; ρ обеспечивает переход в радианную меру. Обычно элементы кривой вычисляют по специальным таблицам. Зная пикетажное наименование вершины угла (ВУ), определяют положение НК, СК и КК в пикетаже. Ниже приведен соответствующий пример.

Пример 1.

В точке ВУ, пикетажное обозначение которой ПК 15+65,00, измерен угол поворота $\varphi = 32^\circ 21'$. Рассчитать положение главных точек кривой, если радиус ее $R = 175$ м.

Вычисленные для разбивки кривых значения элементов кривой таковы:

$$T = 50,76; \quad K = 98,80; \quad D = 2,71; \quad B = 7,21.$$

Вычисления по определению пикетажного положения главных точек кривой располагаем так (таблица 5.5, таблица 5.6):

Таблица 5.5

Основные вычисления

ВУ 15	+65,00
-Т	50,76
НК 15	+14,24
+К/2	49,40
СК 15	+63,64
+К/2	49,40
КК16	+13,04

Таблица 5.6

Контрольные вычисления

ВУ 15	+65,00
+Т	50,76
$\Sigma 16$	+15,76
-Д	2,71
КК 16	+13,04

Расхождение между дважды вычисленным пикетажным положением конца кривой не должно превосходить 3 см.

Для закрепления начала кривой на местности забивают кол со сторожком на расстоянии 14,24 м от пикета 15 по направлению к вершине угла поворота и на сторожке пишут НК, ПК15+14,24.

Середину кривой находят, построив при помощи теодолита угол между тангенсом и биссектрисой, равный $90^\circ - \varphi/2 = 73^0 49,5'$. Задав это направление, откладывают по нему вычисленное значение биссектрисы $B = 7,21$ м и забивают кол со сторожкой, на котором пишут СК. ПК15+63,64. Положение конца кривой на местности находят, отложив от пикета 16 по направлению трассы отрезок, равный сумме расстояний $13,05 + 2,71 = 15,76$ м, но на сторожке пишут: КК, ПК16+13,05. как если бы разбивка пикетажа происходила не по ломаной линии, а по кривой. Для дальнейшей разбивки пикетажа к концу кривой прикладывают ленту так, чтобы отсчет по ней равнялся 13,05 м.

2. Вынос пикета на кривую. Если на касательной к кривой находятся пикеты, то они должны быть вынесены на кривую. Для выноса пикета на кривую по радиусу R и длине K дуги кривой от начала или конца кривой до пикета вычисляют значение абсциссы x и ординаты y по формулам:

$$x = R \sin \varepsilon; \quad T = 50,76; \quad \varepsilon = (K/R)\rho.$$

Пример 2.

Вынести на кривую пикет 16 по данным предыдущего примера.

Так как $k = КК - ПК16 = 16 + 13,05 - 16 = 13,05$ м, то по этому аргументу и $R = 175$ м находим по таблицам: $k - x = 0,01$ м и $y = 0,48$ м.

Так как пикет 16 расположен между серединой и концом кривой, то для отыскания его положения на кривой от пикета 16 на касательной по направлению к концу кривой откладывают отрезок, равный сумме домера и кривой без абсциссы $D - (k - x) = 2,72$ м, в полученной точке восстанавливают перпендикуляр длиной $y = 0,48$ м. Полученная точка является пикетом 16 на кривой.

Для выноса пикетов на кривую, расположенных между началом и серединой кривой, основание ординат отыскивают путем откладывания кривой без абсциссы от пикета на касательной по направлению к началу кривой.

3. Детальная разбивка кривой. Наиболее распространенным способом разбивки кривой на открытой местности является способ прямоугольных координат (рисунок 5.6), описанный при выносе пикета на кривую. Расстояние между соседними точками на кривой зависит от радиуса кривой и характера будущего сооружения.

Пример 3.

Произвести детальную разбивку через 10 м круговой кривой, рассчитанной при решении примера 1.

По аргументам $R = 175$ м и $K = 10, 20, \dots$ выбирают из таблиц для детальной разбивки кривой значения x и y или $k - x$ и y , или вычисляют по формулам, как было описано при изложении вопроса о выносе пикета на кривую. Так как половина общей длины кривой равна 49,40 м, то для детальной разбивки кривой достаточно вычислить значения $k - x$ и y при $k_{\max} = 40$ м.

Результаты вычислений приведены в таблице 5.7.

Таблица 5.7

Детальная разбивка кривой

k	$k - x$	y
10	0,01	0,28
20	0,04	1,14
30	0,15	2,55
40	0,35	4,54

Детальную разбивку кривой производят от ее концов по направлению к середине. Для обозначения на местности точки 1 кривой откладывают начала кривой по направлению касательной $k - (k - x) = 10,00 - 0,01 = 9,99$ м.

В полученной точке восстанавливают перпендикуляр к касательной в сторону кривой длиной $y = 0,28$ м и получают положение на местности точки 1, которую закрепляют колом, затем откладывают от начала кривой отрезок $k - (k - x) = 20,00 - 0,04 = 19,96$ м, восстанавливая в конце его перпендикуляр длиной $y = 1,14$ м, получают положение точки 2. Поступая аналогично, находят точки 3 и 4 кривой, после чего производят детальную разбивку кривой по направлению от ее конца к середине.

Начало координат для одной половины кривой находится в точке НК, а для другой – в точке КК.

Пикетажный журнал представлен на рисунке 5.6.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Порядок обработки журнала нивелирования.
- 2) Элементы круговой кривой.
- 3) Детальная разбивка кривой способом прямоугольных координат.

5.2 Нивелирование поверхности

Исходные данные:

1. Высота точки $A_1(120,00 + 0,01N)$ м.

2. Румб линии $A_1 - D_1\alpha = 100^{\circ}20' + N10'$

3. Длина сторон квадратов 25 м.

N – номер варианта.

По методу горизонтов нивелира вычислить высоты всех вершин квадратов и в масштабе 1: 5000 составить план площадки в горизонталях с сечением рельефа 0,5 м.

1. Вычислить разности отсчётов по рейке (разности горизонтов нивелира на станциях) в соседних квадратах и записать их у середины сторон квадратов. Расхождение между двумя значениями разностей допускать не более 4 – 8 мм.

2. Вывести средние разности горизонтов нивелира в соседних квадратах. Подсчитать сумму средних разностей по внешнему кольцу квадратов 1 – 14 и, если она не превышает $6 \text{ мм} \sqrt{n}$ (n - число станций во внешнем кольце), распределить её с обратным знаком по средние разности.

3. Прибавив к высоте точки A_1 отсчёт по рейке на этой точке, получить горизонт нивелира в первом квадрате и записать его под номером станции в середине квадрата.

Прибавляя к горизонту нивелира на первой станции уравниваемую разность горизонтов между второй и первой станциями, получим горизонт нивелира на второй станции и т. д. Замыкая кольцо квадратов, должны получить горизонт нивелира на первой станции, что является контролем вычислений.

4. Разность горизонтов нивелира во внутренних квадратах 15 - 16 уравнивают между горизонтами. Невязка нивелиров на станциях 13 и 6. Невязка будет равна сумме разностей между станциями 15 и 6, 16 и 15, 13 и 16 минус разность уравненных горизонтов по станциям 13 и 6. После распределения невязки по известному уже правилу вычисляют горизонты нивелира на станциях 15 и 16.

5. По уравненным горизонтам нивелира и отсчётам по рейкам вычисляют высоты всех вершин квадратов.

$$H_i = \Gamma H_i - \Pi_i$$

6. По румбу начальной линии и углам полигона вычислить румбы линий окружной границы участка.

7. На листе чертёжной бумаги по румбам и длинам линий построить

сетку квадратов. Выписать на чертеже высоты вершин квадратов с округлением их до одного сантиметра.

8. По высотам точек при помощи палетки провести горизонтали.

Интерполирование горизонталей производить по всем сторонам квадратов и по одной из диагоналей в каждом квадрате, соответствующей наибольшему неизменному уклону.

9. План вычертить в цвете: горизонтали и их подписи – коричневым цветом, всё остальное в соответствии с условными топографическими знаками.

Журнал нивелирования поверхности представлен на рисунке 5.9.

Вопросы для самоконтроля

- 1) Способы нивелирования поверхности.
- 2) Обработка журнала нивелирования поверхности по квадратам.
- 3) Построение плана в горизонталях.

А	Б	В	Г	Д			
2032	1431	2671	1761	2906	2089	1344	1073
1		2		3		4	
1383	0582	1824	0771	1921	1211	0468	1440
2062	1265					0872	1842
14						5	
1440	0733					1544	2370
1679	0972	2196	1530+N	1090+N	1206	0315	1139
13		15		16		6	
1343	0900	2118	2179	1742	2066	1179	1668
1611	1162					0847	1337
12						7	
1686	1670					1577	1941
0838	0820	0910	1105-N	0648-N	1070	0869	1234
11		10		9		8	
1496	1475	1568	1837	1374	1737	1531	2093

Рисунок 5.9 – Журнал нивелирования поверхности

Практическое занятие № 6

Определение площадей графическим способом

Цель занятия: освоить графический способ определения площадей по топокартам посредством разбиения участка на элементарные фигуры.

1. Теоретическая часть

Графический способ целесообразно применять, когда измеряемый участок имеет более или менее правильную форму и ограничен прямыми линиями. Такими участками обычно являются те, форма которых определилась деятельностью человека (например, сельскохозяйственные угодья, территории населенных пунктов или их частей, полосы отвода транспортных магистралей и т.п.). Палетками выгодно измерять площади небольших участков, имеющих на карте размеры не более $4-5 \text{ см}^2$, а также узкие, сильно вытянутые участки (например, долины рек, полосы отвода транспортных магистралей и т.п.). *Графическое определение площади фигуры.* Площадь многоугольника определяется путем деления его на простейшие фигуры (треугольники, четырехугольники и т.п.) и измерением их элементов по карте (рисунок 6.1). В каждой фигуре измеряют высоту и основание, по которым вычисляют площади треугольников по формуле: Правильность определения площади многоугольника проверяется в комбинациях. Точность этого способа зависит от масштаба карты: чем он крупнее, тем выше точность и характеризуется относительной погрешностью $1/100$. Основным источником ошибок определения площадей являются ошибки измерения длин линий на карте. Поэтому этим способом невыгодно определять площади небольших участков, так как короткие линии измеряются с меньшей точностью, чем длинные.

Пример определения площади участка разбиением его на элементарные фигуры.

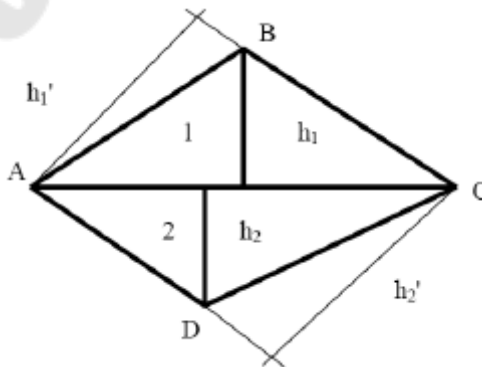


Рисунок 6.1 – Вариант разбиения определяемой площади на элементарные фигуры

Таблица 6.1

Формуляр вычисления площади

Номер Δ	Результаты измерений			Результаты вычислений		
	основание a		Высота h , (м)	S , м ²	S_{cp} , м ²	S , Га
	обозн.	(м)				
1	AC	1542	593	457203	457296	45,7
	BC	889	1029	457390		
2	AC	1542	661	509631	510249	51,0
	DC	1071	954	510867		
	Сумма:					96,7

2. Практическая часть

1. Скопировать изображение участка, площадь которого определялась аналитическим способом на чистый лист.
2. Разбить участок на элементарные фигуры и выполнить необходимые измерения.
3. Вычисления производить в указанном формуляре.
4. Повторить вычисления при втором варианте разбиения фигуры.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип графического способа определения площади.
2. От чего зависит точность данного способа?

Практическое занятие № 7

Определение площади при помощи квадратной палетки

Цель занятия: освоить один из видов графического способа определения площадей по топографической карте – использование квадратной палетки.

1. Теоретическая часть

Применение квадратной палетки целесообразно для участков, сложной фигуры и если участок имеет криволинейные очертания. Площадь в таких случаях определяется при помощи палетки, один из образцов которой представлен на рисунке 7.1. Такая палетка состоит из сетки мелких квадратов 2x2 мм (или 1x1 мм), нанесенной на прозрачную основу (калька, плексиглас, целлулоид). Малые квадраты образуют большие квадраты размером 1x1 см, обозначенные утолщенными линиями. Палетку накладывают на фигуру, площадь которой должна быть определена (рисунок 7. 1) и подсчитывают число больших квадратов (m_1) и полных малых квадратов (m_2), закрывающих фигуру. Затем суммируют неполные малые квадраты (m_3). Площадь

фигуры равна произведению цены деления палетки (t) на полную сумму делений где n – число малых квадратов в большом.

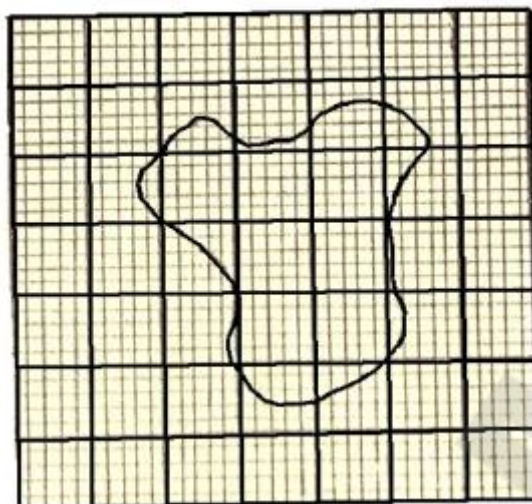


Рисунок 7.1– Внешний вид квадратной палетки

Формула для определения площади квадратной имеет вид:

$$S = (m_1 \times n + m_2 + \frac{m_3}{2}) \times t$$

2. Практическая часть

1. Построить квадратную палетку и определить цену деления малого квадрата для карты масштаба 1:10 000.
2. Наложить палетку на фигуру и определить по предложенной методике её площадь.
3. Повторить измерения, произвольно сместив палетку
4. Определить относительную ошибку вычисления площади из двух измерений.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип использования квадратной палетки для измерения площадей по топокарте.
2. Относительная ошибка определения площади данным способом.

Практическое занятие № 8

Определение площади при помощи параллельной палетки

Цель занятия: освоить определение площадей по топографическим картам при помощи параллельной палетки

1. Теоретическая часть

Квадратной палеткой не рекомендуют определять большие площади на плане. Недостаток ее применения помимо того, что площади долей клеток, рассекаемых контуром, приходится оценивать на глаз, состоит еще в том, что подсчет числа целых клеток нередко сопровождается грубыми ошибками. Таких недостатков не наблюдается при определении площадей *параллельной палеткой*, представляющей собой листок прозрачного целлулоида, плексигласа или восковки, на котором нанесены параллельные линии, проведенные преимущественно через 2 мм одна от другой (рисунок 8.1). Площадь контура этой палеткой вычисляют следующим образом. Накладывают ее на контур так, чтобы крайние точки *a* и *b* разместились посередине между параллельными линиями палетки. Таким образом, весь контур оказывается расчлененным параллельными линиями на фигуры, близкие к трапециям с одинаковыми высотами, причем отрезки параллельных линий внутри контура являются средними линиями трапеций. Прерывистыми линиями на рисунке 7.1 показаны основания этих трапеций. Сумма площадей трапеций, т. е. площадь контура,

$$P = cdh + efh + mnh + \dots + klh.$$

Так как все высоты трапеций равны,

$$P = h(cd + ef + mn + \dots + kl)$$

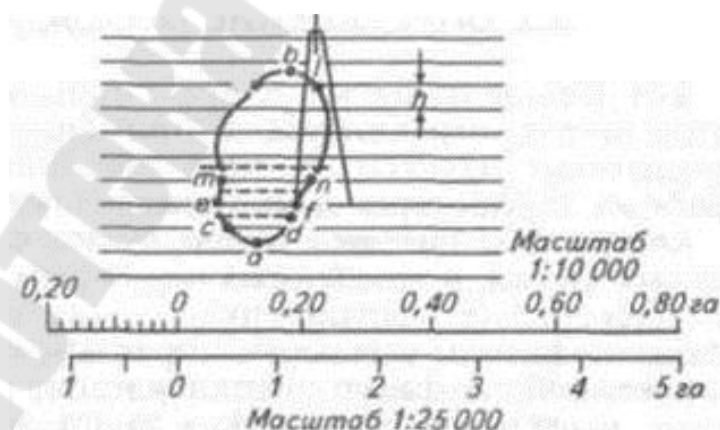


Рисунок 8.1 – Определение площади контура параллельной палеткой

Следовательно, чтобы получить площадь контура, нужно взять сумму средних линий, т. е. сумму отрезков параллельных прямых, проходящих внутри контура, и умножить на расстояние между ними. Для упрощения определения площади сумму средних линий последовательно

набирают в раствор циркуля. Набранную в раствор циркуля сумму средних линий определяют по масштабной линейке, и полученную длину умножают на расстояние L , соответствующее числу метров на местности. Например, если масштаб плана 1:10 000, $h = 20$ м и сумма средних линий равна 682 м, то площадь контура будет равна $13\,640\text{ м}^2$, или 1,36 га. Чтобы не выполнять подобных вычислений, для нужного масштаба плана строят специальную *шкалу*, по которой отсчитывают площадь контура, зная сумму средних линий. Рассчитаем основание шкалы для масштаба 1:10 000. При расстоянии между параллельными линиями 2 мм и при основании шкалы 1 см площадь будет равна $20 \times 100 = 2000\text{ м}^2 = 0,20$ га. Следовательно, каждому сантиметру шкалы будет соответствовать 0,20 га на местности. Левое основание шкалы делят на 10 частей, как это делают при построении линейного масштаба. Основанию масштаба 1:25 000, равному 1 см, будет соответствовать площадь 1,25 га. Такое основание неудобно для определения площадей, поэтому следует рассчитать основание, которому соответствует площадь 1 га. В этом случае длина основания, очевидно, будет равна 0,8 см. Левое основание шкалы также делят на 10 частей. Для масштаба 1:5000 основание принимают 2 см, которое будет соответствовать площади 0,1 га. После того как сумма средних линий в раствор циркуля набрана, определяют площадь по шкале так же, как расстояния по линейному масштабу. Палетку и шкалу обычно строит сам исполнитель. Параллельной палеткой не следует определять площади больше 10 см^2 на плане.

2. Практическая часть

1. Построить параллельную палетку с шагом 2 или 3 мм.
2. Построить масштаб для определения площадей посредством параллельной палетки.
3. Определить площадь заданного на карте масштаба 1:10 000 контура дважды со смещением палетки на 90° .
4. Определить относительную ошибку определения площади по топокарте параллельной палеткой.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип использования параллельной палетки для измерения площадей по топокарте.
2. Относительная ошибка определения площади данным способом и ограничения при определении.

Практическое занятие № 9

Аналитический способ определения площадей

Цель занятия: освоить аналитический способ определения площадей по топографической карте

1. Теоретическая часть

При аналитическом способе вычисление площадей производится по формулам геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии с использованием измеренных в натуре значений длин и углов.

Если известны (или определены по карте и плану) координаты X и Y вершин многоугольника (замкнутого полигона), то его площадь может быть определена согласно выражениям

$$P = 0,5 \sum_i^n X_k (Y_{k+1} - Y_{k-1}); \quad (1)$$

$$P = 0,5 \sum_i^n Y_k (X_{k-1} - X_{k+1}), \quad (2)$$

где n - число вершин многоугольника (полигона); X_{k-1} , X_k ; X_{k+1} - абсциссы соответственно предыдущей, данной и последующей вершин многоугольника; Y_{k-1} ; Y_k ; Y_{k+1} - ординаты соответственно тех же вершин.

Контролем вычислений может служить выполнение равенств

$$\sum (X_{k+1} - X_{k-1}) = 0 \text{ и } \sum (Y_{k+1} - Y_{k-1}) = 0. \quad (3)$$

Погрешность определения площади полигона (многоугольника) по координатам, установленным на карте (плане), может быть вычислена по формуле

$$m_p = m_t \frac{M \sqrt{P}}{10000} \left(\frac{k+1}{2\sqrt{k}} \right) \frac{4}{n} \sqrt{0,5n-1},$$

где m_t - средняя квадратическая погрешность положения контурной точки на карте (плане) относительно ближайшей точки съемочного обоснования, см;

M - знаменатель численного масштаба;

n - количество точек (углов поворота полигона); k - коэффициент вытянутости.

Относительная погрешность определения площади для вычисленных координат находится в пределах $1/1000 - 1/2000$.

2. Практическая часть

1. Вписать в контур определяемой площади многоугольник, имеющий

не менее пяти вершин и выделить его на фоне картографического изображения.

2. Определить прямоугольные координаты вершин и записать в таблицу вычислений.

3. Вычислить площадь заданного участка и оценить точность вычислений, сравнением полученной погрешности с допустимой.

Пояснение к выполнению задания Пример решения задачи

Вычислить площадь замкнутого полигона, изображенного на рисунке 9.1, по координатам его вершин, приведенным в таблице 9.1.

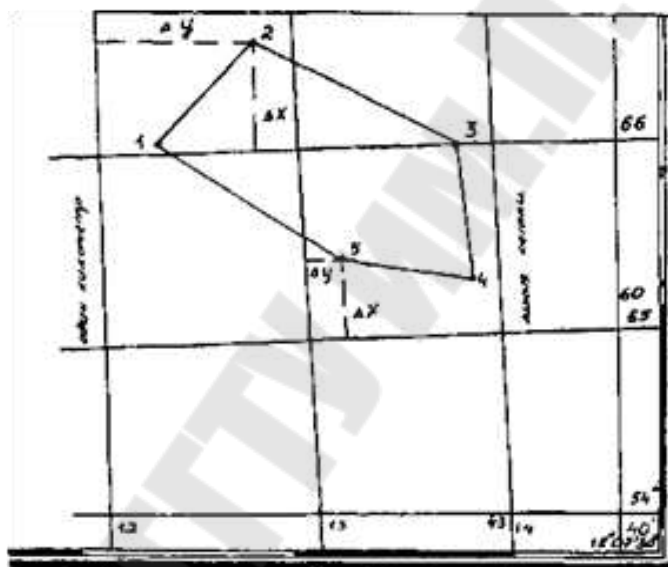


Рисунок 9.1 – Схема замкнутого полигона с расположением координатной сетки

Решение. Расчеты выполнены с использованием формул (1), (2) и (3). Результаты расчетов представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1

Формуляр вычисления площади по координатам крайних точек участка

Номер точки	Координаты, м		Разности		Произведения	
	X_k	Y_k	$Y_{k+1}-Y_{k-1}$	$X_{k-1}-X_{k+1}$	$X_k(Y_{k+1}-Y_{k-1})$	$Y_k(X_{k-1}-X_{k+1})$
1	6040	2447	-424	-1139	-2 560 960	-2 787 133
2	6530	2822	+1359	+60	+8 874 270	+169 320
3	5980	3806	+1050	+1254	+6 279 000	+4 772 724
4	5276	3872	-560	+589	-2 954 560	+2 280 608
5	5391	3246	-1425	-764	-7 682 175	-2 479 944
Σ			+2409	+1903	+15 153 270	+7 222 652
			-2409	-1903	-13 197 695	-5 267 077
			0	0	+1 955 575	+1 955 575

В соответствии с данными таблицы 1 площадь полигона составляет
 $P = 1\,955\,575/2 = 977\,788 \text{ м}^2 = 97,78 \text{ га}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Принцип определения площади аналитическим способом.
2. От чего зависит точность данного способа?

Практическое занятие № 10

Определение площади при помощи полярного планиметра

Цель занятия: освоить механический способ определения площадей по топографическим картам

1. Теоретическая часть

Планиметрами называются приборы для измерения площадей (рисунок 10.1). *Устройство полярного планиметра.* Наиболее распространён полярный планиметр (рисунок 10. 1). Он состоит из двух рычагов – полюсного 1 и обводного 4, соединяемых шарниром 8. Полюс планиметра (массивный цилиндр 2 с иглой, втыкаемой в бумагу) в процессе измерения площади остается неподвижным.

На конце длинного плеча обводного рычага укреплен шпиль 3 (или лупа с маркой в виде креста в ее центре), которым обводят контур измеряемой площади. На коротком плече обводного рычага 4 крепится каретка с мерным колесиком 6, опирающимся на поверхность бумаги, и счетным механизмом. Когда обводной шпиль 3 (или марка) перемещается по линии контура перпендикулярно рычагу, мерное колесико 6 катится по бумаге. При перемещении обводного шпиля по направлению рычага колесико скользит по бумаге, не вращаясь. При перемещении шпиля в иных направлениях происходит и вращение, и скольжение. Суммарное число оборотов колесика, накопленное при обводке шпилем контура, пропорционально площади, ограниченной контуром.

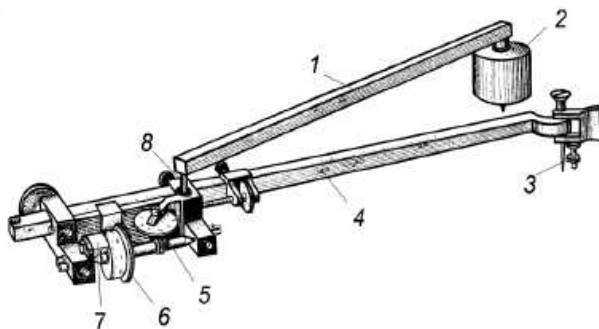


Рисунок 10.1 – Устройство полярного планиметра

Счетный механизм планиметра состоит из трех частей: циферблата, счетного колеса и верньера (рисунок 10.2). Циферблат отмечает полный оборот счетного колеса, верньер дает возможность отсчитать десятые доли делений счетного колеса. *Порядок работы:* удерживая планиметр за ручку, обводят центром лупы контур участка, площадь которого хотят измерить. *Отсчет* должен содержать четыре цифры. Первая из них берется со счетчика числа оборотов счетного колеса (циферблата), две последующие берутся со счетного колесика до нуля верньера, четвертая цифра берется по верньеру путем определения номера штриха верньера, совпадающего со штрихом счетного колесика. На примере (рисунок 10.2):

- отсчет по циферблату – цифра 4,
- отсчет по счетному колесу до нуля верньера – цифры 5 и 6,
- отсчет по верньеру – цифра 5.

Полный отсчет выражается четырехзначным числом (на рисунке 10.2 отсчет равен 4565). Первой цифрой «4» является номер младшего штриха циферблата, второй – номер младшего подписанного штриха счетного колеса 5, прошедшего нуль верньера, третьей цифрой – порядковый номер младшего неподписанного штриха 6 счетного колеса, четвертая цифра – номер штриха 5 верньера, совпадающего со штрихом счетного колеса.

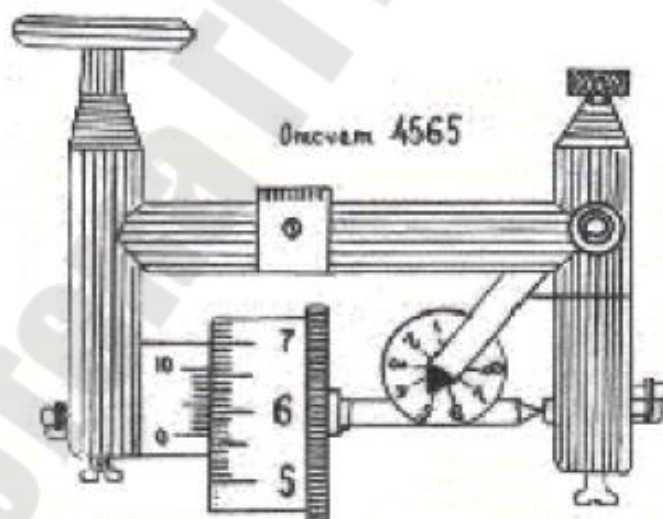


Рисунок 10.2 – Отсчётное устройство полярного планиметра

Пример взятия отсчёта также представлен на рисунке 10.3. Отсчёт равен – 6422.

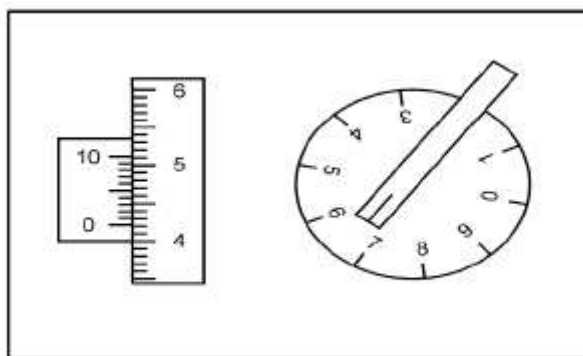


Рисунок 10.3 – Пример взятия отсчёта по полярному планиметру

До начала измерений планиметром необходимо убедиться в плавности вращения счетного колеса. Ролик, после приведения в движение пальцем руки, должен вращаться 3-4 секунды.

При работе с планиметром необходимо обратить внимание на выбор положения полюса и руководствоваться *следующими правилами*:

- карту при помощи кнопок натягивают на гладкой горизонтальной поверхности;
- при обводе рычаги планиметра должны составлять угол не меньше 30° и не более 150°;
- счетное колесо не должно сходиться с карты;
- начальную точку контура для установки центра увеличенной лупы выбирают так, чтобы в начале обвода счетное колесо вращалось медленно;
- угол между рычагами должен приближаться к прямому;
- цену деления планиметра определяют по формуле:

$$C = \frac{S_0}{(m_2 - m_1)},$$

где S_0 - заранее известная площадь, m_1 , m_2 – отсчеты по счетному механизму в начале и в конце обвода фигуры. За известную площадь, как правило, выбирают квадрат координатной сетки топографической карты. Для карты масштаба 1:10000 он равен 1000000 м² или 100 Га. Для удобства обвода контура квадрата его нужно выбирать в середине листа карты. Результаты работы записывают в ведомость вычисления цены деления планиметра (таблица 1). Измерение производится при двух положениях планиметра: счетный механизм вправо (ПП) и влево (ПЛ) от полюса.

Длина обводного рычага 130,00 см. Номер планиметра № 24854

Порядок работы при определении цены деления планиметра:

- выбрав начальную точку обвода, производят первый отсчет m_1 в направлении движения часовой стрелки и в конце обвода делают отсчет m_2 , затем и m_3 . Каждая разность $m_2 - m_1$ и $m_3 - m_2$ дает площадь квадрата в делениях планиметра;

Ведомость вычисления цены деления планиметра

Номер приема	Положение счетного механизма	Отсчет m ₁ m ₂ m ₃	Разность m ₂ -m ₁ m ₃ -m ₂	Среднее из разностей Δm _{ср}	Среднее из приемов	Цена деления план-ра (Га)
1	ПЛ	5858 7270 8685	1412 1415	1414	1414	0,0707
2	ПП	6603 5187 3773	1416 1414	1415		

– расхождение в двух определениях может быть в пределах четырех делений. При больших расхождениях обвод повторяют и неверный отсчет отбрасывают. После этого счетный механизм переводят в положение слева (справа) и делают два обвода фигуры так же, как и при предыдущем положении счетного механизма;

– вычислив среднее значение $A_{\text{ср}}$ из результатов обвода контура квадрата при ПП и ПЛ, вычисляют цену деления планиметра:

$$C = \frac{1000000 \cdot m^2}{1414} = 707,21 \cdot m^2 = \frac{100 \text{ Га}}{1414} = 0,0707 \text{ Га}$$

Цену деления планиметра вычисляют с сохранением четырех значащих цифр, пример записей и вычислений приведен в таблице 10.1
Измерение планиметром площади участка

Порядок определения площадей участков, изображенных на картах, тот же, что и при определении цены деления планиметра. Площадь каждого участка измеряется одним приемом. Пример записи результатов обвода и вычислений контура участка при определении его площади приведен в таблице 2.

После нахождения среднего числа делений планиметра, соответствующих искомой площади, последнюю вычисляют по формуле:

$$S = c \times \Delta m_{\text{ср}} = 0,0707 \times 432 = 30,54 \text{ Га.}$$

$$S = c \times \Delta m_{\text{ср}} = 707,21 \times 761 = 538186,8 \text{ м}^2.$$

Планиметром выгоднее измерять большие участки, имеющие площадь не менее 20 см² на карте. Точность механического способа характеризуется относительной погрешностью порядка 1/200 - 1/300.

Ведомость вычисления площадей

Участки	Отсчет m_1 m_2 m_3	Разность m_2-m_1 m_3-m_2	Среднее из разностей $\Delta m_{ср}$	Цена деления план-ра (Га)	Измеренная площадь m^2	Измеренная площадь Га
1	6619 6186 5755	433 431	432	0,0707	305514,7	30,54
2	8176 8938 9698	762 760	761	0,0707	538186,8	53,80

Порядок выполнения задания:

- 1 Изучить устройство планиметра.
- 2 Определить цену деления планиметра.
- 3 Измерить планиметром площадь заданного участка.

Практическое занятие № 11**Геодезические расчёты при проектировании линейной части магистрального трубопровода по топографической карте**

Цель занятия: освоить принципы камерального проектирования трассы магистрального трубопровода.

1. Теоретическая часть

Основная задача инженерных изысканий при проектировании линейных сооружений, в том числе магистральных трубопроводов, – определение положения оси сооружения в плане и по высоте на местности (на карте). Трассу трубопровода проектируют по карте, обходя или преодолевая разного рода препятствия – ценные земли, болота, различные строения, дороги, реки. В процессе полевого трассирования утверждённый вариант трассы переносится на местность по координатам вершин углов поворота (трассы) или по данным их привязки к местным предметам. Далее по трассе прокладывают теодолитный ход, вдоль трассы разбивают пикетаж. Концы отрезков по 100 м закрепляют деревянными кольями – пикетами. Кроме того, кольями закрепляют перегибы скатов, пересечения трассы с реками, дорогами, подземными и надземными коммуникациями.

Для обеспечения мониторинга трубопровода для безаварийной его эксплуатации в местах поворота трассы её смежные прямые участки сопрягаются кривыми – дугами окружностей определённого радиуса.

При проходе трассы по косогорным участкам на местности разбивают перпендикулярные к трассе линии – поперечники. Одновременно с разбивкой пикетажа и кривых ведётся съёмка ситуации прилегающей к трассе местности в полосе шириной в 200 м с каждой стороны трассы. Результаты съёмки заносятся в пикетажный журнал.

Трассирование линейных сооружений – комплекс проектно-изыскательских работ, выполняемых для выбора положения трассы трубопровода. *Камеральное трассирование* – вычерчивание проекции оси трубопровода на горизонтальной плоскости, выполняемое по картам, планам, аэро- и космоснимкам и другим картографическим материалам. Трассировочным работам предшествуют изучение топографических условий местности в пределах расположения вариантов направления линии, анализ исходных материалов с точки зрения возможности выполнения предварительного, а затем более подробного камерального трассирования.

Проектирование трубопроводов происходит в несколько этапов. Камеральное трассирование вариантов линейных сооружений *на стадии инженерно-геодезических изысканий для разработки предпроектной документации* должно производиться по топографическим картам и аэрофотоснимкам в масштабах 1:25000 или планам в масштабе 1:10000 с использованием материалов космической фотосъёмки. На сложных (барьерных) и эталонных участках должна быть выполнена топографическая съёмка в масштабах 1:5000–1:2000. Допускается выполнение съёмки в масштабах 1:2000–1:1000 при трассировании в пересеченной местности, в горных и предгорных районах.

Для камерального трассирования линейных сооружений *на стадии разработки проекта* следует использовать инженерно-топографические планы в масштабах 1:5000–1:500, составленные при разработке обоснований инвестиций в строительство объекта, или создавать их заново. Выбор трассы трубопроводов должен производиться по *критериям оптимальности*, которые определены. В качестве критериев оптимальности следует принимать *приведенные затраты* при сооружении, техническом обслуживании и ремонте трубопровода при эксплуатации, включая затраты на мероприятия по обеспечению сохранности окружающей среды, а также *металлоемкость, конструктивные схемы прокладки, безопасность, заданное время строительства, наличие дорог* и др. При выборе трассы следует учитывать условия строительства с тем, чтобы обеспечить применение наиболее эффективных, экономичных и высокопроизводительных *методов производства строительно-монтажных работ*. Выбор трассы между начальным и конечным пунктами надлежит производить в

пределах области поиска, определяемой эллипсом, в фокусах которого находятся начальный и конечный пункты.

Малая ось эллипса b , км, определяется по формуле

$$b = l \sqrt{K_p^2 - 1} \quad (1)$$

где l – расстояние между начальной и конечной точками по геодезической прямой, км;

K_p – коэффициент развития линии трубопровода.

Коэффициент развития линии трубопровода K_p следует определять из условия

$$K_p = \frac{W_{\text{ср.о}}}{W_{\text{ср.н}}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{ср.о}}$ – приведенные затраты на 1 км трубопровода по геодезической прямой между начальной и конечной точками с учетом переходов через препятствия;

$W_{\text{ср.н}}$ – приведенные затраты на 1 км трубопровода по геодезической прямой между начальной и конечной точками без затрат на переходы через естественные и искусственные препятствия.

Не допускается прокладка магистральных трубопроводов по территориям населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, аэродромов, железнодорожных станций, морских и речных портов, пристаней и других аналогичных объектов.

При выборе трассы трубопровода необходимо учитывать перспективное развитие городов и других населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, железных и автомобильных дорог и других объектов и проектируемого трубопровода на ближайшие 20 лет, выполнять прогнозирование изменений природных условий в процессе строительства и эксплуатации магистральных трубопроводов.

Не допускается предусматривать прокладку магистральных трубопроводов в тоннелях железных и автомобильных дорог, по мостам железных и автомобильных дорог всех категорий, за исключением случаев прокладки газопроводов диаметром до 1000 мм на давление до 2,5 МПа (25 кгс/см²) и нефтепроводов и нефтепродуктопроводов диаметром 500 мм и менее по несгораемым мостам автомобильных дорог III, III-п, IV-п, IV и V категорий. При этом участки трубопроводов, укладываемых

по мосту и на подходах к нему следует относить к I категории. Расстояния от оси подземных и наземных (в насыпи) трубопроводов до населенных пунктов, отдельных промышленных и сельскохозяйственных предприятий, зданий и сооружений должны приниматься в зависимости от класса и диаметра трубопроводов, степени ответственности объектов и необходимости обеспечения их безопасности, но не менее значений, указанных в нормативных документах. В стесненных условиях, когда это расстояние выдержать невозможно, его допускается сокращать до 350 м при условии повышения категоричности таких участков до I категории и принятия дополнительных мер, обеспечивающих безопасную эксплуатацию трубопровода, при отсутствии в районе прокладки трубопроводов вечномёрзлых грунтов.

При проектировании трассы трубопровода через естественные и искусственные препятствия (реки, водохранилища, каналы, озера, пруды, ручьи, протоки и болота, овраги, балки, железные и автомобильные дороги) следует соблюдать ряд условий, в том числе:

- створ подводного перехода следует, как правило, предусматривать перпендикулярным динамической оси потока, избегая участков, сложенных скальными грунтами; при выборе створа перехода трубопровода следует руководствоваться методом оптимального проектирования с учетом гидролого-морфологических характеристик каждого водоема и его изменений в течение срока эксплуатации подводного перехода;

- при определении оптимального положения створа и профиля перехода расчет следует производить по критерию приведенных затрат с учетом требований, предъявляемых к прочности и устойчивости трубопровода и охране природы;

- переходы нефтепроводов и нефтепродуктопроводов через реки и каналы следует предусматривать, как правило, ниже по течению от мостов, промышленных предприятий, пристаней, речных вокзалов, гидротехнических сооружений, водозаборов и других аналогичных объектов, а также нерестилищ и мест массового обитания рыб;

- прокладку трубопроводов на болотах следует предусматривать, как правило, прямолинейно с минимальным числом поворотов (в местах поворота следует применять упругий изгиб трубопроводов);

- переходы трубопроводов через железные и автомобильные дороги следует предусматривать в местах прохождения дорог по насыпям либо в местах с нулевыми отметками и в исключительных случаях – при соответствующем обосновании в выемках дорог;

- угол пересечения трубопровода с железными и автомобильными дорогами должен быть, как правило, 90 °.

– при соответствующем технико-экономическом обосновании допускается располагать переходы нефтепроводов и нефтепродуктопроводов через реки и каналы выше по течению от указанных объектов на расстояниях, приведенных в нормативных документах. В местах пересечений магистральных трубопроводов с линиями электропередачи напряжением 110 кВ и выше должна предусматриваться только подземная прокладка трубопроводов под углом не менее 60°. Выбор трассы для трубопровода и площадок для его объектов должен производиться на основе:

– мерзлотно-инженерно-геологических карт и карт ландшафтного микрорайонирования оценки благоприятности освоения территории масштаба не более 1:100 000;

– схематической прогнозной карты восстановления растительного покрова;

– карт относительной осадки грунтов при оттаивании;

– карт коэффициентов удорожания относительной стоимости освоения.

На участках трассы, где возможно развитие криогенных процессов, должны проводиться предварительные инженерные изыскания для прогноза этих процессов в соответствии с требованиями нормативных документов. Допустимые *радиусы изгиба трубопровода* в горизонтальной и вертикальной плоскостях следует определять расчетом из условия прочности, местной устойчивости стенок труб и устойчивости положения. Минимальный радиус изгиба трубопровода из условия прохождения очистных устройств должен составлять *не менее пяти его диаметров*. Упругий изгиб сваренного в нитку трубопровода следует выполнять непосредственно при его укладки в траншею, отрытую по проекту. Радиусы упругого изгиба трубопровода устанавливаются проектом. Минимальные допустимые радиусы изгиба принимаются в соответствии с установленными нормативами. Повороты линейной части трубопровода в вертикальной и горизонтальной плоскостях следует выполнять упругим изгибом сваренной нитки трубопровода или монтажом криволинейных участков из гнутых отводов. Если на отдельных участках трассы в соответствии с проектом необходимо выполнить повороты малого радиуса, который не может быть получен при изгибе труб на станках холодного гнутья, кривые поворота следует выполнять из крутоизогнутых отводов горячего гнутья и штампованных отводов. Планы выбранных вариантов трассы линейного сооружения предоставляются заказчику в составе технического отчета. В отчетных материалах должны приводиться *технические показатели*:

– длина трассы по выбранным вариантам;

– протяженность прохождения трассы по пашне, лесу, лугу, садам;

- прохождение трассы по участкам с неблагоприятными условиями строительства, застроенной территории, горным участкам и др.;
- пересечение трассы водотоками, железными и автомобильными дорогами и др., их число и протяженность;
- протяженность прохождения трассы по местности без дорог, участков сближения или параллельного следования с железными и автомобильными дорогами, линиями электропередачи и связи и др.;
- возможные сносы строений и другие показатели, учитываемые при выборе направления трассы.

Сравнение вариантов трассы проводят на стадии технико-экономического обоснования (предпроектный этап). Вслед за камеральным проводится полевое трассирование – комплекс полевых изыскательских работ в составе инженерных изысканий по проложению (трассированию) на местности оси линейного сооружения.

Состав таких работ:

- рекогносцировочное обследование конкурентоспособных вариантов трассы и мест расположения сооружений при необходимости визуальных (аэровизуальных) осмотров с целью определения полноты содержания и достоверности имеющихся материалов;
- маршрутная аэрофотосъемка для составления крупномасштабных планов, планово-высотная привязка и дешифрирование аэрофотоснимков по вариантам трассы;
- создание планово-высотного съемочного обоснования и проведение топографической съемки эталонных и сложных участков в масштабах 1:5000-1:2000 в случаях, когда аэрофотосъемку производить экономически нецелесообразно или не представляется возможным;
- проложение тахеометрических ходов с набором пикетов в местах рельефа и ситуации.

На стадии изысканий (проектный этап) по заданному в техническом задании направлению трассы выполняют детальное камеральное трассирование, собирают материалы для разработки технического проекта выбранного варианта трассы.

Проект трассы, уложенной на карте, переносится в натуру (полевое трассирование) по координатам углов поворота трассы, от точек геодезического обоснования или от ближайших чётких контуров.

Затем проводят нивелирование трассы. При этом нивелируют все точки – пикеты, плюсовые, главные точки кривой. По результатам нивелирования составляют профиль, горизонтальный масштаб которого указывается в техническом задании (от 1:200 до 1:5000).

2. Практическая часть

1. Запроектировать участок трассы линейной части магистрального трубопровода между заданными точками А и В на плане масштаба 1:10 000.

Порядок выполнения работы:

1. По (приложение 1) определите класс и категорию трубопровода в соответствии со своим заданием (диаметр трубы и вид транспортируемого продукта указывает преподаватель).

2. На основе требований к проектированию трубопроводов, изложенных в нормативных документах, перечислите условия проектирования трассы трубопровода для своего задания.

3. С учетом условий проектирования наметьте на карте расположение основного и дополнительного вариантов трассы между точками А и В, заданными преподавателем.

4. Сравните запроектированные варианты трассы по основным техническим показателям. Результаты сравнения приведите в таблице 11.1, дополнив её при необходимости. Используя полученные данные, выберите из рассматриваемых вариантов оптимальный.

Таблица 11.1

Сравнение вариантов трассы

№ п/п	Наименование показателей	Единица измерения	Данные по вариантам	
			I	II
1	Длина трассы	км		
2	Категория трубопровода	–		
3	Число углов поворота	шт.		
4	Средний угол поворота	°		
5	Средний уклон	‰		
6	Число сносимых сооружений	шт.		
7	Протяжённость участка в сложных условиях (болото и др.)	км		
8	<i>Прочие параметры</i>			
9	<i>Прочие параметры</i>			

5. Вычертите на листе бумаги формата А4 местоположение оптимального варианта трассы в масштабе карты.

6. По оптимальному варианту трассы разбейте пикетаж, используя значения основных элементов круговых кривых (рисунок 11.1).

Разбивку производят по оптимальному варианту в следующей последовательности (рисунок 11. 2):

- Разбивают пикетаж через 100 метров на первом прямом участке от начала трассы НТ (точка А) до вершины угла поворота УГ1, пикетажное положение которого определяют по схеме.
- В соответствии с измеренным углом поворота θ_1 и радиусом кривой R_1 в бланке практического задания рассчитывают основные элементы первой кривой T_1 , K_1 , D_1 и B_1 по формулам.

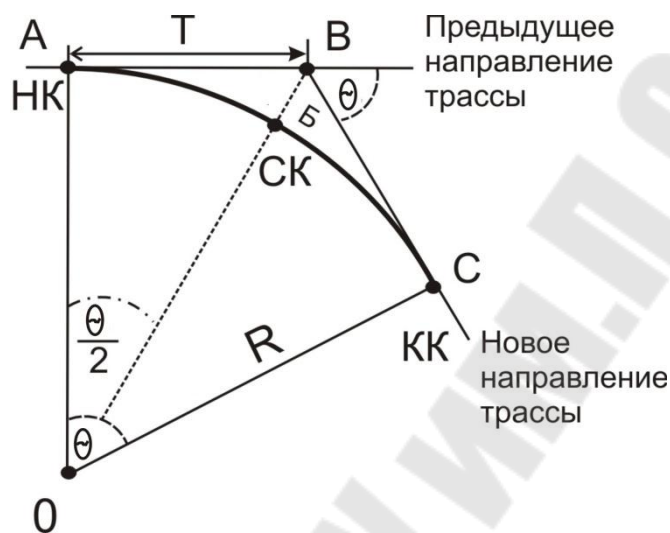


Рисунок 11.1 – Элементы круговой кривой и её главные точки: Θ – угол поворота трассы, R – радиус кривой, T – тангенс, B – биссектриса, НК – начало кривой, КК – конец кривой, СК – середина кривой.

Разбивку производят по оптимальному варианту в следующей последовательности (рисунок 11. 2):

- Разбивают пикетаж через 100 метров на первом прямом участке от начала трассы НТ (точка А) до вершины угла поворота УГ1, пикетажное положение которого определяют по схеме.

– В соответствии с измеренным углом поворота θ_1 и радиусом кривой R_1 в бланке практического задания (приложение 4) рассчитывают основные элементы первой кривой T_1 , K_1 , D_1 и B_1 по формулам.

- Результаты расчетов заносят в табл. 2 в строку, соответствующему первому углу поворота. Формулы для расчёта:

$$T_1 = R_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Theta_1}{2}; \quad K_1 = R_1 \cdot \frac{\pi \cdot \Theta_1}{180^\circ}; \quad D_1 = 2T - K; \quad B_1 = R_1 \left(\operatorname{Sec} \frac{\Theta_1}{2} - 1 \right).$$

- Рассчитывают пикетажное положение начала кривой НК₁ и конца кривой КК₁ по первому участку по формулам:

$$ПК_{НК_1} = ПК_{ВУ_1} - T; \quad ПК_{КК_1} = ПК_{НК_1} + K; \quad ПК_{СК_1} = ПК_{НК_1} + \frac{K_1}{2}.$$

$$\text{Контроль: } KK_1 = PK_{BV_1} + T_1 - D_1.$$

Данные по пикетажному положению элементов кривых заносят в таблицу 11. 2 в графы 11–12.

– Наносят на трассу положение НК и КК первого участка трассы, либо откладывают в масштабе карты значение тангенса T_1 в обе стороны от вершины УГ1. Геометрическим построением находят на карте центр кривой и выбранным радиусом R_1 прочерчивают её дугу.

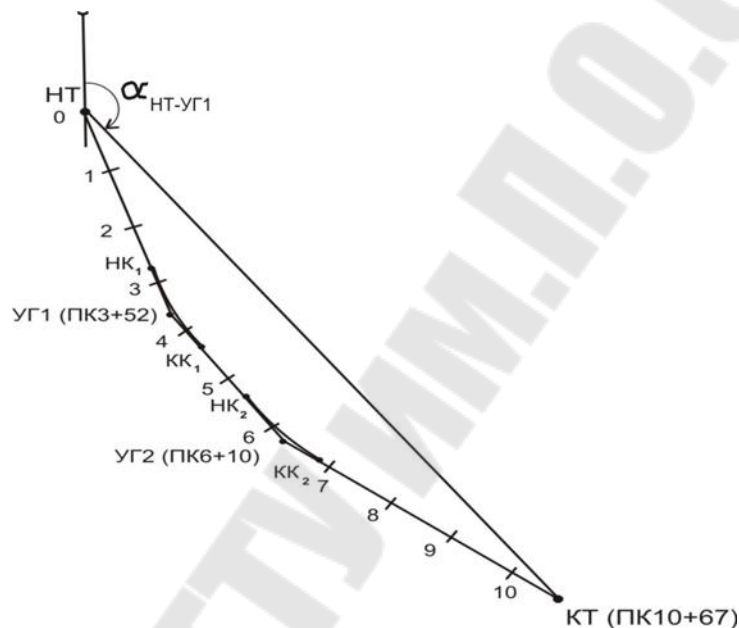


Рисунок 11.2 – План разбивки пикетажа трассы

– От точки KK_1 продолжают разбивку пикетажа по второму прямолинейному участку до вершины угла поворота УГ2. Для этого сначала откладывают от конца кривой расстояние до ближайшего пикета, а затем обычным порядком разбивают последующие пикеты.

– Повторяют расчёты и разбивку пикетажа для каждого из участков трассы, вплоть до её конца КТ (точка В). Пикетажное положение конца трассы находят по схеме трассы. Производят расчёт прямых вставок (P):

$$P_1 = HK_1 - HT;$$

$$P_2 = HK_2 - KK_1;$$

$$P_n = KT - KK_n,$$

где n – количество углов поворота.

Вычисления выполняют в бланке практического задания, а результаты заносят в таблицу 11.2.

– Определяют расстояния между вершинами углов поворота S :

$$S_1 = УГ1 - НТ ;$$

$$S_2 = УГ2 - УГ1 + Д_1 ;$$

$$S_3 = УГ3 - УГ2 + Д_2 ;$$

$$S_4 = КТ - УГ3 + Д_3 \text{ и т. д.}$$

– Вычисляют значения дирекционных углов прямолинейных участков трассы

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \Theta_n \text{ или } \alpha_n = \alpha_{n-1} - \Theta_l ,$$

где Θ_n и Θ_l – правый и левый углы поворота трассы (графы 4 и 5 таблица 11.2).

Начальный дирекционный угол $\alpha_{НТ-УГ1}$ измеряют геодезическим транспортиром по топографическому плану с точностью 15'.

Разбивка пикетажа закончена.

7. Дайте оценку оптимальному варианту трассы, обратив особое внимание на топографические, геологические и гидрогеологические характеристики местности, а также на наличие естественных и искусственных препятствий, пересекаемых трассой.

Содержание отчёта по практическому заданию:

1. Исходные данные и условия проектирования трассы трубопровода.
2. Ксерокопия карты с намеченными вариантами трассы.
3. Сравнение вариантов трассы (таблица 11.1)
4. Заполненный бланк лабораторного задания.
5. Лист А4 с планом разбивки пикетажа трассы.
6. Заполненная ведомость углов поворота (структуру ведомости взять из таблицы 11.2).
7. Заключение (оценка оптимального варианта трассы в соответствии с требованиями, указанными в нормативных документах).

Таблица 11.2

Пример ведомости углов поворота трассы и прямых вставок

Наименование точек трассы	Километры	У Г Л Ы			К Р И В Ы Е						П Р Я М Ы Е				Дирекционный угол (ω) , °
		Пикетажное положение	Величины		R, м	T, м	K, м	Б, м	Д, м	Пикетажное положение		Длина			
			Θ_L , °	Θ_P , °						Начало кривой (НК)	Конец кривой (КК)	Прямая вставка (P), м	Расстояние между вершинами углов поворота (S), м		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
НТ		ПК0													
												273,01	352,00	158	
УГ1		ПК3+52	15°		600	78,99	157,0	5,18	0,98	ПК2+73,01	ПК4+30,01				
												106,32	258,98	143	
УГ2		ПК6+10	14°		600	73,67	146,53	4,50	0,81	ПК5+36,33	ПК6+82,86				
												384,14	457,81	129	
КТ		ПК10+67													

Контроль: $\Theta_L = 29; \Theta_P = 0; \sum T = 152,66; \sum K = 303,53; \sum D = 1,79; \sum P = 763,47; \sum S = 1068,79;$

$\sum \Theta_P - \sum \Theta_L = \alpha_0 - \alpha_n = 29^\circ = 159^\circ - 129^\circ = 29^\circ; 2\sum T - \sum K = \sum D = 2 \cdot 152,66 - 303,53 = 1,79 = \sum D;$

$L_{TP} = \sum P + \sum K = 763,47 + 303,53 = 1067,00; L_{TP} = \sum S - \sum D = 1068,79 - 1,79 = 1067,00.$

ПРИЛОЖЕНИЯ

Классификация и категории магистральных трубопроводов

1.1 Магистральные газопроводы в зависимости от рабочего давления в трубопроводе подразделяются на два класса:

I – при рабочем давлении свыше 2,5 до 10,0 МПа (свыше 25 до 100 кгс/см²) включ.;

II – при рабочем давлении свыше 1,2 до 2,5 МПа (свыше 12 до 25 кгс/см²) включ.

1.2 Магистральные нефтепроводы и нефтепродуктопроводы в зависимости от диаметра трубопровода подразделяются на четыре класса, мм:

I – при условном диаметре свыше 1000 до 1200 включ.;

II – то же, свыше 500 до 1000 включ.;

III – то же, свыше 300 до 500 включ.;

IV – 300 и менее.

Таблица 1

1.3 Допустимые радиусы изгиба трубопровода

Диаметр трубопроводов, мм	Минимально допустимые радиусы упругого изгиба трубопровода, м	Диаметр трубопроводов, мм	Минимально допустимые радиусы упругого изгиба трубопровода, м
1400	1400	600	600
1200	1200	500	500
1000	1000	400	400
800	800	300	300
700	700	200	200

Таблица 2

1.4 Категории магистральных трубопроводов следует принимать по таблице

Назначение трубопровода	Категория трубопровода при прокладке	
	подземной	надземной и наземной
Для транспортирования природного газа:		
а) диаметром менее 1200 мм	IV	III
б) диаметром 1200 мм и более	III	III
в) в северной строительно-климатической зоне	III	III
Для транспортирования нефти и нефтепродуктов:		
а) диаметром менее 700 мм	IV	III
б) диаметром 700 мм и более	III	III
в) в северной строительно-климатической зоне	III	III

Таблица 3

1.5 Категории участков магистральных трубопроводов следует принимать по таблице

Назначение участков трубопроводов	Категория участков при прокладке					
	газопроводов			нефтепроводов и нефтепродуктопроводов		
	подземной	наземной	надземной	подземной	наземной	надземной
1	2	3	4	5	6	7
1. Переходы через водные преграды:						
а) судоходные ... при диаметре трубопровода, мм:						
1000 и более	I	-	I	B	-	B
менее 1000	I	-	I	I	-	I
б) несудоходные шириной зеркала воды в межень 25 м и более — в русловой части ... при диаметре трубопровода, мм:						
1000 и более	I	-	I	B	-	I
менее 1000	I	-	I	I	-	I
в) несудоходные шириной зеркала воды в межень до 25 м—в русловой части, ...	I	-	II	I		I
2. Переходы через болота типа:						
а) I	III	III	III	II, III ¹	II, III ¹	II, III ¹
б) II	II	III	III	II	II	III
в) III	I	II	II	B	B	I
3. Переходы через железные и автомобильные дороги (на перегонах):						
а) железные дороги общей сети, включая участки длиной 40 м каждый по обе стороны дороги от осей крайних путей, но не менее 25 м от подошвы насыпи земляного полотна дороги	I	-	I	I	-	I
в) автомобильные дороги I и II категорий, включая участки длиной 25 м каждый по обе стороны дороги от подошвы насыпи или бровки выемки земляного полотна дороги	I	-	I	I	-	I
г) автомобильные дороги II, III-п, IV, IV-п категорий, включая участки длиной 25 м каждый по обе стороны дороги от подошвы насыпи или бровки выемки земляного полотна дороги	I	-	I	III	-	I
д) автомобильные дороги V категории, включая участки длиной 15м по обе стороны дороги от подошвы насыпи или бровки выемки земляного полотна	III	-	III	III	-	III
4. Трубопроводы в горной местности при укладке:	III	III	-	II	II	-
а) на полках						
б) в тоннелях	-	I	I	-	I	I

7. Трубопроводы, прокладываемые по территории распространения вечномёрзлых грунтов, имеющих при оттаивании относительную осадку свыше 0,1	II	II	II	II	II	II
22. Пересечения (в обе стороны) в пределах расстояний, указанных в поз. 12 табл. 4*, с воздушными линиями электропередачи напряжением, кВ: а) 500 и более б) от 330 до 500 в) до 330	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	- - -
23. Трубопроводы, прокладываемые по подрабатываемым территориям и территориям, подверженным карстовым явлениям	II	II	II	II	II	II
24. Переходы через овраги, балки, рвы и пересыхающие ручьи	III	III	III	III	III	III
<p><i>Примечания:</i> 1. Категории отдельных участков трубопроводов, аварийное повреждение которых может вызвать перебои в подаче газа, нефти и нефтепродуктов городам и другим крупным потребителям, имеющим большое народнохозяйственное значение, а также загрязнение окружающей среды, при соответствующем обосновании допускается повышать на одну категорию.</p> <p>2. Типы болот следует принимать в соответствии с требованиями СНиП □□□-42-80*.</p> <p>3. При пересечении трубопроводом массива болот различных типов при соответствующем обосновании допускается принимать категорию всего участка как для наиболее высокой категории на данном массиве болот.</p> <p>4. Испытания участков трубопроводов, прокладываемых через водные преграды с зеркалом воды в межень менее 10 м, предусматривать в составе смонтированного трубопровода в один этап.</p> <p>5*. Действующие трубопроводы, находящиеся в удовлетворительном техническом состоянии (по заключению представителей заказчика строящегося сооружения, эксплуатационной организации и соответствующего органа государственного надзора), при пересечении их проектируемыми трубопроводами, линиями электропередачи, а также подземными коммуникациями, указанными в поз. 20 и 21, и при параллельной прокладке в соответствии с поз. 26*, не подлежат замене трубопроводами более высокой категории.</p> <p>6. Действующие трубопроводы, пересекаемые строящимися железными и автомобильными дорогами, подлежат реконструкции в соответствии с поз. 3.</p> <p>7. Категорию участков трубопроводов, прокладываемых в поймах рек, подлежащих затоплению под водохранилище, следует принимать как для переходов через судоходные водные преграды.</p> <p>8. При небольшой продолжительности подтопления паводковыми водами (менее 20 дн.) и незначительной глубине этого подтопления, позволяющей оперативное проведение в данной местности аварийно-восстановительных работ на трубопроводах в случае их повреждения, выполнение требований поз. 1д для газопроводов не обязательно.</p> <p>9. Категорийность участков трубопроводов на переходах через водохранилища, пруды, озера следует принимать: для судоходных — по поз. 1а; для несудоходных — по поз. 1б и 1в.</p> <p>10. Знак «-» в таблице означает, что категория не регламентируется.</p>						

Таблица 4

1.6 Минимальные расстояния от различных объектов до оси проектируемых трубопроводов

Объекты, здания и сооружения	Минимальные расстояния, м, от оси											
	Газопроводов						нефтепроводов и нефтепродуктопроводов					
	класса											
	I			II			IV		III		I	
	условным диаметром, мм											
	300 и менее	св. до 300	св. до 600	св. до 800	св. до 1000	св. до 1200	св. до 1400	300 и менее	св. до 300	300 и менее	св. до 500	св. до 1000
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
1. Города и другие населенные пункты; ... отдельные промышленные и сельскохозяйственные предприятия; тепличные комбинаты и хозяйства; карьеры разработки полезных ископаемых; ...	100	150	200	250	300	350	75	125	75	100	150	200
2. Железные дороги общей сети (на перегонах) и автодороги I-III категорий, параллельно которым прокладывается трубопровод; отдельно стоящие: жилые здания 1—2-этажные; садовые домики, дачи; дома линейных обходчиков; кладбища; сельскохозяйственные фермы и огороженные участки для организованного выпаса скота; полевые станы	75	125	150	200	225	250	75	100	50	50	75	100
3. Отдельно стоящие нежилые и подсобные строения; устья бурящихся и эксплуатируемых нефтяных, газовых и артезианских скважин;	30	50	100	150	175	200	30	50	30	30	30	50
4. Мосты железных дорог промышленных предприятий. автомобильных дорог III, III-п, IV, IV-п категорий с пролетом свыше 20 м (при прокладке нефтепроводов и нефтепродуктопроводов ниже мостов по течению)	75	125	150	200	225	250	75	125	75	100	150	200

<p>11*. Специальные предприятия, сооружения, площадки, охраняемые зоны, склады взрывчатых и взрывоопасных веществ, карьеры полезных ископаемых, добыча на которых производится с применением взрывных работ, склады сжиженных горючих газов</p>	<p>В соответствии с требованиями специальных нормативных документов , утвержденных в установленном порядке , и по согласованию с органами государственного надзора, министерствами и ведомствами, в ведении которых находятся указанные объекты</p>
<p>12. Воздушные линии электропередачи высокого напряжения, параллельно которым прокладывается трубопровод; воздушные линии электропередачи высокого напряжения, параллельно которым прокладывается трубопровод в стесненных условиях трассы; опоры воздушных линий электропередачи высокого напряжения при пересечении их трубопроводом; открытые и закрытые трансформаторные подстанции и закрытые распределительные устройства напряжением 35 кВ и более</p>	<p>В соответствии с требованиями „Правил устройства электроустановок“</p>
<p><i>*Примечания :</i> 1. Расстояния, указанные в таблице, следует принимать: для городов и других населенных пунктов проектной городской черты – на расчетный срок 20 – 25 лет; для отдельных промышленных предприятий, железнодорожных станций, аэродромов, морских и речных портов и пристаней, гидротехнических сооружений, складов горючих и легковоспламеняющихся материалов, артезианских скважин – от границ отведенных им территорий с учетом их развития; для железных дорог – от подошвы насыпи или бровки выемки со стороны трубопровода, но не менее 10 м от границы полосы отвода дороги; для автомобильных дорог – от подошвы насыпи земляного полотна; для всех мостов—от подошвы конусов; для отдельно стоящих зданий и строений – от ближайших выступающих их частей.</p> <p>2. Под отдельно стоящим зданием или строением следует понимать здание или строение, расположенное вне населенного пункта на расстоянии не менее 50 м от ближайших к нему зданий или сооружений.</p> <p>3. При соответствующем обосновании допускается сокращать расстояния не более, чем на 30 % при условии отнесения участков трубопроводов ко II категории со 100%-ным контролем монтажных сварных соединений рентгеновскими или гамма-лучами и не более, чем на 50 % при отнесении их к категории В. Расстояния для нефтепроводов и нефтепродуктопроводов допускается сокращать не более, чем на 30 % при условии увеличения номинальной (расчетной) толщины стенки труб на такую величину в процентах, на которую сокращается расстояние.</p> <p>. При расположении зданий и сооружений на отметках выше отметок нефтепроводов и нефтепродуктопроводов допускается уменьшение указанных в поз. 1, 2, 4 и 10 расстояний до 25 % при условии, что принятые расстояния должны быть не менее 50 м.</p> <p>5. Для газопроводов, прокладываемых в лесных районах, минимальные расстояния от железных и автомобильных дорог допускается сокращать на 30 %.</p> <p>6. Указанные минимальные расстояния от подводных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов допускается уменьшать до 50 % при укладке этих трубопроводов в стальных футлярах.</p> <p>7. Газопроводы и другие объекты, из которых возможен выброс или утечка газа в атмосферу, должны располагаться за пределами полос воздушных подходов к аэродромам и вертодромам.</p> <p>8. Знак «-» в таблице означает, что расстояние не регламентируется.</p>	

1.7 Бланк лабораторного задания

$$T_1 = R_1 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Theta_1}{2} =$$

$$K_1 = R_1 \cdot \frac{\pi \cdot \Theta_1}{180^\circ} =$$

$$D_1 = 2T - K =$$

$$B_1 = R_1 \left(\operatorname{Sec} \frac{\Theta_1}{2} - 1 \right) =$$

$$ПК_{HK_1} = ПК_{BV_1} - T =$$

$$ПК_{KK_1} = ПК_{HK_1} + K =$$

$$ПК_{CK_1} = ПК_{HK_1} + \frac{K_1}{2} =$$

Контроль: $KK_1 = ПК_{BV_1} + T_1 - D_1 =$

$$P_1 = HK_1 - HT =$$

$$P_2 = HK_2 - KK_1 =$$

$$P_3 = HK_3 - KK_2 =$$

$$S_1 = УГ1 - HT =$$

$$S_2 = УГ2 - УГ1 + D_1 =$$

$$S_3 = УГ3 - УГ2 + D_2 =$$

$$S_4 = КТ - УГ3 + D_3 =$$

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \Theta_n = \quad \text{или} \quad \alpha_n = \alpha_{n-1} - \Theta_n =$$

Практическое занятие №12

Решение задач по геометризации недр

Цель занятия: освоить решение геометрических задач в проекциях с числовыми отметками, статистический анализ данных геологических опробований и арифметические действия с топографическими поверхностями.

Работа состоит из двух частей:

12.1 Проекция с числовыми отметками.

12.2 Определение плотности разведочной сети с помощью компьютера

12.1 Проекция с числовыми отметками

1. Теоретическая часть

Чтобы изобразить точку, прямую или любой объект по их координатам, необходимо на плоскость проекции нанести систему координат и указать масштаб изображения.

В проекциях с числовыми отметками точку по двум ее координатам наносят на картинную плоскость, а ее третью координату подписывают у проекции этой точки в виде числовой отметки (высоты).

Прямая имеет определенное положение в пространстве и может быть изображена в проекциях с числовыми отметками, если известны: 1) координаты двух точек прямой;

2) координаты одной точки, направление прямой – дирекционный угол (азимут) и угол наклона прямой к горизонту.

Положение плоскости в пространстве и ее изображение на плане определяют:

- 1) три точки, не лежащие на одной прямой;
- 2) прямая линия и точка, не лежащая на этой прямой;
- 3) две пересекающиеся прямые, в частном случае – линия простирания и линия падения;
- 4) две параллельные прямые;
- 5) прямая линия, являющаяся линией наибольшего ската данной плоскости.

Поверхность в проекциях с числовыми отметками изображают изолиниями – проекциями линий пересечения этой поверхности плоскостями, параллельными плоскости проекции и равноотстоящими друг от друга. Вид изолиний зависит от формы поверхности, ее сложности и расположения относительно плоскости проекции.

Определение положения прямых в пространстве непосредственно связано с решением прямой и обратной геодезических задач, которые в

маркшейдерии рассматриваются в трехмерном пространстве координат x , y , z .

Прямая задача. Даны координаты x_N , y_N , z_N начала вектора NK , направление $\alpha(NK)$, угол наклона $\delta(NK)$ к горизонту и длина вектора $NK = L$. Требуется определить координаты x_K , y_K , z_K конца вектора.

$$x_K = x_N + L \cdot \cos \delta \cdot \cos \alpha$$

$$y_K = y_N + L \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha$$

$$z_K = z_N - L \cdot \sin \delta$$

Обратная задача. Даны координаты начала x_N , y_N , z_N и конца x_K , y_K , z_K вектора NK . Требуется определять направление вектора α , угол наклона δ , горизонтальное положение l и длину $NK = L$.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_K - y_N}{x_K - x_N}$$

$$l = \frac{\Delta x}{\cos \alpha} = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\Delta z}{l} = \frac{z_K - z_N}{l}$$

$$L = \frac{l}{\cos \delta} = \frac{\Delta z}{\sin \delta} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}$$

Проекция точек, прямых и их взаимное положение. Прямую на плане (графике) изображают в градуированных отметках. Градуированием прямой называют нахождение на проекции прямой точек с целочисленными отметками, кратными выбранному сечению. Графическое градуирование производят с помощью трафарета или по способу профиля.

Точки с целочисленными отметками на проекции прямой есть проекции точек пересечения прямой с плоскостями, параллельными плоскости проекции и отстоящими друг от друга на расстоянии, равном высоте сечения.

Разность целочисленных отметок двух соседних точек градуированной проекции прямой называют высотой сечения или сечением прямой (h).

Длину проекции отрезка прямой, разность отметок на концах которого равна единице сечения, называют заложением прямой (a).

Уклоном (i) прямой линии называют тангенс угла наклона прямой к плоскости проекции

$$i = \operatorname{tg} \delta = \frac{h}{a}$$

При данном сечении уклон прямой есть величина, обратная заложению.

Взаимное положение прямой и точки.

1. Точка лежит на прямой, если проекция точки, совпадает с проекцией прямой и имеет общую с прямой отметку.

2. Точка не лежит на прямой, если:

а) проекция точки не совпадает с проекцией прямой,

б) проекция точки совпадает с проекцией прямой, но данная точка и точка на прямой имеют разные отметки.

Чтобы по плану определять кратчайшее расстояние между прямой и точкой вне прямой необходимо через точку и прямую провести плоскость. Найти совмещение, т.е. параллельное плоскости проекции положение этой плоскости, повернув ее вокруг одной из ее горизонталей. Измерить расстояние от точки до прямой по нормали (опустить из точки перпендикуляр на совмещенную прямую) в масштабе графика.

Если проекция точки совпадает с проекцией прямой, то непосредственно по плану можно определять лишь расстояние по вертикали между ними, равное разности отметок совпадающих проекций.

Взаимное положение прямых.

Прямые в пространстве:

1) параллельны,

2) пересекаются (частный случай – взаимно перпендикулярны),

3) скрещиваются (не параллельны и не пересекаются).

У параллельных прямых проекции параллельны, заложения равны, направление возрастания отметок одинаково.

Пересекающиеся в пространстве прямые изображаются пересекающимися проекциями. Точка пересечения прямых имеет одну общую для обеих прямых отметку.

Если пересекающиеся прямые лежат в одной профильной плоскости, то проекции прямых сливаются.

Прямые в пространстве скрещиваются, если проекции прямых пересекаются, но в точке пересечения имеют разные отметки; если проекции прямых параллельны, но имеют разные заложения, или имеют одинаковое заложение, но возрастание отметок идет в разные стороны.

Определение истинных расстояний между параллельными прямыми и истинных углов между пересекающимися прямыми производят на плоскости, которую проводят через них и совмещают ее с плоскостью проекции или параллельной ей.

Пример 1

На плане (рисунок 12.1) даны три точки a_{30} , b_{57} , c_{10} . Требуется определить в образовавшемся треугольнике истинные значения его углов и длин сторон.

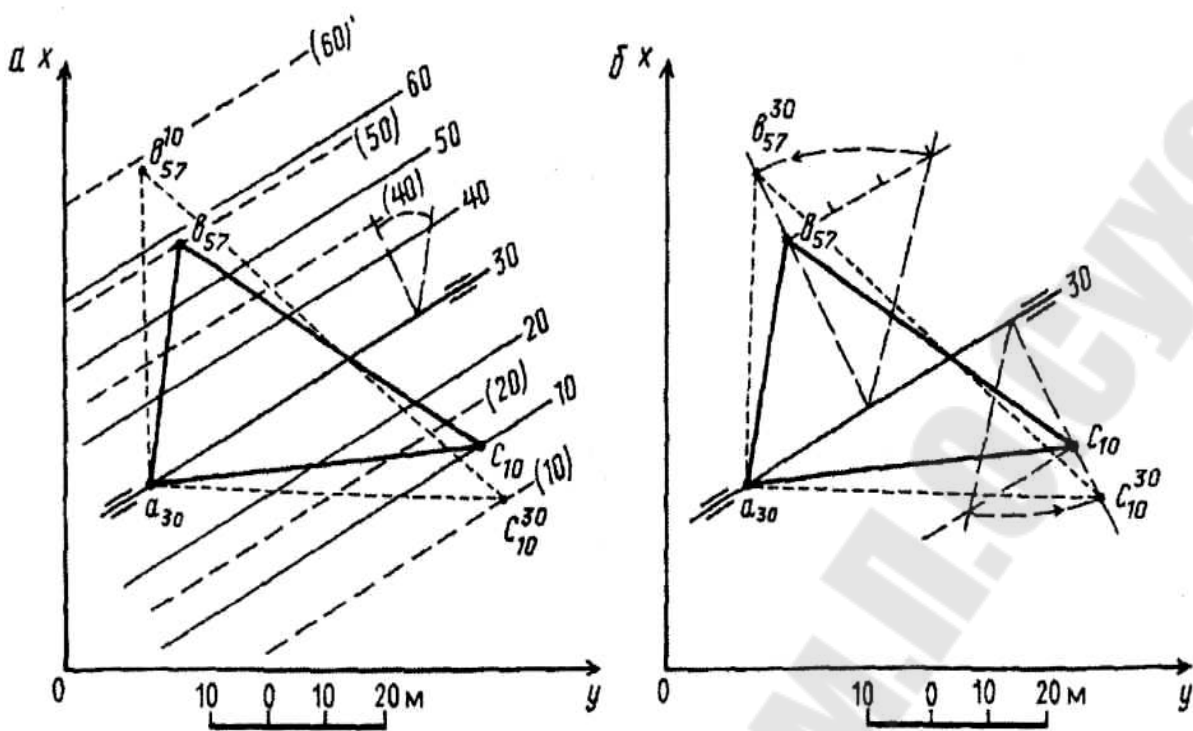


Рисунок 12.1 – Определение истинных значений углов и длин сторон треугольника a_{30} , b_{57} , c_{10} методом совмещения плоскости (а) и точек b_{57} , c_{10} (б)

Решение может быть выполнено двумя способами:

- построение по точкам плоскости в горизонталях и совмещение ее горизонталей с плоскостью проекции, путем вращения плоскости вокруг горизонтали, например, 30 (см. рисунок 12.1, а). Совмещенные горизонталы показаны штрих-линиями. Переноса исходные точки по нормали к оси вращения на соответствующие их отметкам горизонтали, находят точки a_{30} , b_{57} , c_{10} , соединив которые получают треугольник с истинными углами и сторонами в масштабе графика;
- определение совмещенного положения каждой точки (см. рисунок 12.1, б). Для этого проводят одну из горизонталей плоскости например, с отметкой 30. Эту горизонталь принимают за ось вращения и находят совмещенные положения точек, не лежащих на этой оси. Для этого необходимо из этой точки опустить перпендикуляр на ось вращения и от оси вращения на перпендикуляре отложить отрезок, равный гипотенузе прямоугольного треугольника, у которой один катет – расстояние от данной точки до оси вращения, а второй – отрезок, равный разности отметок этой точки и оси вращения в масштабе чертежа. Точки b_{57}^{30} и c_{10}^{30} являются совмещенными с горизонтальной плоскостью, имеющей отметку 30. В треугольнике $a_{30}b_{57}^{30}c_{10}^{30}$ величины углов и сторон (в масштабе чертежа) являются истинными.

2. Практическая часть

12.1 Решить следующие задачи в проекциях с числовыми отметками:

1. Даны две точки А (30; 25; 82) и В (50; 65; 115), принадлежащие одной прямой.

Требуется: 1) изобразить прямую на плане в масштабе 1 : 1000 в проекции с числовыми отметками; 2) проградировать прямую через 5 м аналитическим методом.

2. Изобразить на плане в масштабе 1 : 2000 в проекции с числовыми отметками отрезок прямой АВ, если координаты его конечных точек, следующие:

$$x_a = 230, y_a = 32, z_a = 145,3$$

$$x_b = 150, y_b = 350, z_b = 225$$

Прямую проградировать через 1 м с помощью трафарета.

3. Даны координаты двух маркшейдерских точек наклонной горной выработки:

$$x_1 = 915, y_1 = 102, z_1 = -17;$$

$$x_2 = 971, y_2 = 149, z_2 = +9$$

Определить: 1) горизонтальную проекцию наклонной выработки (l); 2) длину наклонной выработки в метрах (L); 3) уклон выработки (i); 4) угол наклона ее к горизонту (δ).

4. Наклонная буровая скважина имеет координаты устья:

$$x = 520 \text{ м}, y = 335 \text{ м}, z = 243 \text{ м};$$

координаты забоя скважины:

$$x_1 = 585 \text{ м}, y_1 = 360 \text{ м}, z_1 = 80 \text{ м}.$$

Требуется, приняв ось скважины за прямую линию, нанести на план в масштабе 1 : 1000 ось скважины в проекциях с числовыми отметками и определять: 1) величину вертикальной проекции (h в метрах); 2) длину скважины (L); 3) угол наклона (δ) оси скважины к горизонту; 4) дирекционный угол (α) оси скважины.

5. В точке O (1215, 624, 378) на земной поверхности пробурена наклонная скважина длиной 156 м, под углом наклона 65° и азимутом 30° .

Требуется, приняв ось скважины за прямую линию: 1) нанести на план в масштабе 1 : 2000 ось скважины в проекции с числовыми отметками; 2) определить графически координаты (x , y , z) забоя скважины, если известно, что магнитное склонение является восточным и составляет 9° .

6. Три маркшейдерские точки, закрепленные в выработках в кровле пласта, имеют следующие координаты:

$$\text{I } (x_1 = 101,75; y_1 = 152,30; z_1 = +58,15);$$

$$\text{II } (x_2 = 250,32; y_2 = 101,12; z_2 = 42,30);$$

$$\text{III } (x_3 = 172,40; y_3 = 303,23; z_3 = +62,10).$$

Приняв поверхность кровли пласта в пределах данных точек за плоскость, определить элементы залегания плоскости – дирекционный угол линии простирания (α) и угол падения (δ).

Плоскость изобразить на плане в масштабе $1 : 5000$ в горизонтальном сечении через 20 м.

7. Пласт полезного ископаемого разведан двумя вертикальными буровыми скважинами (А и В) и третьей наклонной скважиной (С). Координаты устья скважин:

А (100, 100, +350);

В (350, 200, +355);

С (75, 350, +371).

Наклонная скважина пробурена с земной поверхности под дирекционным углом $\alpha_c = 296^\circ$ и углом наклона к горизонту $\delta_c = 67^\circ$.

Скважиной А пласт полезного ископаемого встречен на глубине 160 м, скважиной В – на глубине 157 м, скважиной С – на расстоянии 260 м от земной поверхности по скважине.

Требуется: 1) изобразить на плане в масштабе $1:5000$ устья скважин и точки пересечения осей скважин с пластом; 2) построить плоскость пласта по трем точкам в горизонталях сечением через 20 м; 3) определить дирекционный угол направления линии простирания пласта (α) и угол падения пласта (δ).

Вопросы для самоконтроля

- 1) Изображение точки в проекции с числовыми отметками.
- 2) Изображение линии в проекции с числовыми отметками.
- 3) Изображение плоскости в проекции с числовыми отметками.

12.2 Определение плотности разведочной сети с помощью компьютера

1. Теоретическая часть

В зависимости от расположения залежей в недрах разведочные выработки (скважины, шурфы, дудки и пр.) располагают по разведочным линиям вкрест простирания – равномерно по площади разведываемого участка в виде квадратной, прямоугольной, ромбической и других сеток.

Существуют различные способы определения рациональной плотности разведочной сети. Основными из них являются:

- 1) аналитический,
 - 2) способ разрежения сети и
 - 3) способ сравнения данных разведки с данными эксплуатации.
- Каждый из способов имеет свои достоинства. Недостаток первого – отсутствие учёта размера объекта. Во втором – опираются лишь на

изменениях средних значений показателя. В третьем – сравнивают результаты разведки с величинами, не имеющими количественной оценки.

Предлагается рассмотреть геометрический метод.

Сущность геометрического метода на стадии детальной разведки разрабатываемых месторождений состоит в применении метода разряжения разведочной сети и определении отклонений не средних значений показателей, а погрешностей реализаций исходной топофункции при различной плотности разведочной сети.

За исходную принимают топофункцию, полученную на основе геометризации форм или свойств наиболее изученного фактора представительного участка месторождения.

Путём математических действий с топоповерхностями – исходной и её реализациями сетью разных размеров - получают ряд топоповерхностей (квадратичных погрешностей). По зависимости их изменения от плотности разведочной сети определяют рациональную разведочную сеть, которая величиной своей погрешности удовлетворяла бы требованиям предприятия.

Схема решения задачи оценки реализаций при разведке представлена на рисунке 12.2, на котором: P – исходная топофункция; R_i – реализации при разных положениях и размерах разведочной сети; δ – разность топофункций исходной и реализаций; δ^2 – квадрат разности топофункций; m_i – среднеквадратичная погрешность реализаций; n – число точек палетки.

2. Практическая часть

На рисунке 12.3 представлен план изолиний показателя залежи, построенных по данным измерений при разработке залежи.

Приняв эти данные за исходные, достаточно точно отражающие изучаемый объект, определите плотность разведочной сети:

1. Аналитическим методом по формуле

$$n = t^2 \sigma^2 / m^2$$

где t – коэффициент вероятности; m – погрешность выборочной средней; σ – дисперсия показателя;

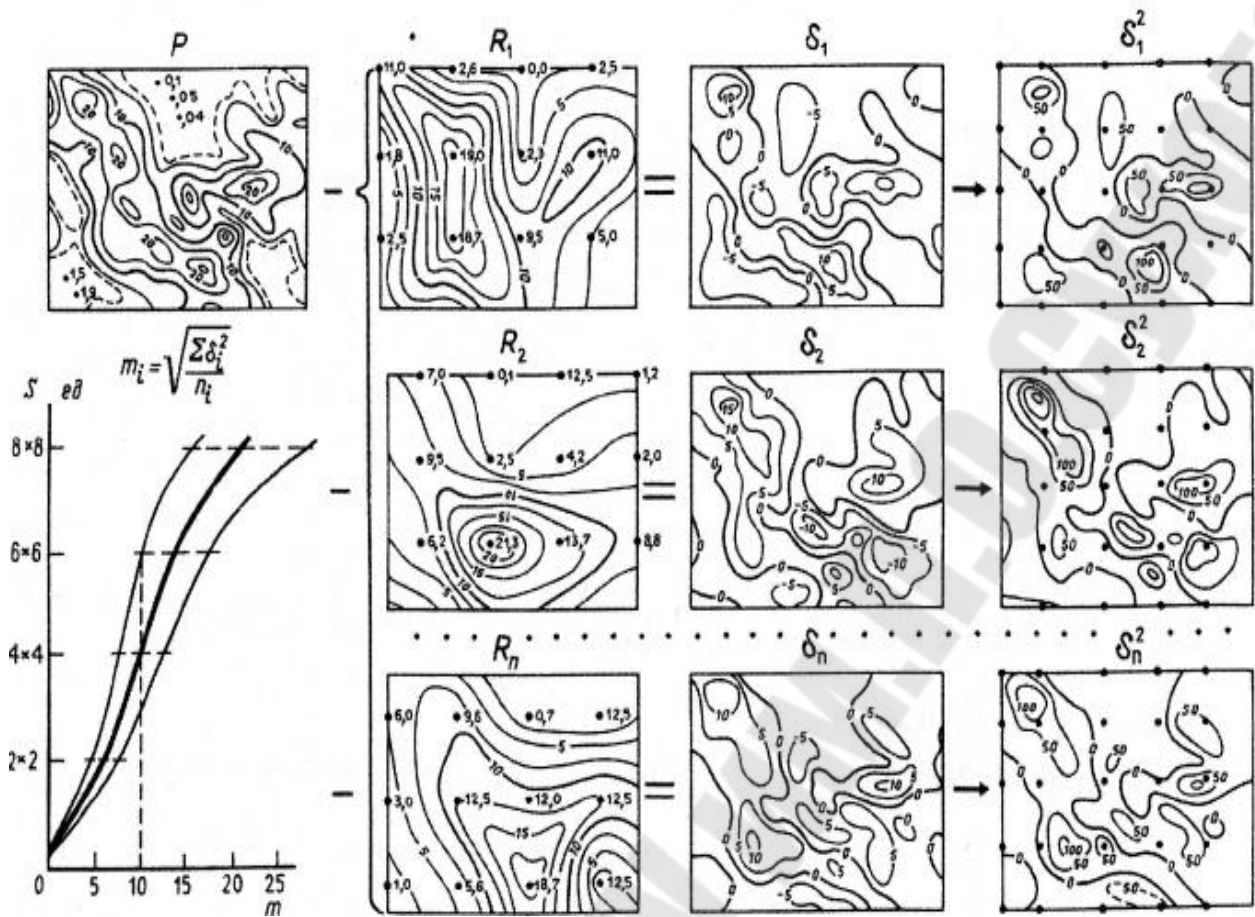


Рисунок 12.2 – Схема решения задачи оценки реализаций

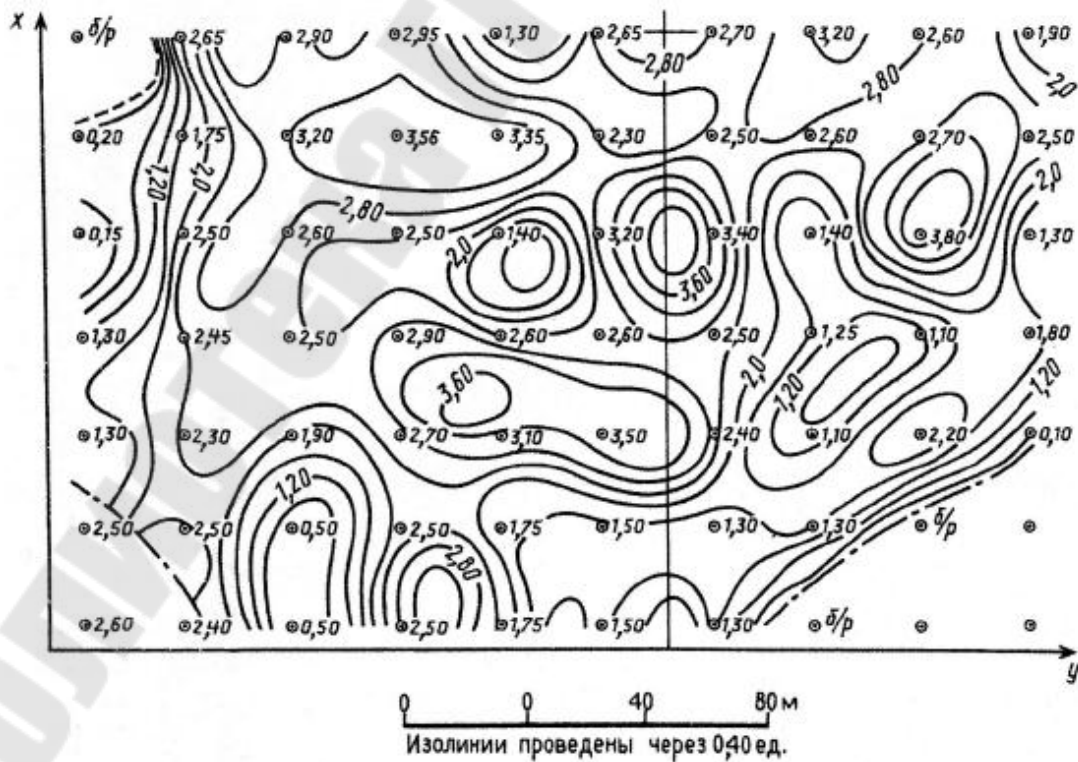


Рисунок 12.3 – План изолиний показателя по данным эксплуатационной разведки

2. Методом разрежения по изменению средних значений показателя по исходной и разреженным сетям;

3. Геометрическим методом с применением математических действий с топоповерхностями.

Пояснения к выполнению задания

1. На основе плана создают двумерную цифровую матрицу с условной системой координат и её началом в одном из углов модели.

2. Определяют статистические характеристики исходной цифровой матрицы (среднее, дисперсию, коэффициент вариации, геометрическую изменчивость).

3. Создают матрицы реализаций путём выборки значений исходной матрицы сетью через один, два, три и т.д. значения. При этом каждой сетью получают несколько реализаций, смещая начальную точку матрицы.

4. Находят квадраты разности (δ^2) между интерполируемым и истинным значениями в точках исходной матрицы.

5. По графику зависимости между среднеквадратичными отклонениями и плотностью разведочной сети определяют размер ячейки разведочной сети.

Среднеквадратичное отклонение реализации от исходной матрицы определяют по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n}}$$

Вопросы для самоконтроля

- 1) Понятие топографической поверхности и её свойства.
- 2) Математические действия с топографическими поверхностями.
- 3) Способы определения рациональной плотности разведочной сети.

Практическое занятие № 13

Решение задач по теории ошибок

Цель занятия: познакомиться с основными понятиями теории ошибок, обработкой и оценкой точности геодезических измерений.

1. Теоретическая часть

Результаты измерений всегда содержат некоторые погрешности. Погрешностью Δ называют отклонение результата измерения l от истинного значения измеряемой величины X :

$$\Delta = l - X.$$

Погрешности проявляются, например, при многократном измерении одной и той же величины – получаемые результаты всегда несколько различаются между собой, и значит, неизбежно отличаются от истинного значения, т.е. содержат погрешности. Измерения, выполненные однотипными приборами, одинаковыми методами и в одинаковых условиях, принято считать *равноточными*, а выполненные разными приборами и методами, в разных условиях считают *неравноточными*. Общепринятой характеристикой точности является предложенная К.Ф. Гауссом средняя квадратическая погрешность

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}},$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ – случайные погрешности измерений. Достоинством этой характеристики является ее устойчивость, независимость от знаков отдельных погрешностей и усиленное влияние больших погрешностей.

Строгое значение средней квадратической погрешности часто именуют термином *стандарт*. Средняя квадратическая погрешность определения m по формуле приближенно равна:

$$m_m \approx \frac{m}{\sqrt{2n}}.$$

Величину $2m$ называют *предельной погрешностью* и используют как *допуск* при отбраковке некачественных результатов измерений:

$$\Delta_{\text{пред}} = 2m.$$

В ряде случаев за предельно допустимую погрешность принимают величину $3m$.

Величины $\Delta, m, \Delta_{\text{пред}}$, выражаемые в единицах измеряемой величины, называются *абсолютными погрешностями*.

Наряду с абсолютными применяются также и *относительные погрешности*, представляющие собой отношение абсолютной погрешности к измеряемой величине. Относительную погрешность

принято выражать в виде простой дроби с единицей в числителе, например:

$$\frac{m}{l} = \frac{1}{N},$$

где l – значение измеряемой величины, а N – знаменатель дроби.

Относительные погрешности используют, например, когда точность результата измерения зависит от измеряемой величины. Так при одинаковой абсолютной погрешности двух измеренных линий точнее измерена та, длина которой больше. В практике геодезических измерений определяемые величины обычно являются функциями других, непосредственно измеряемых величин. Рассмотрим функцию u независимых переменных x, y, z, \dots

$$u = f(x, y, z, \dots).$$
$$m_u^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 m_z^2 \dots$$

Итак, квадрат средней квадратической погрешности функции общего вида равен сумме квадратов произведений частных производных по каждой переменной, умноженных на их средние квадратические погрешности.

Частные случаи:

1. Функция u является суммой переменных x, y, z :

$$u = x + y + z.$$

В этом случае $\frac{\partial f}{\partial x} = 1, \frac{\partial f}{\partial y} = 1, \frac{\partial f}{\partial z} = 1.$

Следовательно

$$m_u^2 = m_x^2 + m_y^2 + m_z^2.$$

2. Функция u является разностью переменных x и y :

$$u = x - y.$$

В этом случае $\frac{\partial f}{\partial x} = 1, \frac{\partial f}{\partial y} = -1.$ Следовательно

$$m_u^2 = m_x^2 + m_y^2.$$

3. Функция u имеет вид:

$$u = k \cdot x,$$

где k – постоянный множитель.

Теперь $\frac{\partial f}{\partial x} = k$, поэтому

$$m_u^2 = k^2 \cdot m_x^2 \text{ и}$$

$$m_u = k \cdot m_x.$$

4. Функция u является линейной функцией от x, y, z, \dots :

$$u = k_1 x + k_2 y + k_3 z \dots,$$

где k_i постоянные множители. Теперь частные производные равны:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = k_1, \quad \frac{\partial f}{\partial y} = k_2, \quad \frac{\partial f}{\partial z} = k_3.$$

Поэтому

$$m_u^2 = k_1^2 m_x^2 + k_2^2 m_y^2 + k_3^2 m_z^2.$$

Математическая обработка результатов прямых равноточных измерений

Арифметическая середина результатов равноточных измерений.
Пусть имеем результаты многократных равноточных измерений одной величины: l_1, l_2, \dots, l_n . Рассмотрим их среднее арифметическое:

$$L = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n}, \quad l_i = X + \Delta_i \quad (i = 1, 2, \dots, n).$$

Поэтому напомним

$$L = \frac{(X - \Delta_1) + (X - \Delta_2) + \dots + (X - \Delta_n)}{n} = X - \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{n}.$$

С увеличением числа измерений сумма случайных погрешностей, деленная на их число, стремится к нулю, и, следовательно, среднее арифметическое L стремится к истинному значению X . Поэтому значение определяемой величины принимают равным среднему арифметическому.

Средняя квадратическая погрешность арифметической середины. Пусть точность результатов измерений l_1, l_2, \dots, l_n характеризуется средними квадратическими погрешностями:

$$m_1 = m_2 = \dots = m_n = m$$

и требуется найти среднюю квадратическую погрешность M арифметической середины.

Представим формулу в следующем виде:

$$L = \frac{1}{n}l_1 + \frac{1}{n}l_2 + \dots + \frac{1}{n}l_n.$$

Среднюю квадратическую погрешность арифметической середины найдем как погрешность функции измеренных величин по формуле:

$$M^2 = \frac{1}{n^2}m_1^2 + \frac{1}{n^2}m_2^2 + \dots + \frac{1}{n^2}m_n^2 = \frac{m^2}{n}$$

или

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Погрешность арифметической середины с ростом числа измерений убывает пропорционально квадратному корню из этого числа.

Математическая обработка ряда результатов l_1, l_2, \dots, l_n прямых равноточных измерений одной величины выполняется в следующей последовательности:

1. Вычисляют среднее арифметическое L :

$$L = \frac{[l]}{n}.$$

2. Вычисляют поправки к v_i результатам измерений

$$v_i = L - l_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

Контролем правильности вычислений служит сумма поправок, которая должна быть близка к нулю.

3. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность одного измерения по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}.$$

Значение m вычисляют с двумя-тремя значащими цифрами.

4. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность среднего арифметического

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Математическая обработка результатов прямых неравноточных измерений

Веса измерений. Неравноточными называют измерения, выполненные приборами различной точности, разным числом приемов, в различных условиях. При неравноточных измерениях точность каждого результата измерений характеризуется своей среднеквадратической погрешностью. Наряду со средней квадратической погрешностью при обработке неравноточных измерений пользуются относительной характеристикой точности – весом измерения. Вес i -го измерения вычисляют по формуле:

$$p_i = \frac{c}{m_i^2},$$

где c – произвольная постоянная, назначаемая вычислителем, m_i – средняя квадратическая погрешность i -го измерения.

Так, имея ряд результатов измерений l_1, l_2, \dots, l_n , со средними квадратическими погрешностями m_1, m_2, \dots, m_n , определяют их веса:

$$p_1 = c / m_1^2, p_2 = c / m_2^2, \dots, p_n = c / m_n^2.$$

Часто постоянную c для удобства дальнейших вычислений назначают так, чтобы веса p_i оказались целыми числами. Рассмотрим смысл произвольной постоянной c . Предположим, что в результате фиксирования значения c вес j -го измерения стал равен 1, то есть

$$p_j = c / m_j^2 = 1. \text{ Отсюда находим } c = m_j^2.$$

Следовательно, постоянная c есть квадрат средней квадратической погрешности μ^2 такого измерения, вес которого принят за единицу ($c = \mu^2$).

Тогда:

$$p_i = \frac{\mu^2}{m_i^2}.$$

Кратко μ называют средней квадратической погрешностью единицы веса.

Вес арифметической середины. Рассмотрим вес арифметической середины равноточных измерений. Примем за единицу вес одного измерения, то есть

$$\mu = m, \text{ и запишем } M = \mu/\sqrt{n}.$$

Тогда вес P арифметической середины L будет равен:

$$P = \frac{\mu^2}{M^2} = n.$$

Общая арифметическая середина результатов неравноточных измерений. Пусть имеем результаты многократных неравноточных измерений одной величины: l_1, l_2, \dots, l_n , выполненных с весами p_1, p_2, \dots, p_n .

Среднее весовое или общая арифметическая середина будет равно

$$L_0 = \frac{p_1 l_1 + p_2 l_2 + \dots + p_n l_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[pl]}{[p]}.$$

Оценки точности результатов неравноточных измерений. Приведем без вывода формулы характеристик точности, используемых при обработке прямых неравноточных измерений.

Средняя квадратическая погрешность μ измерения, имеющего вес, равный единице:

$$\text{– формула Гаусса: } \mu = \sqrt{\frac{[p\Delta^2]}{n}}.$$

Формула применяется, когда известно достаточно точное, близкое к истинному, значение X измеряемой величины;

$$\text{– формула Бесселя: } \mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-1}},$$

где v_i – поправки к результатам измерений:

$$v_1 = L_0 - l_1; \quad v_2 = L_0 - l_2; \quad v_n = L_0 - l_n.$$

Средняя квадратическая погрешность общей арифметической середины

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}}.$$

Оценка точности по разностям двойных измерений

$d = x_i - x_i'$ – разность двойных измерений

Средняя квадратическая погрешность одной такой разности определяется по формуле Гаусса:

$$M_d = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}},$$

где n – число всех разностей.

Погрешность одной разности из двух равноточных измерений, где m – погрешность отдельного измерения

$$m_d = m\sqrt{2},$$

где m – погрешность отдельного измерения. Отсюда

$$m = \frac{m_d}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}.$$

Тогда средняя квадратическая погрешность разности двойных измерений может быть найдена по формуле Бесселя, т.е.

$$m_{d'} = \sqrt{\frac{[d'^2]}{n-1}},$$

а погрешность отдельного измерения l

$$m_l = \frac{m_{d'}}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{[d'^2]}{2(n-1)}}.$$

Вычисление суммы $[d'^2]$ контролируется по формуле

$$[d'^2] = [d^2] - \frac{[d]^2}{n}$$

Средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значение двойного измерения $l_{cp} = \frac{l'+l''}{2}$ будет

$$m_{l_{cp}} = \frac{m_l}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d'^2]}{n-1}}$$

2. Практическая часть

Решить следующие задачи:

Задача 1

В треугольнике измерены два угла со средними квадратическими ошибками $m_{\beta_1} = 5''$, $m_{\beta_2} = 3''$.

Найти m_{β_2}

Задача 2

Определить превышение и среднюю квадратическую ошибку превышения, определённого и тригонометрического нивелирования

$$h = s \times \operatorname{tg} v,$$

где $s = (160,5 + N)$ м (горизонтальное положение),
 $v = +2^\circ 50'$ (угол наклона),
 если $m_s = 0,5$ м; $m_v = 1,0'$.

Задача 3

В таблице 13.1 даны результаты нивелирования (превышения в м) между точками при двух положениях инструмента. Вычислить средние квадратические ошибки одного измерения и среднего из двойных измерений.

Таблица 13.1

Результаты двойного нивелирования

№ превышений	1-е положение x_i	2-е положение x'_i	d (мм)	$d' = d - 0$	d'^2
1	+1,273+0,01×N	+1,270+0,01×N			
2	+0,987	+0,988			
3	+1,069	+1,065			

4	+0,542	+0,542			
5	+0,768	+0,766			
6	+0,895	+0,891			
7	+1,166	+1,167			
8	+1,304	+1,302			
9	+1,198	+1,194			
10	+0,484+0,01×N	+0,481+0,01×N			

Задача 4

Найти вес площади треугольника, если основание его $b=8\text{м}$ получено с весом $p_b=1$, а высота $h=16\text{ м}$ с весом $p_h = \frac{1}{2}$.

Задача 5

Угол измерен теодолитом 5-ю приёмами:

1. $27^{\circ}10'30'' + N''$
2. $27^{\circ}10'15'' + N''$
3. $27^{\circ}11'00'' + N''$
4. $27^{\circ}10'45'' + N''$
5. $27^{\circ}11'15'' + N''$

Задача 6

Даны разности d двойных измерений некоторых величин и веса измерений в таблице 2. Выполнить оценку точности.

Таблица 13.2

Результаты предварительной оценки двойного нивелирования при неравноточных измерениях

№ измерений	Разности d_i	Веса измерений $p_{x_i} = p_i$	p_i^2	pd_i^2
1	+2,4	1,11		
2	- 6,2+0,1×N	0,28		
3	- 2,2	0,62		
4	+1,3	0,32		
5	-0,6	0,27		
6	+2,1	0,71		
7	-4,0	0,43		
8	+1,4	0,45		
9	+7,5 - 0,1×N	0,48		
10	-1,3	0,53		

Определить вероятнейшее значение угла и средние квадратические погрешности измерения и арифметической середины.

Задача 7

Измеренный теодолитом Т2 угол поворота оказался равным $36^{\circ}25'16''$. Этот же угол измерен три раза теодолитом Т15 и получены следующие результаты:

1. $36^{\circ}25.8'$
2. $36^{\circ}25.2'$
3. $36^{\circ}25.7'$

Определить среднюю квадратическую ошибку одного измерения и вероятнейшее значение угла. (цифра в маркировке теодолита означает точность измерения угла: $2''$ и $15''$)

Задача 8

Вычислить площадь прямоугольника и среднюю квадратическую погрешность её определения, если стороны прямоугольника $a=100,00$ м, $b=50,00$ м, соответственно $m_a=0,05$ м, $m_b=0,02+0,01 \cdot N$.

Задача 9

Определить длину окружности и её среднюю квадратическую погрешность, если диаметр окружности $d=60,25$ м и измерен с точностью $m_d=0,03+0,01 \cdot N$.

Задача 10

Определить веса измеренных углов, если их средние квадратические ошибки $m_1=4''$ и $m_2=8''$.

Задача 11

Дана средняя квадратическая погрешность результата трёхкратного измерения проектного угла $m=20''$. Определить сколько раз необходимо измерить тот же угол, чтобы средняя квадратическая ошибка оказалась равной $10''$.

Задача 12

Найти среднее весовое, ошибку единицы веса, среднюю квадратическую ошибку отдельного измерения и среднюю квадратическую ошибку арифметической середины.

$a_1=5.25+0.01 \cdot N$	$p_1=0.9$
$a_2=5.40+0.01 \cdot N$	$p_2=0.8$
$a_3=5.38+0.01 \cdot N$	$p_3=0.9$
$a_4=5.26+0.01 \cdot N$	$p_4=0.7$
$a_5=5.27+0.01 \cdot N$	$p_5=0.8$

Задача 13

Найти среднюю квадратическую ошибку функции

$$u = \frac{1}{2}x - \frac{1}{5}y + \frac{1}{4}z,$$

если известны средние квадратические ошибки аргументов.

Задача 14

Найти веса следующих функций:

1) $u = x - y + z$, 2) $u = 2x + \frac{1}{3}y - \frac{1}{2}z$, 3) $u = 3x^2$, если $p_x = 3$, $p_y = \frac{1}{3}$, и $p_z = \frac{1}{4}$.

Практическое занятие № 14

Изучение устройства и поверки теодолита

Цель работы: Изучить основной угломерный прибор теодолит: устройство, исследования, поверки, правила обращения с ним

1. Теоретическая часть

I. Основными частями теодолита являются (рисунок 14.1):

1. Зрительная труба;
2. Горизонтальный и вертикальный круги;
3. Отсчетное приспособление;
4. Уровни;
5. Осевые системы;
6. Подставка.

II. Назначение основных частей:

1) Зрительная труба (WW – визирная ось) должна вращаться горизонтальной оси НН и быть ей перпендикулярна.

2) Ось укреплена на алидадной части на подставках LL.

3) Центр горизонтального круга ГГ должен устанавливаться на оси вращения прибора ZZ.

4) При изменении угла горизонтальный круг (лимб) остается неподвижным, а алидадная часть АА прибора вместе с трубой вращается.

5) На алидадной части имеется отсчётное устройство для фиксации отсчёта по лимбу. Прибор установлен на подставке ГГ с тремя подъёмными винтами Р. Для измерения углов наклона имеется вертикальный круг ВВ, установленный перпендикулярно оси вращения трубы на одном из её концов.

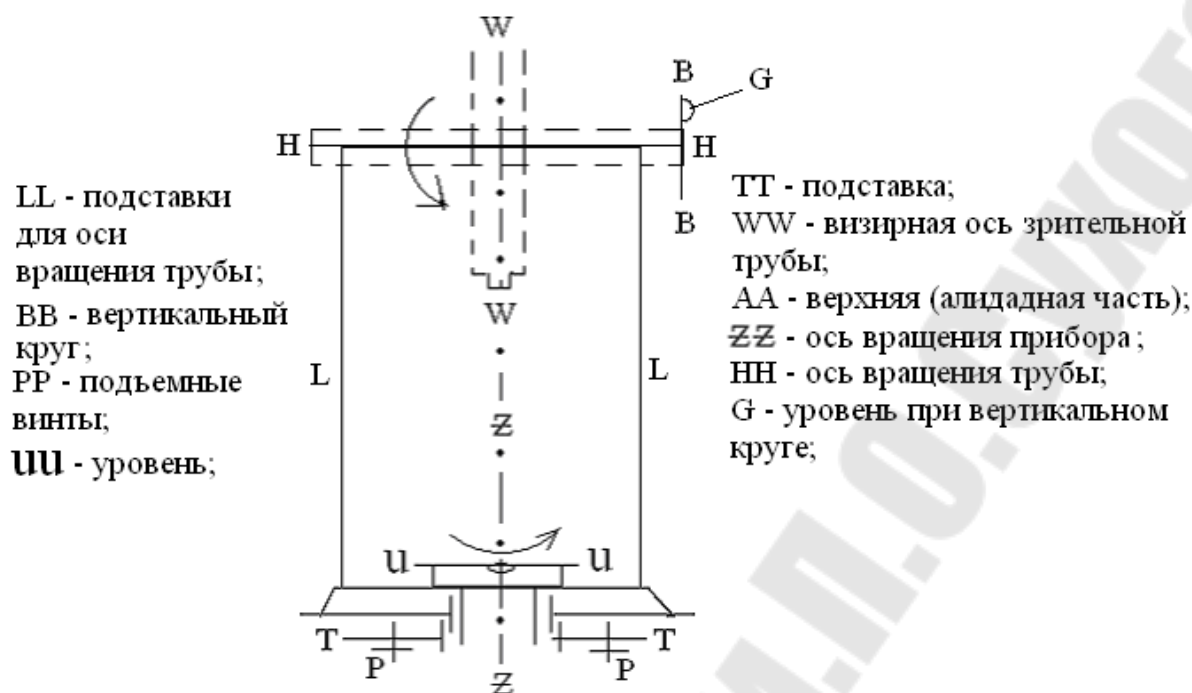


Рисунок 14.1 – Схема теодолита

Приведение прибора в рабочее положение (ZZ – вертикально, $НН$ и $ГГ$ – горизонтально) выполняется по уровню UU .

Алидада вертикального круга приводится в горизонтальное положение по уровню G (компенсатору) при вертикальном круге.

Угломерный прибор называется теодолитом, в переводе с греческого языка это сочетание слов «смотреть и вращать».

Из принципа измерения угла следует положение осей в теодолите $UU \perp ZZ$; $WW \perp НН$; $НН \perp ZZ$.

III. При исследовании теодолитов определяют следующие характеристики:

1. Увеличение зрительной трубы;
2. Угол поля и качество изображения зрительной трубы;
3. Цену деления горизонтального и вертикального кругов, их отсчетных устройств;
4. Рен шкалового микроскопа;
5. Эксцентриситет алидады горизонтального круга;
6. Правильность хода фокусирующей линзы.

IV. Для теодолита выполняют следующие проверки.:

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ($UU \perp ZZ$). Вставить при повороте алидадной части прибора на 180° положение осей в исправном теодолите сохраняется. Допускается отклонение пузырька цилиндрического уровня от положения нуль-пункта на $\frac{1}{2}$ деление. Юстировка выполняется юстировочными винтами цилиндрического

уровня. Пузырёк уровня на алидаде горизонтального круга располагают по направлению двух подъёмных винтов, выводят в нуль-пункт, затем поворачивают алидадную часть на 90^0 , таким образом, пузырёк располагается по направлению третьего винта и также выводится в нуль-пункт.

2. Одна из нитей сетки должна быть перпендикулярна оси вращения трубы, другая – ей параллельна. Для выполнения поверки проводят точку по горизонтальной нити сетке, при этом отклонение ее от нити не должно превышать 2-3 толщины нити. Юстировка выполняется поворотом оправы сетки.

3. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения трубы ($WW \perp HH$). В исправном приборе визирная ось при вращении трубы образует плоскость, называемую коллимационной, в противном случае возникает коллимационная ошибка – C . Поверка выполняется следующим образом: визируют на удаленную, но четко видимую точку на уровне горизонта при двух положениях круга КП и КЛ, и вычисляют по формуле:

$$2C = КЛ - КП \pm 180^\circ$$

$$c = \frac{Л - П \pm 180^\circ}{2} \quad \text{– значение коллимационной ошибки.}$$

В теодолитах данной точности допускается $c \leq 1'$.

Для исправления коллимационной ошибки вычисляют среднее из отсчетов при двух положениях круга, которое свободно от коллимационной ошибки и, устанавливая алидаду так, чтобы отсчет был равен среднему, затем боковыми винтами сетки нитей возвращают перекрытие сетки нитей на точку.

4. Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ($HH \perp ZZ$). Соблюдение условия проверяют проектированием высоко расположенной точки на горизонт прибора при КП и КЛ на расстоянии от точки $S \approx 10$ м. В исправном приборе расстояние между проекциями не должно превышать $1/3$ ширины бисектора. И справляется в мастерской.

5. Место нуля (МО) вертикального круга теодолита должно быть постоянным, что позволяет измерять вертикальные углы при одном положении круга (КЛ).

Для поверки 3 раза определяют МО, если колебания не превышают двойной точности отсчета по кругу, то условие выполнено. При колебаниях надо убедиться, что достаточно прочно закреплен уровень и вертикальный круг на оси вращения трубы и вертикальные исправительные винты сетки нитей.

$$MO = \frac{KL + KP}{2}$$

Формула справедлива для оптических теодолитов типа 2Т30, для электронных теодолитов формулы указаны в инструкции по эксплуатации.

Порядок выполнения задания:

1. Зарисовать схему теодолита.
2. Познакомиться с устройством теодолита и назначением основных его частей.
3. Выполнить поверки теодолита, обязательно указав название и номер прибора.

Название теодолита расшифровать.

Поверки выполнять, заполняя таблицу:

Теодолит: марка, №

Таблица 14.1

Формуляр для результатов поверок

Содержание поверки	Порядок выполнения. Чертеж	Результат поверки	Пригодность прибора к работе

Список литературы

1. Авакян, В.В. Прикладная геодезия: технологии инженерно-геодезических работ: учеб. пособие для вузов / В.В. Авакян. – М.: «Амалданик», 2012. – 330 с.
2. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии / К.М. Антонович.– М.: ФГУП «КАРТГЕО - ЦЕНТР», 2006. – Т. 1, 2. – 360 с.
3. Баршай С. Е. Инженерная геодезия: учеб. пособие для ст-ов вузов /под общ. ред. Л. С. Хренова: учеб. пособие для ст-ов вузов Нестеренок В. Ф. – Минск: Вышэйшая школа, 1976. -400с. УДК 528.48(075.8)
4. Генике, А.А. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии / А.А. Генике, Г.Г. Побединский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФГУП «КАРТГЕОЦЕНТР», 2004. – 355 с.
5. Григоренко Л. ГЗ Ворошилов, А.П. Спутниковые системы и электронные тахеометры в обеспечении строительных работ: учебное пособие/ А.П. Ворошилов. – Челябинск: АКСВЕЛЛ, 2007. – 163с.
6. Инженерная геодезия: [учебник для вузов /Г. В. Багратуни и др.] - Москва :Недра, 1984. -344 с. УДК528.48(075.8) ББК22
7. Куштин И. Ф. Геодезия: учебно-практическое пособие: учебно-практическое пособие – Москва: ПРИОР, 2001. -447 с. УДК 528.2(07)
8. Куштин И. Ф. Инженерная геодезия: учеб. пособие для вузов: учеб. пособие для вузов Куштин В. И. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. -425 с. УДК 528.2(075.8)
9. Куштин Иван Федорович Геодезия /И. Ф. Куштин, В. И. Куштин Куштин Владимир Иванович – Ростов-на-Дону :Феникс, 2009. -909 с.. - (Высшее образование) УДК 528.2(075.8) ББК 22
10. Машимов М. М. Геодезия. Теоретическая геодезия: справочное пособие /под ред. В. и. Савиных и В. Р. Ященко справочное пособие - Москва: Недра, 1991. -268с. УДК 528.2/.3(035)
11. Нестеренок М. С. Геодезия: учебное пособие для вузов /М. С. Нестеренок: учебное пособие для вузов – Минск: Вышэйшая школа, 2009. - 272 с.. - (ВУЗ) УДК 528(075.8) ББК 22
12. Подшивалов В. П. Инженерная геодезия: учебник для вузов /В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок -Минск: Вышэйшая школа, 2011. -462, [1] с.. - (ВУЗ) УДК528.48(075.8) ББК22