

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ**

**Кафедра общего земледелия и землеустройства**

**Н.Н. Солодков**

# **ГЕОДЕЗИЯ**

**практикум**

**для студентов агрономического факультета,  
обучающихся по направлениям подготовки**

**35.03.01 Лесное дело**

**35.03.04 Агрономия**

**35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение**

**(квалификация – бакалавр)**

**Пенза 2026**

УДК 528(075)  
ББК 26.12(я7)  
С 60

Рецензент: кандидат с.-х. наук, доцент кафедры «Селекция, семеноводство и биология растений» ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ Н.В. Корягина.

Печатается по решению методической комиссии агрономического факультета ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ от 5 марта 2026 года, протокол №5.

Солодков Н.Н.

Геодезия: практикум / Н.Н. Солодков: Пенза: ПГАУ, 2026. – 108 с.

Практикум разработан в соответствии с рабочими программами учебной дисциплины «Геодезия» для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 35.03.04 Агрономия (профиль Агробизнес и Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур), 35.03.01 Лесное дело (профиль Лесное хозяйство) и 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение (профиль Агроэкология).

В издании систематизированы методики выполнения практических работ, ориентированные на решение профессиональных задач в аграрной и лесной сферах.

Пособие предназначено для обеспечения преемственности теоретических знаний и практических навыков при формировании компетенций в области геодезического обеспечения землеустроительных, лесоустроительных и агроэкологических работ.

УДК 528(075)  
ББК 26.12(я7)

© Солодков Н. Н., 2026

© ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ, 2026

## Содержание

|                                                                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Введение .....                                                                                                                        | 4   |
| 1 Решение задач по топографической карте .....                                                                                        | 7   |
| 1.1 Условные знаки .....                                                                                                              | 7   |
| 1.2 Масштаб карты. ....                                                                                                               | 11  |
| 1.3 Ориентирование линий.....                                                                                                         | 22  |
| 1.4 Определение географических и прямоугольных координат.....                                                                         | 41  |
| 1.5 Решение прямой и обратной геодезической задачи .....                                                                              | 44  |
| 1.6 Определение абсолютной высоты точки .....                                                                                         | 49  |
| 1.7 Измерение крутизны ската .....                                                                                                    | 52  |
| 1.8 Построение продольного профиля рельефа .....                                                                                      | 53  |
| 1.9 Построение линии заданного уклона .....                                                                                           | 55  |
| 1.10 Определение на плане с горизонталями линий водотока, водоразделов, максимальной длины склонов, высоты и площади затопления ..... | 56  |
| 1.11 Измерение площадей на топографических картах .....                                                                               | 57  |
| 1.12 Определение объема насыпи по карте .....                                                                                         | 69  |
| 2 Составление топографического плана по координатам .....                                                                             | 74  |
| 2.1 Расчет координат теодолитного хода .....                                                                                          | 74  |
| 2.2 Составление чертежной основы топографического плана.....                                                                          | 86  |
| 2.3 Перенос ситуации местности с абриса на топографический план                                                                       | 89  |
| 2.4 Обработка результатов нивелирования по квадратам .....                                                                            | 94  |
| 2.5 Построение горизонталей и графика заложений .....                                                                                 | 98  |
| 2.6 Оформление топографического плана .....                                                                                           | 103 |
| Заключение.....                                                                                                                       | 106 |
| Литература.....                                                                                                                       | 108 |

## ВВЕДЕНИЕ

Геодезия как фундаментальная прикладная дисциплина занимает особое место в системе подготовки специалистов аграрного и лесного профиля, формируя у будущих профессионалов системное понимание пространственной организации земных территорий и методов их количественной оценки.

Настоящий практикум разработан для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 35.03.04 «Агрономия» (профиль «Агробизнес» и «Селекция и семеноводство сельскохозяйственных культур»), 35.03.01 «Лесное дело» (профиль «Лесное хозяйство») и 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение» (профиль «Агроэкология»), и призвано обеспечить преемственность теоретических знаний и практических навыков в области геодезических измерений, картографического анализа и пространственного моделирования ландшафтных структур. В условиях современного развития цифрового земледелия, точного лесопользования и экологически ориентированного почвенного мониторинга геодезическая подготовка становится неотъемлемым компонентом профессиональной компетентности специалиста, позволяющим осуществлять объективную оценку территориальных ресурсов, проектировать оптимальные системы землепользования и обеспечивать геопространственную привязку агротехнологических и лесохозяйственных мероприятий.

Целью изучения дисциплины «Геодезия» является формирование у обучающихся целостного представления о методах и средствах геодезических работ, применяемых при топографо–геодезических изысканиях, создании и актуализации топографических планов, а также при решении инженерных задач в землеустройстве, лесном хозяйстве и агроэкологическом мониторинге.

Достижение этой цели предполагает решение комплекса взаимосвязанных задач:

- освоение теоретических основ определения положения точек на земной поверхности и их отображения на плоскости;
- приобретение практических навыков работы с геодезическими приборами и современными измерительными технологиями;
- формирование умений интерпретировать топографические карты и планы для решения профессиональных задач;

– освоение методики обработки геодезических измерений с оценкой их точности;

– развитие навыков составления топографических планов участков местности и выполнения проектных расчетов на их основе.

Особое внимание уделяется адаптации геодезических методов к специфике аграрных и лесохозяйственных задач: определению границ землепользований, вычислению площадей сельскохозяйственных угодий, анализу рельефа для проектирования противоэрозионных мероприятий, оценке крутизны склонов при выборе агротехнологий, планированию лесных культур и рубок ухода с учетом микрорельефа, а также геодезическому обеспечению мелиоративных и рекультивационных работ.

В процессе освоения дисциплины формируются ключевые компетенции, определенные федеральными государственными образовательными стандартами и профессиональными стандартами соответствующих отраслей.

Практические работы, представленные в данном пособии, структурированы с учетом преемственности учебного материала и постепенного наращивания сложности выполняемых операций.

Первая часть посвящена работе с топографическими картами: изучению условных знаков, определению масштабов и их точности, ориентированию линий, вычислению географических и прямоугольных координат, решению прямых и обратных геодезических задач, определению абсолютных высот точек по горизонталям, измерению крутизны скатов, построению профилей рельефа и проектированию линий заданного уклона. Эти навыки составляют основу картометрических исследований, необходимых при анализе природно-ресурсного потенциала территорий.

Вторая часть посвящена полевым геодезическим измерениям: закреплению точек на местности, линейным измерениям, работе с теодолитом и нивелиром, выполнению теодолитной и нивелирной съемок, обработке результатов измерений и составлению топографических планов.

Современная геодезическая практика для аграрных и лесных специалистов все больше интегрируется с геоинформационными технологиями, что нашло отражение в содержании практических заданий. Студенты получают навыки не только традиционных измерений с использованием оптико-механических приборов, но и знакомятся с принципами работы спутниковых навигационных систем, электронных

тахеометров и цифровых нивелиров, а также осваивают методику обработки геодезических данных в специализированном программном обеспечении. Такой подход обеспечивает преемственность классических геодезических методов и современных цифровых технологий, формируя у выпускников готовность к работе в условиях цифровой трансформации агропромышленного и лесного комплексов.

Практикум разработан с учетом требований Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по соответствующим направлениям подготовки, профессиональных стандартов «Агроном», «Инженер по лесопользованию» и «Агроном–почвовед», а также современных достижений в области геодезической науки и практики. Материал изложен в логической последовательности, обеспечивающей поэтапное формирование практических умений и навыков, необходимых для успешного выполнения геодезических работ в профессиональной деятельности будущего специалиста в области сельского хозяйства, лесного хозяйства и почвоведения. Овладение содержанием практических работ позволит студентам не только освоить методику геодезических измерений и вычислений, но и развить пространственное мышление, аналитические способности и ответственность за точность выполняемых работ – качества, определяющие профессиональный уровень современного агрария, лесоведа или почвоведа.

## 1 РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

На топографической карте (условном и уменьшенном изображении горизонтальной проекции участка местности на бумаге) можно решать самые различные задачи. В процессе выполнения практического задания рекомендуется использовать по учебные карты городов «Андрополь» или «Снов» масштаба 1:25 000.

Карту из задания рекомендуется распечатать. При этом масштаб распечатки (копии) может отличаться от масштаба карты (оригинала). Примерное соотношение  $K$  между знаменателями масштабов нужно вычислить:

$$K = \frac{40 \text{ мм}}{l}, \quad (1)$$

где  $l$  – сторона километровой сетки, измеренная на копии с точностью до десятых долей мм.

Чем ближе соотношение к 1, тем лучше.

Работа оформляется на листе чертёжной бумаги формата А4 (можно на кальке, что упрощает работу с копией). Выполняют её с помощью линейки длиной не менее 30 см, циркуля–измерителя, мягкого и твёрдого карандашей, транспортира; при использовании кальки – ручки с чёрной или синей пастой. Расчёты, выполняемые в процессе решения задач, при оформлении работы не приводятся.

Выполненную работу следует сфотографировать или отсканировать и переслать преподавателю. Размер файла не должен превышать 0,5 Мбайт.

Распределение заданий по вариантам проводит преподаватель и, как правило, вариант задания соответствует номеру студента по списку группы.

### 1.1 Условные знаки

На планах и картах изображают большое число разнообразных объектов местности – контуров сельскохозяйственных угодий (пашни, залежей, сенокосов, пастбищ–выгонов, огородов, садов и др.), лесов, кустарников, вырубков, болот, песков, озёр, прудов, построек, линий

дорог, рек, канав и пр. Совокупность этих объектов называют ситуацией.

Объекты на планах и картах обозначают условными знаками, так как отдельные объекты настолько малы, что название их невозможно разместить в пределах контура объекта, а обилие надписей ухудшает читаемость карты. Число таких знаков более 400. Условные знаки, обязательные для всех учреждений и организаций, ведущих съемочные работы, устанавливает Роскартография и издает отдельно для каждого масштаба или группы масштабов.

Условные знаки бывают: масштабные (площадные), внемасштабные, линейные и пояснительные.

*Масштабные, или площадные*, условные знаки применяют для изображения довольно крупных объектов местности (например, сельскохозяйственные угодья, населенные пункты), ограниченных ясно выраженными контурами, размеры которых значительно превышают точность масштаба. Контуры сельскохозяйственных угодий, кустарников, лесов, болот, песков и др., если они не разделяются канавами, изгородями и пр., обозначают точечным пунктиром, внутри ставят условные знаки. Контуры пахотных угодий (пашни) условных знаков не имеют и лишь иногда внутри контура ставят букву «п». По этим знакам определяется не только местоположение объекта, но и его форма и размеры.

*Внемасштабные условные знаки* изображают предметы местности, которые имеют размеры меньше географической точности масштаба карты или плана (колодцы, столбы, мельницы, геодезические пункты и пр.).

*Линейными условными знаками* изображают объекты, длина которых может быть дана в масштабе, а ширина значительно меньше точности масштаба, поэтому ее на плане или карте показывают с преувеличением (автомобильные и железные дороги, линии электропередач (ЛЭП), линии телефонной связи, трубопроводы и пр.).

*Пояснительные условные знаки* дополняют основную характеристику объекта. К ним относятся значки различного вида (фигурка дерева, стрелка для направления течения реки), сокращенные пояснительные надписи, объясняющие основной знак (шк. – школа), цифровое обозначение (число домов в населенном пункте, длина моста, отметки характерных точек рельефа, скорости течения реки), различные надписи (название населенного пункта, реки, горных вершин и др.

географических объектов). К пояснительным знакам относится также цветное оформление карт:

- ручьи, реки и родники, береговые линии рек, морей прудов, озер и др. обозначают синей краской;
- горизонтали, обрывы, осыпи, промоины и другие элементы естественного рельефа – коричневой краской;
- леса, кустарники, сады, парки окрашивают зеленой краской;
- красной краской выделяют шоссе, улучшенные грунтовые дороги;
- все остальные объекты – черной краской.

Наиболее общими для всех природных зон являются знаки:

- знаки растительного покрова;
- населенные пункты, железные и автомобильные дороги, границы ограждения, трассы коммуникаций, линии связей и др.;
- знаки гидрографии, знаки рельефа, сооружений на реках;
- внемасштабные и пояснительные знаки.

### **Задание 1**

Зарисовать, определить и законспектировать условные знаки, используемые при оформлении карт и планов сельскохозяйственных предприятий:

- пашня; пашня каменистая; пашня с осушительной сетью; пашня с оросительной сетью; пашня, подверженная водной эрозии;
- луга (сенокосы) суходольные; луга заливные; луга заболоченные; луга закустаренные; луга, заросшие лесом; луга улучшенные;
- пастбища (выгоны) суходольные; пастбища пойменные; пастбища заболоченные; пастбища закустаренные; пастбища, заросшие лесом; пастбища улучшенные;
- залежи; плодово–ягодные насаждения;
- леса; лесополосы;
- кустарники; болота;
- овраги; пески; силосные ямы;
- дороги: магистральные; грунтовые проселочные; полевые;
- населенные пункты и хозяйственные постройки;
- границы полей производственных подразделений;
- полевой стан (место организации для размещения рабочих, сельскохозяйственной техники на удаленных участках сельскохозяйственных угодий: пашни или сенокоса);

– летний лагерь (место организации обслуживания стада животных на удаленных пастбищах).

Требования к оформлению работы:

1. Работу выполнить в альбоме форматом А4 в простом и цветных карандашах.

2. Условные знаки вычерчивают карандашом с помощью циркуля, линейки и треугольника.

3. При вычерчивании условных знаков следует строго соблюдать форму, размер знака, толщину и четкость штриха, фоновую окраску, как они показаны в таблицах соответствующих масштабов (смотреть интернет-ресурсы: условные знаки для топографических карт).

## Задание 2

Составить краткое топографическое описание участка местности по плану (рис. 1)

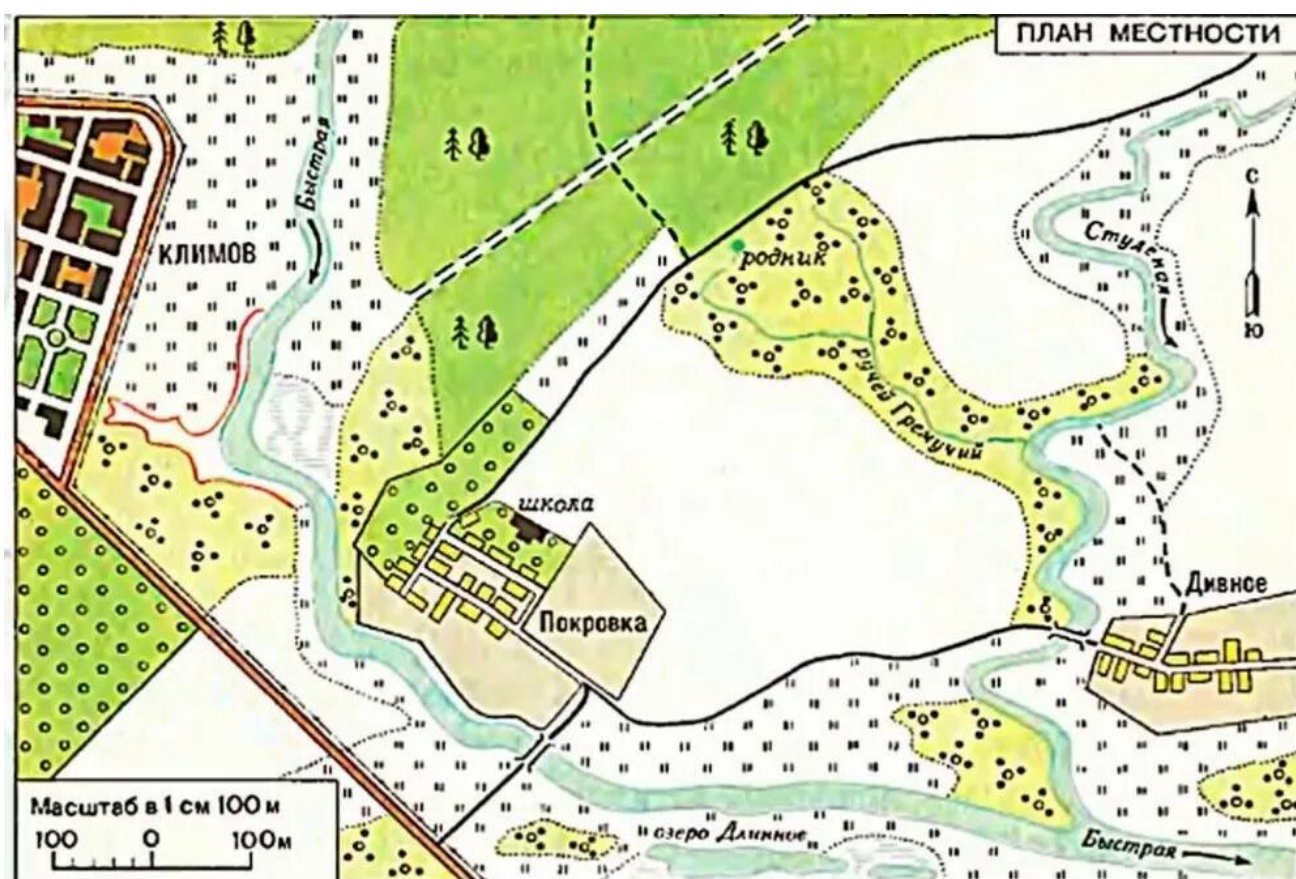


Рисунок 1 – Фрагмент топографического плана

## 1.2 Масштаб карты

*Масштаб* – это степень уменьшения горизонтальных отрезков линий местности при переносе их на план. Существуют именованный, численный, линейный и поперечный масштабы.

Карты делят на мелкомасштабные 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000; среднемасштабные 1: 50 000, 1: 25 000, 1:10 000. Карты с меньшими значениями под знаком дроби называют крупномасштабные: топографические карты масштабов 1:5 000, 1:2 000, планы – 1:2 000 – 1:500.

*Численный масштаб* представляет собой дробь, в числителе которой стоит единица, а в знаменателе значение уменьшения линий местности при переносе их на план. На планах численный масштаб подписывается как 1:500; 1:5000; 1:50000; или  $\frac{1}{500}$ ;  $\frac{1}{5000}$ ;  $\frac{1}{50000}$ ;

Для определения численного масштаба берется отношение длине на карте (плане)  $d$  к горизонтальному проложению этой же линии на местности  $S$ :

$$\frac{1}{M} = \frac{d}{S} \quad (2)$$

Численный масштаб число отвлеченное, не имеющее размерности, что позволяет вести измерения в любой системе мер. Чем больше дробь, тем крупнее масштаб и наоборот. Например: длина стороны теодолитного хода  $D_{I-II}$  равна 187.66 м. Тогда на плане длина линии будет равна  $187.66 : 10 = 18.77$  см.

В связи с необходимостью перевода единиц длин карты и местности, на картах принято подписывать ниже численного масштаба пояснительный (именованный) масштаб. Например: «в 1 см 10 м метров», что соответствует численному масштабу 1:1 000.

*Способы измерения длин линий на картах и планах.*

В случаях если необходимо выполнить измерения на картах, то необходимо придерживаться следующего алгоритма:

1. Определить длину линии на местности  $S$ , если известна её длина  $d$  на карте масштаба  $1/M$ :

$$S = d \times M \quad (3)$$

2. По длине горизонтального проложения линии  $S$  на местности вычислить длину соответствующего отрезка  $d$  на плане масштаба  $1/M$ .

$$d = \frac{S}{M} \quad (4)$$

3. Определить масштаб карты, аэрофотоснимка, космоснимка, если известны горизонтальное проложение линии  $S$  и её проекция на карте или снимке  $d$ :

$$M = \frac{S}{d} \quad (5)$$

4. Измерить на карте или плане длины прямолинейного (двумя способами) и криволинейного отрезка (одним способом на выбор).

Длину прямолинейного отрезка на карте или плане можно получить (рис. 2) двумя способами:

1) измерить его линейкой и рассчитать длину в масштабе в соответствии с задачей 1;

2) циркулем–измерителем зафиксировать отрезок и перенести его на линейный масштаб.

Линейный масштаб представляет собой графическое изображение численного масштаба. Это отрезок прямой, разделенный на равные части (1, 2, 4 или 5 сантиметров), которые называются *основанием масштаба*. Число метров, приходящихся на основание масштаба, называют *величиной масштаба*.

Для его построения на прямой откладывается несколько отрезков одинаковой длины, например 2 см., т. е. в масштабе 1:1000 он равен 20 метрам на местности.

Левое основание делим на 10 частей. То есть наименьшее деление линейного масштаба равно 2 миллиметрам, что равно 2 метрам на местности.

Для определения длины линии на местности, циркулем–измерителем определяем расстояние на плане. Взяв расстояние на плане раствор циркуля, одну его ножку устанавливаем на штрих, разделяющий основания, таким образом, чтобы другая ножка попала на левое основание, по которому на глаз отсчитываем расстояние в интервале делений (рис. 2).

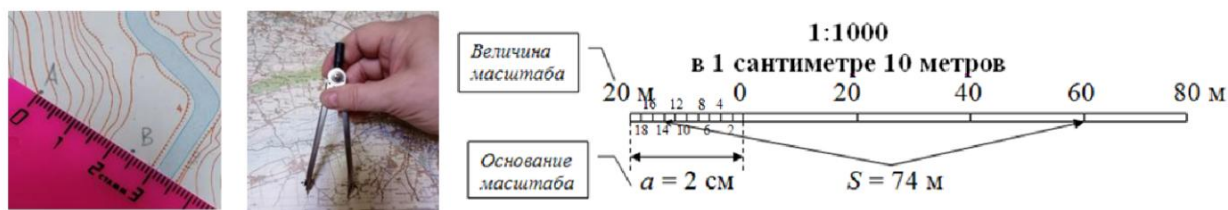


Рисунок 2 – Измерение прямолинейных отрезков: линейкой и циркулем

Циркулем–измерителем зафиксировать две точки на плане/карте и приложить его к линейному масштабу так, чтобы правая ножка находилась точно на границе отрезков, а левая ножка оказалась в крайнем левом разграфленном секторе. Подсчитать длину линии как сумму отрезков между ножками циркуля (рис. 2):

- 1) число целых оснований – на три отрезка по 20 метров, что составляет 60 метров;
- 2) число десятых долей основания  $a$  – от нуля влево отсчитывают семь маленьких отрезков по 2 м в каждом, что составляет 14 м.

Итого длина отрезка  $S = 60 \text{ м} + 14 \text{ м} = 74 \text{ м}$ .

Рассчитано, что человеческий глаз способен различать две точки на расстоянии 0,1 мм. Величина отрезка местности, соответствующая 0,1мм, называется *точностью масштаба карты*. Так для масштаба 1:1 000 точность масштаба равняется 0,1 м.

Необходимо отметить, что с помощью численного масштаба трудно производить построения с точностью менее 1 мм. Для этого используют *поперечный масштаб*. Построение поперечного масштаба производится в следующей последовательности:

1. На прямой линии откладываем несколько отрезков (оснований), как правило, длиной 2 см., из точек пересечения восстанавливаем перпендикуляры, высота которых произвольна (желательно кратная делению на 10).
2. Делим вертикальную линию на десять частей ( $m$ ) и из пересечений проводим прямые линии параллельные основанию.
3. Основание крайнего левого квадрата делим на десять частей ( $n$ ). Так же делим линию параллельную основания в верхней части квадрата на десять частей (рис. 2).
4. Соединяем нулевую точку на основании с первой на верхней линии параллельной ему, вторую точку соединяем с третьей и т. д.

Получаем ряд линий параллельных друг другу и наклонных к вертикальной прямой (рис. 3). Эти линии называются *трансверсалиями*.

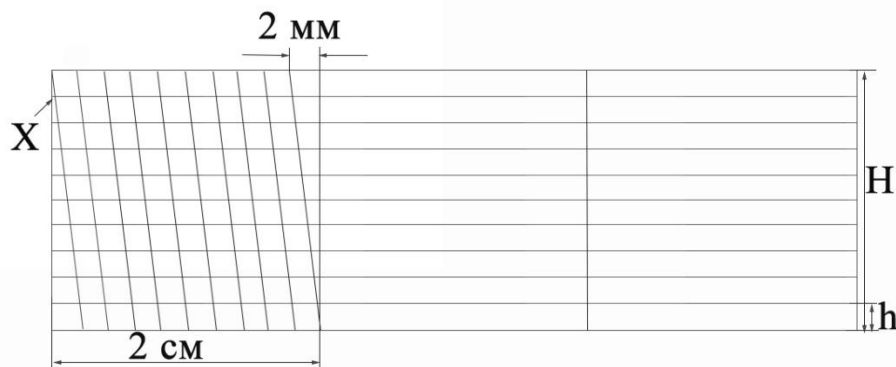


Рисунок 3 – Организация поперечного масштаба

Еще раз подчеркнем, что основание самого большого треугольника равно 2 см. Основание  $X$  самого маленького треугольника равно 2 мм и называется *наименьшим делением поперечного масштаба*.

Если высоту большого треугольника обозначить буквой  $H$ , а маленького треугольника  $h$ , то из соотношения  $\frac{2}{H} = \frac{X}{h}$ , получается, что

$$X = \frac{2h}{H}, \quad (6)$$

но  $h = \frac{H}{10}$ , тогда  $X = \frac{2H}{H \times 10} = 0,2 \text{ мм}$ .

Каждая от откладываемых по масштабу линий складается из трех частей:

- 1) количества целых основания, взятых от нулевой вертикальной линии до правой ножки циркуля;
- 2) десятых долей основания, взятых между косыми линиями от проходящей через нуль до левой ножки циркуля;
- 3) сотых долей основания, расположенных между вертикальной и косой линиями, выходящими из нулевой точки масштаба.

Пользуясь поперечным масштабом, нужно следить за тем, чтобы при отложении или измерении отрезка концы обеих ножек циркуля всегда находились на одной и той же горизонтальной линии масштаба.

Масштабы, награвированные на пластинках или на транспортных, следует разметить соответственно тому численному масштабу, в котором составлен или будет составляться чертеж.

*Предельной точностью масштаба* называется отрезок на проекции местности, который соответствует наименьшему делению

поперечного масштаба, т.е. одной сотой основания его. Наименьшее деление поперечного масштаба равно 0,2 мм или 1/100 основания масштаба.

В полевых условиях кривую или извилистую линию можно определить с помощью метода *мокрой нитки*. Необходимо наложить мокрую нитку на извилистый маршрут. Затем длину нитки измерить, умножить на масштаб карты, перевести в метры (км).

Курвиметры (рис. 4) бывают механическими и электронными, использовать в работе метрическую шкалу (одно деление соответствует одному сантиметру).

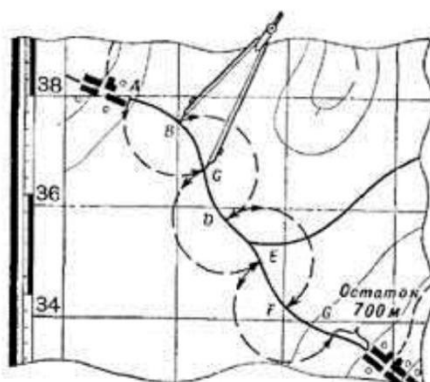
Совместив стрелку механического курвиметра с нулём, ставят курвиметр на карту и прокатывают колёсико прибора по измеряемой линии, снимают отсчет. Затем все повторяют в обратном направлении. Усредненный результат умножают на знаменатель масштаба. При работе с электронным курвиметром перед началом измерения следует «включить метрическую шкалу и обнулить показания прибора».



Механический  
курвиметр



Электронный  
курвиметр



Измерение  
циркулем-измерителем

*Рисунок 4 – Измерение длины криволинейных объектов*

Scalex Electronic Planwheel–SA2 – электронный курвиметр производства Scalex Corporation Carlsbad, Калифорния (США). Прибор имеет жесткокристаллический дисплей для вывода результатов измерений. PlanWheel измеряет расстояния в милях, морских милях и километрах. В приборе можно установить масштаб до 1:10000 для измерений в масштабе картографического материала. Погрешность измерения не превышает 0,2 %. Источником энергии являются две батарейки типа AAA (поставляются в комплекте).

Основные преимущества следующие:

- 111 встроенных и тысячи доступных пользовательских масштабных коэффициентов. Включает все распространенные шкалы – как имперские, так и метрические.
- Рассчитать коэффициент автоматического масштабирования по уменьшенным, увеличенным или нестандартным чертежам.
- Измеряет в дюймах, футах, ярдах, милях, сантиметрах и километрах.
- Вычисляет квадратные и кубические размеры для правильных площадей и объемов.
- Кнопки счетчика и сумматора на наконечнике зонда позволяют вам подсчитывать элементы или добавлять фиксированные длины по мере масштабирования.
- Создание, сохранение и извлечение 2 определяемых пользователем масштабных коэффициентов.
- Четкий звуковой сигнал указывает на движение колеса.
- Автоматическое отключение обеспечивает длительный срок службы батареи.
- Индикатор низкого заряда батареи.

Включение курвиметра осуществляется нажатием красной кнопки «0» . Этой же кнопкой осуществляется сбор измерений до нуля.

Режим «плюс–минус» (+/–) позволяет пользователю просто вернуться назад, чтобы вычесть пересчитанное измерение. Для установления масштаба необходимо воспользоваться кнопкой «scale» . Переключением кнопки «K» устанавливаются масштабы 8 метрических соотношений:

- group 1 1:1; 1:2...1:90;
- group 2 – от 1:100 до 1:900;
- group 3 – от 1:1000 до 1:9500;
- group 4 – от 1":10' до 1":90';
- group 5 – от 1":100' до 1":950';
- group 6 –от 1":1000' до 1:9500";
- group 7 – от 1/32':1' до 4":1';
- group 8 – автоматический масштаб, соответствующий знаку

✱ .

После выбора масштаба следует определить единицы измерения с использованием кнопки «UNITS»  : мили (MI), ярды (YRD), фунты (FT), километры (KM), метры (M), сантиметры (CM).

Не надавливая на колесиков курвиметра проведите его вдоль искомой ломаной линии. На экране появиться значение длины с учетом масштаба карты или без него (например, в сантиметрах).

Более точно измерить длину извилистой линии можно с помощью циркуля–измерителя с постоянным раствором. Для этого принимают произвольное расстояние между его ножками (порядка 2–5 мм), называемое «раствор». Таким циркулем необходимо пройти по измеряемой линии в прямом и обратном направлениях. Находят среднее значение и умножают его на раствор циркуля. Точность измерения повышается с уменьшением раствора циркуля.

### Задание 3

Выполнить сравнение численных масштабов, перевести их в линейные и определить точность по исходным данным, приведенным в табл.1.

*Таблица 1 – Варианты перевода в именованный масштаб и определения точности масштаба*

| Номер варианта | Масштабы                  | Номер варианта | Масштабы                  |
|----------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| 1              | 1:5000; 1:10000; 1:500    | 16             | 1:200; 1:500; 1:2000      |
| 2              | 1:1000; 1:25000; 1:5000   | 17             | 1:5000; 1:25000; 1:100000 |
| 3              | 1:25000; 1:10000; 1:50000 | 18             | 1:100; 1:2000; 1:5000     |
| 4              | 1:2000; 1:5000; 1:10000   | 19             | 1:500; 1:2000; 1:25000    |
| 5              | 1:500; 1:100; 1:1000      | 20             | 1:1000; 1:50000; 1:100000 |
| 6              | 1:2000; 1:10000; 1:100000 | 21             | 1:200; 1:1000; 1:5000     |
| 7              | 1:500; 1:25000; 1:1000    | 22             | 1:500; 1:5000; 1:50000    |
| 8              | 1:100; 1:500; 1:10000     | 23             | 1:100; 1:10000; 1:50000   |
| 9              | 1:10000; 1:25000; 1:50000 | 24             | 1:2000; 1:25000; 1:100000 |
| 10             | 1:1000; 1:10000; 1:50000  | 25             | 1:500; 1:1000; 1:25000    |
| 11             | 1:1000; 1:5000; 1:10000   | 26             | 1:200; 1:5000; 1:10000    |
| 12             | 1:100; 1:500; 1:10000     | 27             | 1:100; 1:25000; 1:100000  |
| 13             | 1:500; 1:10000; 1:25000   | 28             | 1:500; 1:2000; 1:100000   |
| 14             | 1:1000; 1:2000; 1:10000   | 29             | 1:200; 1:10000; 1:25000   |
| 15             | 1:1000; 1:25000; 1:50000  | 30             | 1:100; 1:200; 1:50000     |

*Пример решения* Исходные данные: численные масштабы 1:500; 1:5000; 1:10000.

При сравнении численных масштабов больший знаменатель делят на меньший. В данном случае масштаб 1:500 крупнее масштаба 1:5000 в 10 раз и крупнее масштаба 1:10000 в 20 раз. За точность масштаба принимают расстояние на местности, соответствующее минимальному расстоянию 0,1 мм, различаемому глазом.

$$\tau_{1:500} = 0,05 \text{ м}; \tau_{1:5000} = 0,5 \text{ м}; \tau_{1:10000} = 1 \text{ м}.$$

Для перевода численного масштаба в линейный необходимо от сантиметров в знаменателе перейти к метрам, т.е.  $\frac{1}{500:100}$  или в 1 см – 5 метров;  $\frac{1}{5000:100}$  или в 1 см – 50 метров и для масштаба 1:10000 в 1 см – 100 метров.

#### **Задание 4**

Определить длину линии на местности по измеренному расстоянию на плане масштаба, указанного в табл.2.

*Таблица 2 – Расчет величины горизонтального проложения линии на местности*

| Номер варианта | Длина линии на плане, см | Масштаб плана | Номер варианта | Длина линии на плане, см | Масштаб плана |
|----------------|--------------------------|---------------|----------------|--------------------------|---------------|
| 1              | 99,72                    | 1:500         | 16             | 45,87                    | 1:200         |
| 2              | 154,10                   | 1:2000        | 17             | 320,45                   | 1:5000        |
| 3              | 242,32                   | 1:1000        | 18             | 8,92                     | 1:50          |
| 4              | 61,23                    | 1:10000       | 19             | 175,30                   | 1:2500        |
| 5              | 121,41                   | 1:5000        | 20             | 650,15                   | 1:10000       |
| 6              | 54,84                    | 1:100000      | 21             | 35,64                    | 1:500         |
| 7              | 1350,80                  | 1:25000       | 22             | 920,75                   | 1:50000       |
| 8              | 18,35                    | 1:100         | 23             | 15,80                    | 1:200         |
| 9              | 743,21                   | 1:50000       | 24             | 410,30                   | 1:25000       |
| 10             | 27,77                    | 1:1000        | 25             | 72,45                    | 1:1000        |
| 11             | 84,75                    | 1:500         | 26             | 285,60                   | 1:2000        |
| 12             | 140,20                   | 1:2000        | 27             | 5,25                     | 1:100         |
| 13             | 236,50                   | 1:1000        | 28             | 1850,40                  | 1:100000      |
| 14             | 24,30                    | 1:100         | 29             | 110,85                   | 1:500         |
| 15             | 121,60                   | 1:5000        | 30             | 375,20                   | 1:2500        |

#### **Задание 5**

Определить длину отрезка при изображении на плане линии, измеренной на местности.

*Таблица 3 – Расчет длины отрезка линии на плане*

| Номер варианта | Длина линии на местности, м | Масштаб плана | Номер варианта | Длина линии на местности, м | Масштаб плана |
|----------------|-----------------------------|---------------|----------------|-----------------------------|---------------|
| 1              | 498,6                       | 1:500         | 16             | 917,4                       | 1:200         |
| 2              | 3082,0                      | 1:2000        | 17             | 160225,0                    | 1:5000        |
| 3              | 2423,2                      | 1:1000        | 18             | 446,0                       | 1:50          |
| 4              | 6123,0                      | 1:10000       | 19             | 43825,0                     | 1:2500        |
| 5              | 6070,5                      | 1:5000        | 20             | 650150,0                    | 1:10000       |
| 6              | 54843,0                     | 1:100000      | 21             | 1782,0                      | 1:500         |
| 7              | 33770,0                     | 1:25000       | 22             | 460375,0                    | 1:50000       |
| 8              | 183,5                       | 1:100         | 23             | 3160,0                      | 1:200         |
| 9              | 371605,0                    | 1:50000       | 24             | 1025750,0                   | 1:25000       |
| 10             | 2776,8                      | 1:1000        | 25             | 7245,0                      | 1:1000        |
| 11             | 4237,5                      | 1:500         | 26             | 57120,0                     | 1:2000        |
| 12             | 2804,0                      | 1:2000        | 27             | 525,0                       | 1:100         |
| 13             | 23650,0                     | 1:10000       | 28             | 1850400,0                   | 1:100000      |
| 14             | 2430,0                      | 1:1000        | 29             | 5542,5                      | 1:500         |
| 15             | 60800,0                     | 1:5000        | 30             | 93800,0                     | 1:2500        |

### **Задание 6**

Построить поперечный масштаб с основанием 2 см и оцифровать его для численных масштабов 1:500; 1:2000; 1:25000.

### **Задание 7**

Пользуясь поперечным масштабом, определить длину отрезка, соответствующего измеренному расстоянию на местности, указанному в табл.4, предварительно округлив это расстояние в соответствии с точностью указанных масштабов.

*Таблица 4 – Распределение заданий для построения длины отрезка в масштабе*

| Номер варианта | Расстояние на местности, м | Основание масштаба, м | Номер варианта | Расстояние на местности, м | Основание масштаба, м |
|----------------|----------------------------|-----------------------|----------------|----------------------------|-----------------------|
| 1              | 1564,1                     | 200                   | 16             | 87,35                      | 200                   |
| 2              | 31,3                       | 10                    | 17             | 342,80                     | 10                    |
| 3              | 484,6                      | 100                   | 18             | 175,60                     | 100                   |
| 4              | 163,48                     | 40                    | 19             | 289,40                     | 40                    |
| 5              | 61,23                      | 20                    | 20             | 1842,5                     | 20                    |
| 6              | 1624,1                     | 100                   | 21             | 56,20                      | 100                   |
| 7              | 580,6                      | 40                    | 22             | 93,75                      | 40                    |
| 8              | 26,2                       | 10                    | 23             | 418,30                     | 10                    |
| 9              | 184,56                     | 40                    | 24             | 67,45                      | 40                    |
| 10             | 75,34                      | 20                    | 25             | 1568,0                     | 20                    |
| 11             | 94,8                       | 100                   | 26             | 234,50                     | 100                   |
| 12             | 1322,2                     | 200                   | 27             | 45,90                      | 200                   |
| 13             | 1234,4                     | 500                   | 28             | 985,60                     | 500                   |
| 14             | 62,5                       | 1000                  | 29             | 32,80                      | 1000                  |
| 15             | 110,6                      | 40                    | 30             | 2475,0                     | 40                    |

Пример. На рисунке 5. показан построенный поперечный масштаб с оцифровкой для численных масштабов 1:500; 1:2000; 1:25000.

За основание масштаба принимают отрезок, равный 2 см; деление масштаба равно десятой доли основания и шаг масштаба равен десятой доли деления или сотой доли основания.

Таблица 5 – Расчет деления и шага масштабов

| Численные масштабы | Основание | Деление | Шаг   |
|--------------------|-----------|---------|-------|
| 1:500              | 10 м      | 1 м     | 0,1 м |
| 1:2000             | 40 м      | 4 м     | 0,4 м |
| 1:25000            | 500 м     | 50 м    | 5 м   |

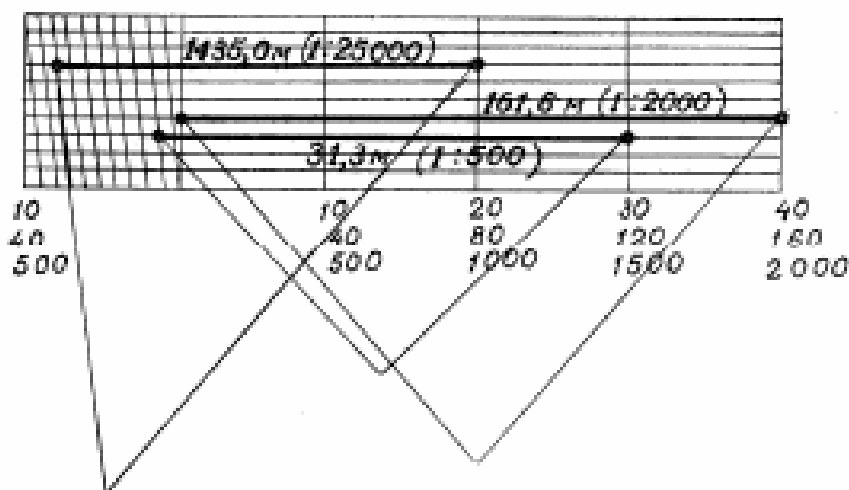


Рисунок 5 – Пример построения поперечного масштаба с оцифровкой

Откладывая отрезки по поперечному масштабу, левую иглу измерителя совмещают с началом отсчета 0, а правую отодвигают на целое число оснований, затем левую иглу отодвигают от нуля на количество делений. Правую иглу измерителя перемещают вверх по перпендикуляру, а левую по наклонной (трансверсали) на количество шагов. На рис. 4 кружочками показаны расстояния для вариантов 2, 4, 10.

М 1:500  $31,3 \text{ м} = 3 \text{ осн} \times 10 \text{ м} + 1 \text{ д} \times 3 \text{ ш} \times 0,1 \text{ м}.$

М 1:2000  $161,6 \text{ м} = 4 \text{ осн} \times 40 \text{ м} + 4 \text{ м} \times 0,4.$

М 1:25000  $1435,0 \text{ м} = 2 \text{ осн} \times 500 \text{ м} + 8 \text{ д} \times 50 \text{ м} + 7 \text{ ш} \times 5 \text{ м}.$

### Задание 8

Каким численным масштабам соответствует предельная точность 1,5 м; 0,06 м; 7,5 м?

### Задание 9

Можно ли дорогу шириной 4 м изобразить двумя линиями на картах масштабов 1:10000; 1:25000; 1:50000?

### Задание 10

Используя учебную карту «Андрополь» У–42–73–В–в измерьте расстояние:

1. По трассе от моста через р. Ара между н. п. Кипелово и Нарвик до стекольного завода в г. Андрополь.
2. По реке от водяной мельницы на р. Ара до моста через р. Ара между н. п. Кипелово и Нарвик.
3. По реке через мост близ н. п. Пено до моста близ н. с. Филино по р. Ара.
4. По железной дороге от станции Крохино до мебельной фабрики н. п. Кляево.
5. По дороге с твердым покрытием от карьера (места разработки твердых полезных ископаемых) в районе н. п. Синево до стекольного завода г. Андрополь.
6. По дороге от мукомольного завода н. п. Майда до кирпичного завода н. п. Нивское.
7. По дороге с твердым покрытием от н. п. Биряково до н. п. Клевино.
8. По р. Бура от моста трассы 219 от н. п. Биряково до моста канала Муша.
9. По асфальтированной дороге от мукомольного завод г. Андрополь до н. п. Утена.
10. Длину реки Суна в пределах карты.
11. Длину канала Муша в пределах карты.
12. По тропе от лесничество Рупорт (к юго–востоку от н. п. Капиево) до н. п. Мухтолово.
13. По асфальтированной дороге от н. п. Нивское до н. п. Брусничное.
14. По асфальтированной дороге от машинно–мелиоративной станции (ММС близ н. п. Филино) до мебельной фабрики г. Андрополь.
15. Длину канала Конур (к югу от г. Андрополь).

### 1.3 Ориентирование линий

Ориентировать линию на местности значить найти ее направление относительно меридиана. В качестве углов определяющих направление линий служат азимуты, дирекционные углы и румбы.

*Геодезическим азимутом* называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления геодезического меридиана, проходящего через данную точку до заданного направления по ходу часовой стрелки. Они изменяются от 0 до 360 градусов. Меридианы не параллельны друг другу. Угол между направлением двух меридианов в данных двух точках называется *сближением меридианов*  $\gamma$  и обозначается через направление истинного меридиана, вычисляется путем астрономических наблюдений.

На практике часто пользуются *магнитными азимутами*. Направление магнитного меридиана определяется направлением магнитной стрелки. Как и геодезический азимут, магнитный азимут отсчитывается от северного направления магнитного меридиана (направления северного конца магнитной стрелки) по ходу часовой стрелки до заданного направления. Магнитный меридиан, как правило, не совпадает с истинным меридианом, так как магнитные полюса смещены относительно истинных полюсов земли (рис. 6).

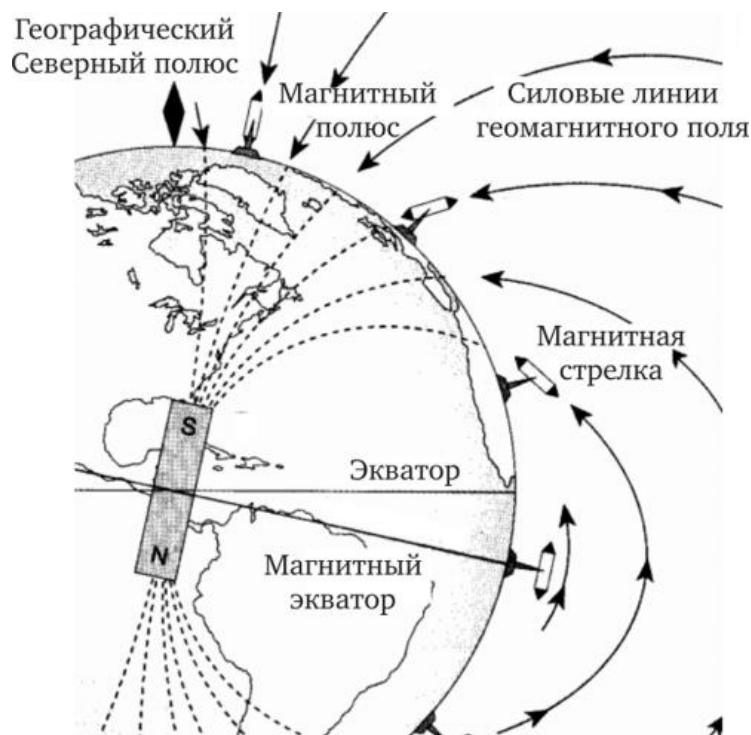


Рисунок 6 – Положение истинных и магнитных полюсов

Зависимость между основными углами ориентирования определяют по формулам:

$$A_M = \alpha + \gamma, \quad (7)$$

$$A_{И} = A_M + \delta, \quad (8)$$

где  $\delta$  – склонение магнитной стрелки;

$\gamma$  – сближение меридианов.

При этом западные  $\delta$  и  $\gamma$  берутся со знаком минус, а восточные – со знаком плюс (рис. 7).

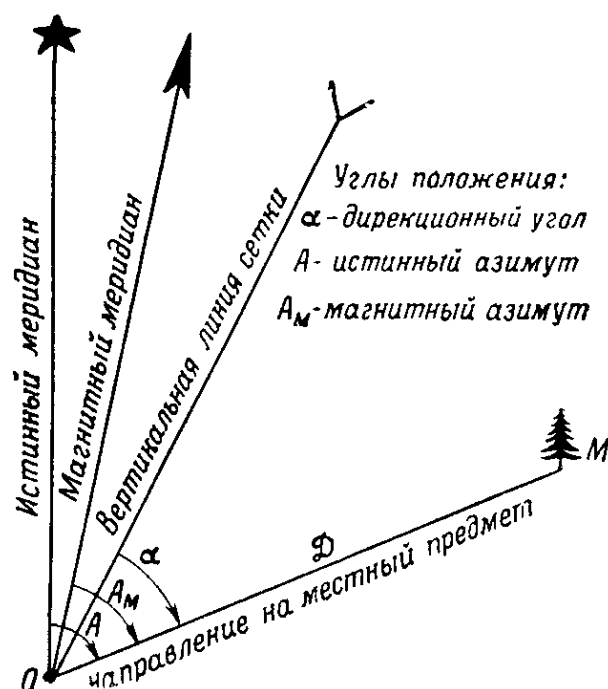


Рисунок 7 – Углы ориентирования и зависимость между ними

*Дирекционный угол* – это горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления осевого меридиана или линии, параллельной ему, до заданного направления, по часовой стрелке. В отличие от азимутов, дирекционный угол постоянен на протяжении всего направления. Прямой и обратный дирекционный углы отличаются ровно на  $180^\circ$ , т.е.  $\alpha_{обр.} = \alpha_{пр.} \pm 180^\circ$ . При определении дирекционного угла на местности необходимо знать значение истинного азимута и величину сближения меридианов  $\gamma$ , тогда

$$\alpha = A_{ист.} + \gamma. \quad (9)$$

Значение величины  $\gamma$  подписывается под южной стороной рамок топографических карт.

*Румб* – острый угол, отсчитываемый от северного или южного конца меридиана по или против часовой стрелки, до заданного направления. Так как румбы могут иметь одинаковые значения в разных четвертях, то перед численным значением румба указывается буквенное значение четверти: I четверть – СВ, II четверть – ЮВ, III четверть – ЮЗ, IV четверть – СЗ.

Румбы еще называют *таблицатыми углами*, так как все геодезические таблицы рассчитаны от  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Соотношение дирекционных углов и румбов показано на рис. 8.

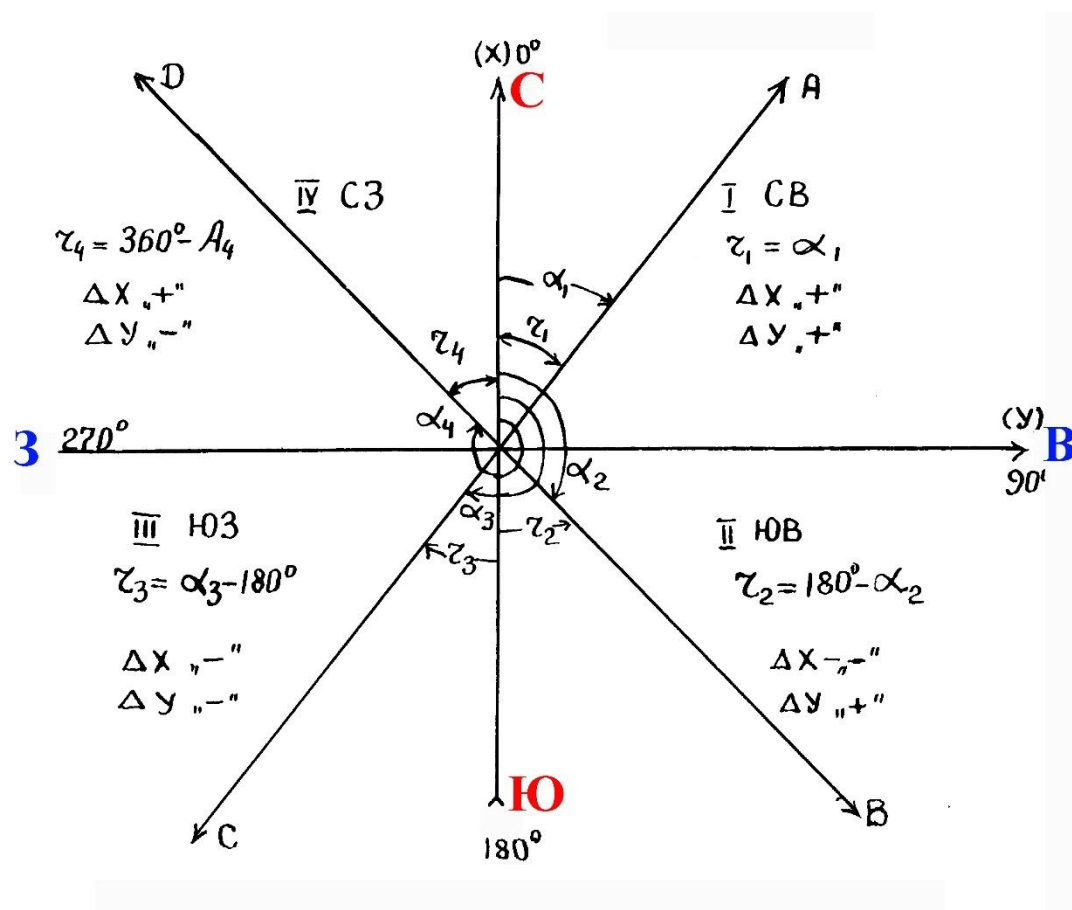


Рисунок 8 – Схема зависимости между дирекционными углами и румбами

Направление от точки А в точку В может быть задано как в прямом, так и в обратном направлениях, тогда возникает необходимость расчета прямых и обратных дирекционных углов. Зависимость между

прямыми и обратными дирекционными углами показана на рис. 8. Она определяется по формуле:

$$\alpha = \alpha_{AB} \pm 180^\circ \quad (10)$$

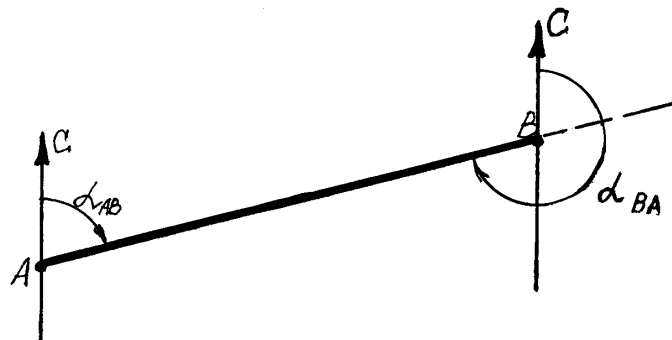


Рисунок 9 – Схема зависимости между прямыми и обратными дирекционными углами

На практике часто пользуются соотношениями между дирекционными углами и углами полигона (рис. 8). Для определения последующего направления дирекционного угла от одной вершины полигона к другой (например, от точки В к С, от С к D и т.д.), необходимо определиться с ходом движения: по часовой стрелки или против.

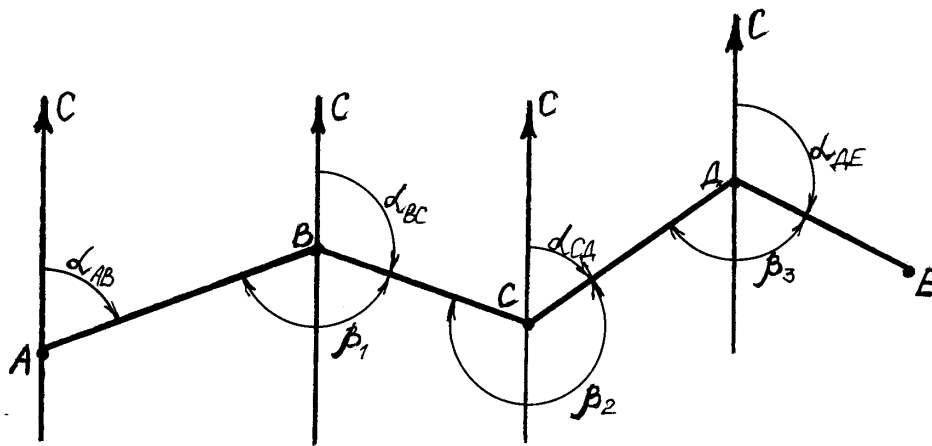


Рисунок 10 – Схема зависимости между дирекционными и внутренними углами в полигоне

В случае движения по часовой стрелки ход считается правым и последующие дирекционные углы определяются по формуле:

$$\alpha_{\text{посл.}} = \alpha_{\text{пред.}} + 180^\circ - \beta_{\text{посл.}}, \quad (11)$$

где  $\alpha_{\text{посл.}}$  – дирекционный угол последующего направления;

$\alpha_{\text{пред.}}$  – дирекционный угол предыдущего направления;

$\beta_{\text{посл.}}$  – внутренний угол последующего направления.

В случае движения против часовой стрелки ход считается левым и последующие дирекционные углы определяются по формуле:

$$\alpha_{\text{посл.}} = \alpha_{\text{пред.}} - 180^\circ + \beta_{\text{посл.}} \quad (12)$$

Таким образом, направление движение задается относительно исходного положения на заданное. Направление задается относительно меридиана: истинного, магнитного и осевого. Ориентирование относительно магнитного меридиана возможно с помощью компаса и имеет большое практическое применение. Ориентирование относительно осевого меридиана с помощью дирекционных углов и румбов удобно для расчетов и построений в пределах координатной сетки карты/плана. Направление относительно истинного меридиана необходимо для теоретических расчетов положения точек на поверхности земли.

Измерить дирекционный угол  $\alpha$  заданной линии, используя линии координатной сетки, нанесенные параллельно оси X.

Вертикальную линию километровой сетки переносят в начальную точку линии и измеряют полученный угол (рис. 11).



а – внешний вид с футляром



б – положение транспортира (дугой вправо) при измерении угла в диапазоне  $0^\circ$ – $180^\circ$ ; измеряемый горизонтальный угол  $64,5^\circ$  или  $64^\circ 30'$  определяется по внешней шкале



в – положение транспортира (дугой влево) при измерении угла в диапазоне  $180^\circ$ – $360^\circ$ ; измеряемый горизонтальный угол  $244,5^\circ$  или  $244^\circ 30'$  определяется по внутренней шкале

*Рисунок 11 – Топографический транспортир и работа с ним*

Дирекционный угол заданной линии можно также замерить в любой точке её пересечения с вертикальной линией сетки, при необходимости продлив заданную линию.

Для измерения углов на карте целесообразно применять топографический транспортир (рис. 11, а).

Цена деления транспортира составляет  $0,5^\circ = 30'$ , а наличие двух шкал  $0^\circ\text{--}180^\circ$  (внешняя) и  $180^\circ\text{--}360^\circ$  (внутренняя) позволяет измерять горизонтальный угол в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  без дополнительных расчетов, что снижает вероятность ошибки.

Дополнительно на прямолинейной пластине транспортира изображается поперечный масштаб и линейка. При этом линейка оцифрована в обе стороны от центра транспортира.

Для точного измерения следует остро отточенным карандашом из вершины угла прочертить две стороны, образующие горизонтальный угол, причем они обязательно должны выйти за контур транспортира (т.е. длина сторон должна быть не менее 10 сантиметров). Затем вершину угла тщательно совмещают с центром транспортира, а одну из сторон угла – с диаметром транспортира, развернутого дугою вправо или влево (в соответствии с рис. 11, б, в). Вторая сторона угла будет указывать деление на транспортире, равное величине угла в градусах. Аналогичным образом с помощью транспортира можно построить необходимый угол.

2. Для нахождения истинного азимута линии на топографической карте через начальную точку линии следует провести географический меридиан, замерить топографическим транспортиром полученный угол  $A_{A-B}^и$  (рис. 12).

3. Для проверки  $A^и$  воспользоваться схемой исходных направлений (рис. 7) и формулой связи истинного азимута с дирекционным углом:

$$A^и = \alpha + (\pm\gamma). \quad (13)$$

4. Рассчитать магнитный азимут линии по формулам:

$$A^м = A^и - (\pm\delta) \quad (14)$$

или

$$A^м = \alpha + (\pm\gamma) - (\pm\delta). \quad (15)$$

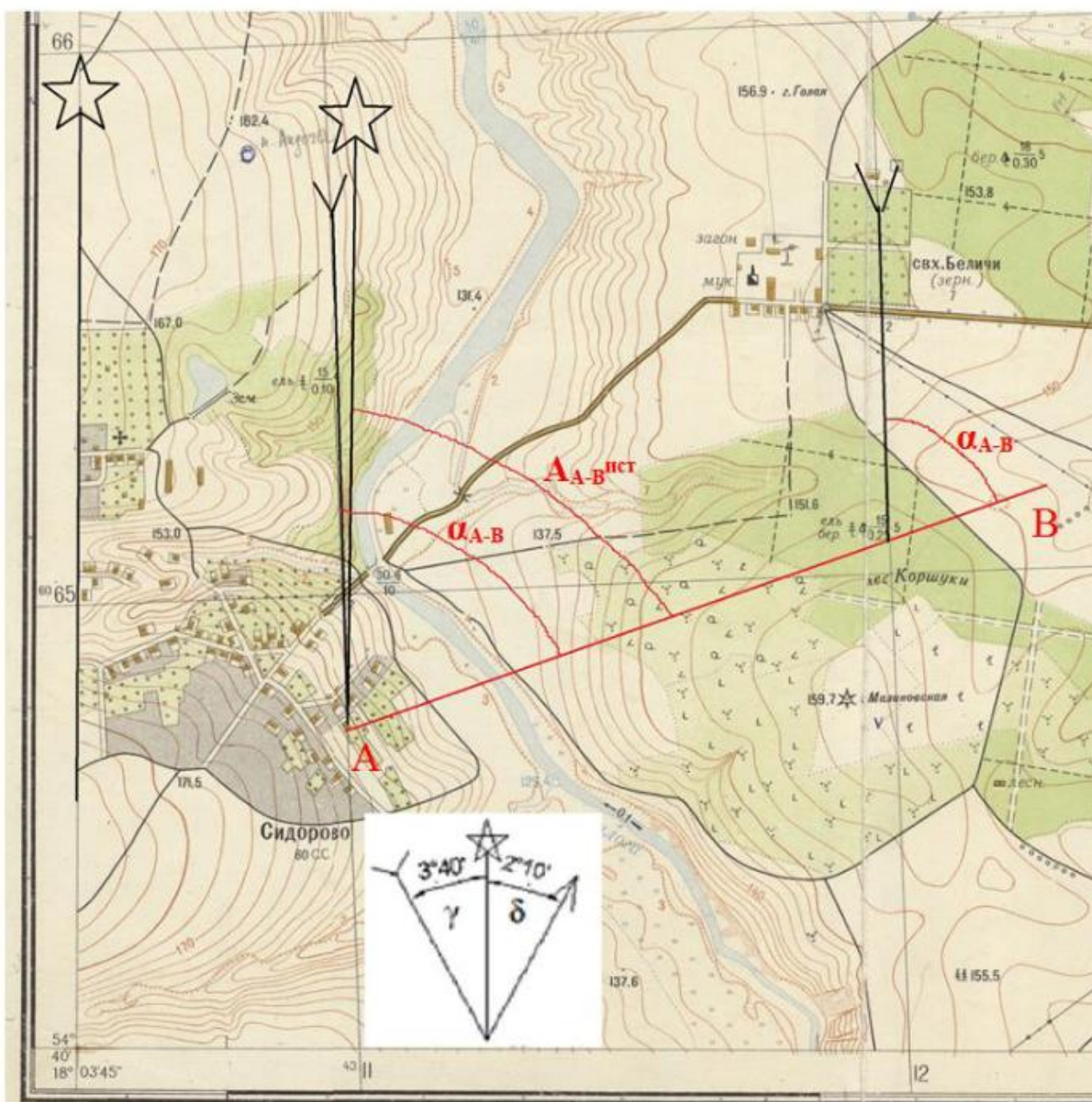


Рисунок 12 – Ориентированные углы на карте

Например, для линии А–В на рис. 10 измеренный дирекционный угол  $\alpha_{A-B} = 73^{\circ}00'$ ; в соответствии со схемой исходных направлений вычисленные значения азимутов:

$$A_{A-B}^I = \alpha_{1-2} + (\pm\gamma) = 73^{\circ}00' + (-3^{\circ}40') = 69^{\circ}20';$$

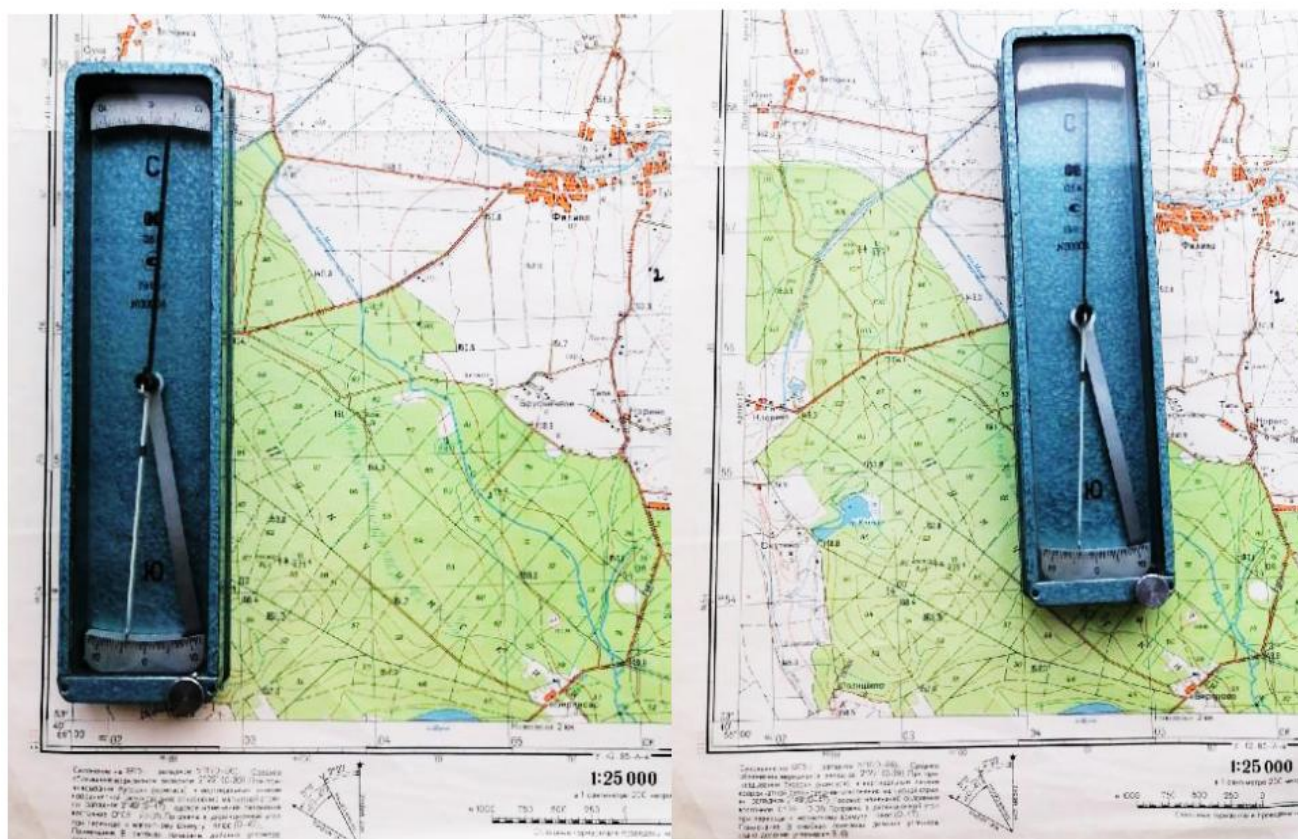
$$A_{A-B}^M = A_{A-B}^I - (\pm\delta) = 69^{\circ}20' - (+2^{\circ}10') = 67^{\circ}10'.$$

Ориентировать карту на местности с помощью буссоли или компаса: по истинному меридиану; по оси Х.

В первом случае на горизонтально расположенную карту накладывают буссоль (рис. 13), и совмещают её боковую грань с восточной или западной стороной рамки планшета, т.е. с истинным меридианом.

Учитывая по схеме исходных направлений склонение магнитной стрелки, поворачивают карту вместе с bussолью до тех пор, пока северный конец магнитной стрелки не остановится на нужном отсчете.

При использовании ориентир–бussоли следует учесть оцифровку шкалы. При ориентировании карты по оси X bussоль прикладывается нулевым диаметром СЮ к вертикальной линии километровой сетки (рис. 13). Подсчитывают суммарное значение углов сближения меридианов  $\gamma$  и склонения магнитной стрелки  $\delta$ . Поворачивают карту вместе с bussолью до тех пор, пока северный конец стрелки не покажет нужный отсчет ( $\gamma + \delta$ ).



а)

б)

Рисунок 13 – Ориентирование карты с помощью bussоли:

а) по истинному меридиану; б) по оси X.

## Задание 11

По дирекционным углам линии АВ, указанным в табл. 6, определить румбы.

Таблица 6 – Распределение величины дирекционных углов по вариантам

| Номер варианта | Дирекционный угол линии АВ | Номер варианта | Дирекционный угол линии АВ |
|----------------|----------------------------|----------------|----------------------------|
| 1              | 189°33'                    | 16             | 42°18'                     |
| 2              | 218°10'                    | 17             | 135°47'                    |
| 3              | 257°33'                    | 18             | 225°09'                    |
| 4              | 359°01'                    | 19             | 312°36'                    |
| 5              | 51°24'                     | 20             | 78°52'                     |
| 6              | 184°28'                    | 21             | 167°23'                    |
| 7              | 270°01'                    | 22             | 248°41'                    |
| 8              | 110°35'                    | 23             | 335°14'                    |
| 9              | 90°02'                     | 24             | 23°05'                     |
| 10             | 305°16'                    | 25             | 104°38'                    |
| 11             | 60°210'                    | 26             | 196°55'                    |
| 12             | 148°35'                    | 27             | 283°27'                    |
| 13             | 211°42'                    | 28             | 12°49'                     |
| 14             | 305°15'                    | 29             | 152°16'                    |
| 15             | 260°47'                    | 30             | 347°03'                    |

### Пример решения

Исходные данные.

$$A_1 = 159^\circ 43'$$

$$\alpha_2 = 277^\circ 47'$$

$$\alpha_3 = 230^\circ 15'$$

$$\alpha_4 = 70^\circ 34'$$

Как видно из рис. 14,  $90^\circ < \alpha_1 < 180^\circ$ , румб расположен в юго–сточной четверти (ЮВ) и в соответствии с формулами рис. 7 определяется как  $r = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - \alpha = 179^\circ 60' - 159^\circ 43' = 20^\circ 17'$ .

Ответ: ЮВ:20°17'.

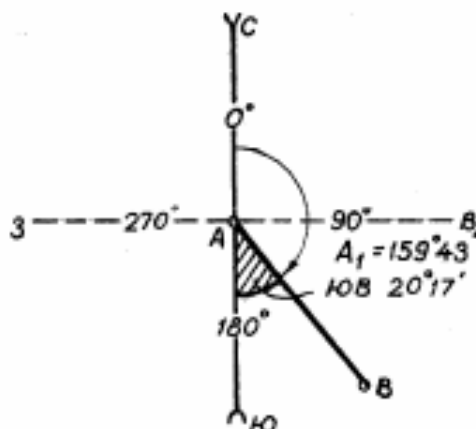


Рисунок 14 – Определение румба юго–восточного направления

Из рис. 15 определяем положение румба в северо-западной четверти, так как  $270^\circ < \alpha_2 < 360^\circ$ , следовательно, используя формулы расчета румба (рис. 7) вычисляем  $r = 360^\circ - \alpha = 359^\circ 60' - 277^\circ 47' = 82^\circ 13'$ .  
 Ответ: СЗ:  $82^\circ 13'$

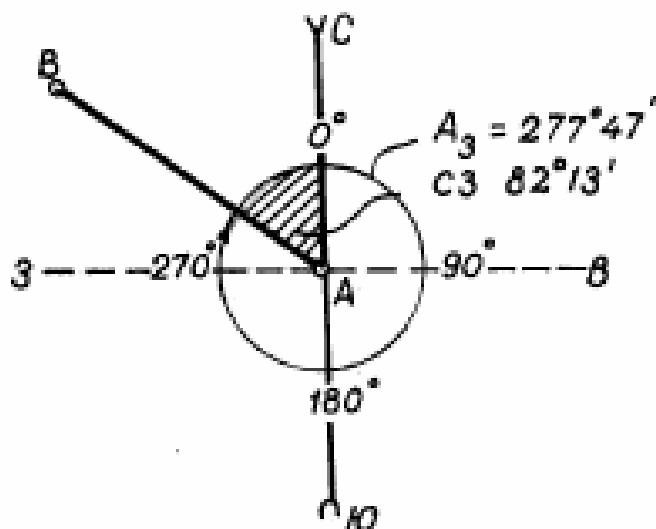


Рисунок 15 – Определение румба северо-западного направления

Из рис. 16 определяем положение румба в юго-западной четверти, так как  $180^\circ < \alpha_3 < 270^\circ$ , следовательно,  $r = \alpha - 180^\circ = 230^\circ 15' - 180^\circ = 50^\circ 15'$ .

Ответ: ЮЗ:  $50^\circ 15'$ .

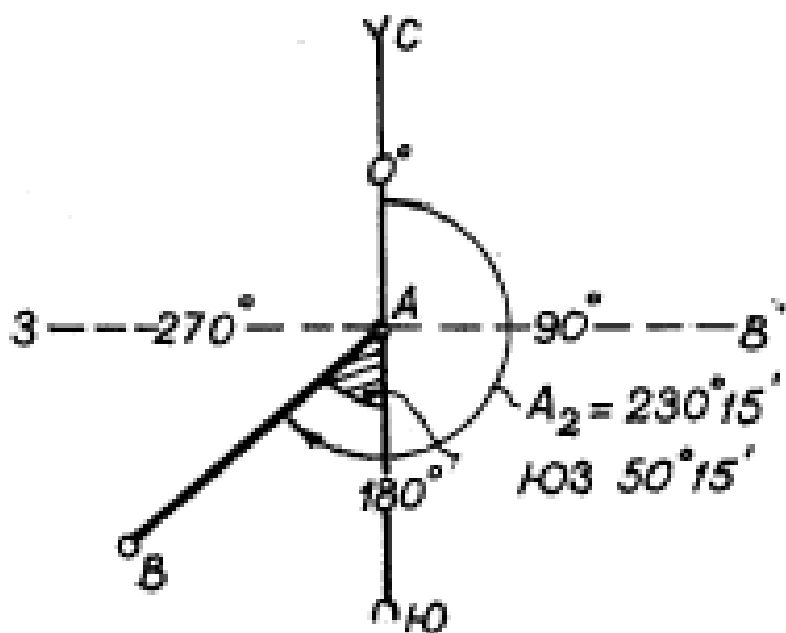


Рисунок 16 – Определение румба юго-западного направления.

Наконец, на рис. 17 изображена ситуация для определения угла северо-восточного направления, так как  $0^\circ < \alpha_4 < 90^\circ$ . В соответствии с формулами рис. 7 величина румба здесь равна дирекционному углу.

Ответ: СВ:70°34'.

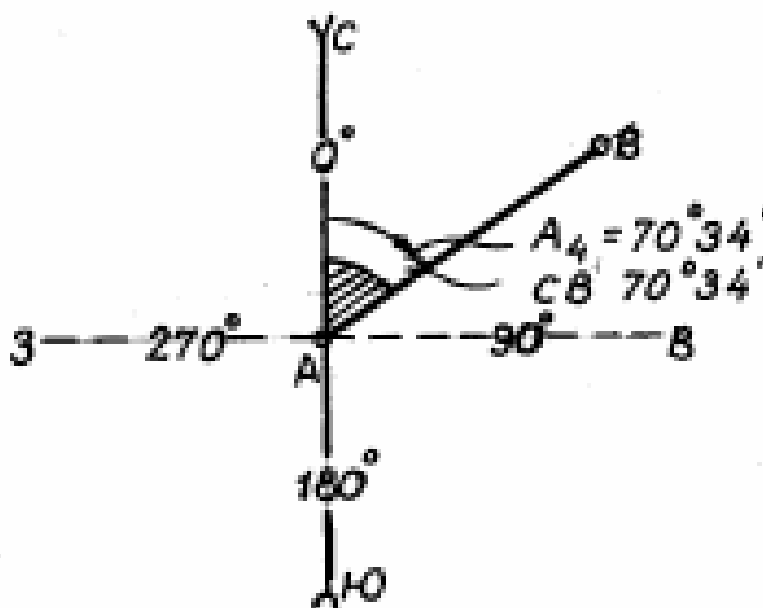


Рисунок 17 – Определение румба северо-восточного направления

### Задание 12

По румбам линии АВ в табл. 7 определить азимуты обратных направлений.

Таблица 7 – Распределение величины румбов по вариантам

| Номер варианта | Румб линии АВ | Номер варианта | Румб линии АВ |
|----------------|---------------|----------------|---------------|
| 1              | ЮЗ:56°23'     | 16             | СВ:34°17'     |
| 2              | СВ:13°24'     | 17             | ЮВ:47°38'     |
| 3              | ЮВ:29°35'     | 18             | СЗ:68°05'     |
| 4              | ЮЗ:17°10'     | 19             | ЮЗ:73°42'     |
| 5              | ЮВ:80°50'     | 20             | СВ:85°19'     |
| 6              | СЗ:10°15'     | 21             | ЮВ:12°44'     |
| 7              | ЮВ:89°02'     | 22             | СЗ:26°31'     |
| 8              | СЗ:2°58'      | 23             | ЮЗ:41°08'     |
| 9              | СВ:0°01'      | 24             | СВ:59°53'     |
| 10             | ЮЗ:0°01'      | 25             | ЮВ:76°22'     |
| 11             | СЗ:89°59'     | 26             | СЗ:14°47'     |
| 12             | СВ:60°48'     | 27             | ЮЗ:82°15'     |
| 13             | ЮВ:66°20'     | 28             | СВ:28°36'     |
| 14             | ЮЗ:10°18'     | 29             | ЮВ:33°51'     |
| 15             | СЗ:80°10'     | 30             | СЗ:45°00'     |

### Пример решения

Примем за исходные данные румб линии АВ ЮЗ:76°18'.

Азимут линии АВ, ориентированный по румбу (ЮЗ:76°18') равен 180° плюс румб, т.е. 256°18', а азимут обратного направления (для коротких расстояний) отличается на 180°, т.е. равен 76°18' (рис. 18).

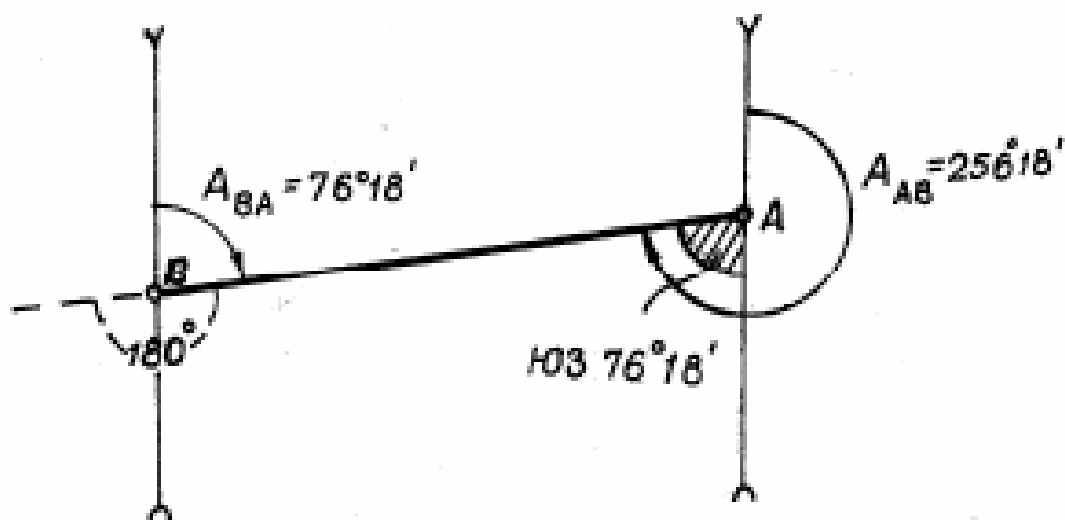


Рисунок 18 – Определение румба обратного направления

### Задание 13

Определить горизонтальный угол  $\beta$ , лежащий слева по ходу (рис. 19), если заданы направления АВ и ВС, его образующие (табл. 8).

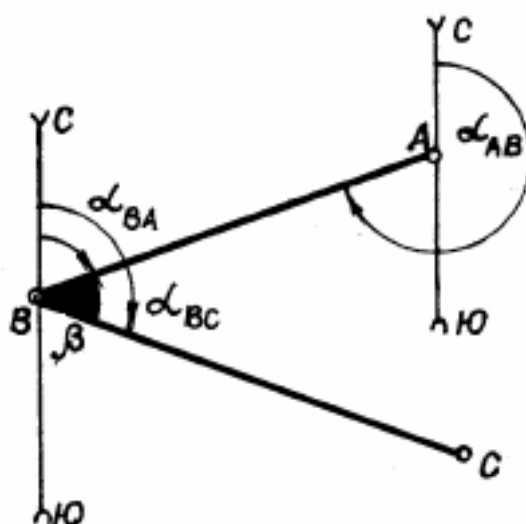


Рисунок 19 – Схема расположения угла, заключенного между тремя точками

*Таблица 8 – Распределение дирекционных углов направлений АВ и ВС по вариантам*

| Номер варианта | Дирекционные углы |         | Номер варианта | Дирекционные углы |           |
|----------------|-------------------|---------|----------------|-------------------|-----------|
|                | АВ                | ВС      |                | АВ                | ВС        |
| 1              | 20°20'            | 80°45'  | 1              | ЮЗ:1°19'          | СЗ:31°19' |
| 2              | 300°10'           | 0°20'   | 2              | ЮВ:40°20'         | ЮВ:17°05' |
| 3              | 184°35'           | 358°40' | 3              | СВ:15°07'         | СЗ:15°07' |
| 4              | 273°15'           | 189°24' | 4              | ЮЗ:10°10'         | ЮВ:55°43' |
| 5              | 154°10'           | 269°50' | 5              | СЗ:22°15'         | ЮЗ:65°32' |
| 6              | 60°10'            | 125°35' | 6              | СВ:60°10'         | СЗ:20°15' |
| 7              | 30°25'            | 306°41' | 7              | ЮЗ:35°18'         | СЗ:44°12' |
| 8              | 116°36'           | 84°21'  | 8              | ЮВ:24°10'         | СВ:73°15' |
| 9              | 190°16'           | 230°20' | 9              | СВ:86°44'         | ЮВ:12°20' |
| 10             | 45°38'            | 325°10' | 10             | СВ:62°15'         | СЗ:84°10' |
| 11             | 310°20'           | 240°15' | 11             | ЮЗ:70°24'         | ЮВ:35°12' |
| 12             | 165°46'           | 48°30'  | 12             | ЮВ:64°40'         | СВ:30°15' |
| 13             | 260°35'           | 312°25' | 13             | СВ:30°33'         | ЮВ:60°20' |
| 14             | 202°15'           | 136°40' | 14             | ЮЗ:25°20'         | СЗ:30°42' |
| 15             | 138°24'           | 210°20' | 15             | СВ:22°14'         | ЮВ:25°45' |
| 16             | 145°30'           | 215°45' | 16             | СВ:45°30'         | ЮВ:22°15' |
| 17             | 78°15'            | 165°20' | 17             | ЮЗ:58°40'         | СЗ:12°25' |
| 18             | 255°40'           | 320°10' | 18             | СВ:72°10'         | СЗ:85°45' |
| 19             | 342°50'           | 45°30'  | 19             | ЮВ:33°20'         | СВ:18°50' |
| 20             | 95°25'            | 182°40' | 20             | СЗ:47°35'         | ЮЗ:15°10' |
| 21             | 210°15'           | 295°50' | 21             | ЮВ:82°40'         | ЮЗ:28°15' |
| 22             | 12°40'            | 105°20' | 22             | СВ:25°55'         | ЮВ:68°30' |
| 23             | 198°35'           | 270°15' | 23             | ЮЗ:76°20'         | СЗ:5°40'  |
| 24             | 315°10'           | 25°45'  | 24             | СЗ:39°15'         | СВ:52°40' |
| 25             | 88°55'            | 175°30' | 25             | ЮВ:15°30'         | ЮЗ:48°55' |
| 26             | 242°20'           | 335°40' | 26             | СВ:37°25'         | СЗ:70°10' |
| 27             | 55°15'            | 148°50' | 27             | ЮЗ:22°45'         | СЗ:63°20' |
| 28             | 135°40'           | 228°15' | 28             | ЮВ:51°15'         | СВ:88°40' |
| 29             | 285°30'           | 15°20'  | 29             | СЗ:18°35'         | ЮЗ:84°50' |
| 30             | 102°45'           | 195°10' | 30             | ЮВ:74°25'         | ЮЗ:36°15' |

### **Задание 14**

По известным истинным азимутам линии  $A_n$  и углу склонения магнитной стрелки  $\delta$  (табл. 9) определить магнитный азимут  $A_m$ .

*Таблица 9 – Распределение величин истинного азимута, румба и склонения магнитной стрелки по вариантам*

| Номер варианта | Истинный азимут $A_{и}$ | Склонение магнитной стрелки $\delta$ | Номер варианта | Румб линии | Склонение магнитной стрелки $\delta$ |
|----------------|-------------------------|--------------------------------------|----------------|------------|--------------------------------------|
| 1              | 90°00'                  | –2°00'                               | 1              | СВ:1°10'   | +5°20'                               |
| 2              | 170°30'                 | +4°30'                               | 2              | СЗ:0°01'   | –1°20'                               |
| 3              | 210°00'                 | –2°30'                               | 3              | ЮЗ:2°10'   | –3°30'                               |
| 4              | 300°30'                 | +5°30'                               | 4              | СВ:50°20'  | +10°15'                              |
| 5              | 359°59'                 | +1°20'                               | 5              | СЗ:1°10'   | +1°12'                               |
| 6              | 0°01'                   | –1°10'                               | 6              | ЮВ:0°30'   | –1°20'                               |
| 7              | 259°59'                 | +3°19'                               | 7              | СВ:89°59'  | +1°20'                               |
| 8              | 179°59'                 | –1°11'                               | 8              | ЮЗ:89°49'  | –3°30'                               |
| 9              | 0°02'                   | +5°10'                               | 9              | ЮВ:0°02'   | +10°10'                              |
| 10             | 200°40'                 | –1°11'                               | 10             | СВ:60°10'  | –10°10'                              |
| 11             | 60°10'                  | +2°25'                               | 11             | СЗ:89°59'  | +0°05'                               |
| 12             | 148°35'                 | –3°50'                               | 12             | СВ:60°48'  | –3°35'                               |
| 13             | 211°42'                 | +1°05'                               | 13             | ЮВ:66°20'  | +2°45'                               |
| 14             | 305°15'                 | –4°45'                               | 14             | ЮЗ:10°18'  | –4°10'                               |
| 15             | 260°47'                 | +0°55'                               | 15             | СЗ:80°10'  | +3°00'                               |
| 16             | 45°18'                  | +3°40'                               | 16             | СВ:34°17'  | –2°45'                               |
| 17             | 135°47'                 | –2°15'                               | 17             | ЮВ:47°38'  | +3°10'                               |
| 18             | 225°09'                 | +1°50'                               | 18             | СЗ:68°05'  | –4°25'                               |
| 19             | 312°36'                 | –4°20'                               | 19             | ЮЗ:73°42'  | +1°55'                               |
| 20             | 78°52'                  | +0°45'                               | 20             | СВ:85°19'  | –0°30'                               |
| 21             | 167°23'                 | –3°10'                               | 21             | ЮВ:12°44'  | +5°40'                               |
| 22             | 248°41'                 | +2°35'                               | 22             | СЗ:26°31'  | –3°05'                               |
| 23             | 335°14'                 | –1°05'                               | 23             | ЮЗ:41°08'  | +2°15'                               |
| 24             | 23°05'                  | +4°55'                               | 24             | СВ:59°53'  | –1°40'                               |
| 25             | 104°38'                 | –2°40'                               | 25             | ЮВ:76°22'  | +4°50'                               |
| 26             | 196°55'                 | +3°30'                               | 26             | СЗ:14°47'  | –2°20'                               |
| 27             | 283°27'                 | –5°15'                               | 27             | ЮЗ:82°15'  | +0°50'                               |
| 28             | 12°49'                  | +0°20'                               | 28             | СВ:28°36'  | –5°05'                               |
| 29             | 152°16'                 | –1°35'                               | 29             | ЮВ:33°51'  | +1°25'                               |
| 30             | 347°03'                 | +2°05'                               | 30             | СЗ:45°00'  | –3°55'                               |

### **Задание 16**

Определить угол склонения магнитной стрелки  $\delta$  по известным магнитному  $A_m$  и истинному азимутам  $A_{и}$  линии, указанным в табл. 10.

*Таблица 10 – Распределение величин магнитного и истинного азимутов*

| Номер варианта | Магнитный азимут $A_M$ | Истинный азимут $A_{И}$ | Номер варианта | Магнитный азимут $A_M$ | Истинный азимут $A_{И}$ |
|----------------|------------------------|-------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| 1              | 1°11'                  | 4°15'                   | 16             | 352°40'                | 348°15'                 |
| 2              | 2°47'                  | 3°17'                   | 17             | 45°22'                 | 42°05'                  |
| 3              | 84°43'                 | 88°10'                  | 18             | 128°35'                | 132°10'                 |
| 4              | 349°47'                | 347°29'                 | 19             | 215°48'                | 212°30'                 |
| 5              | 300°10'                | 298°40'                 | 20             | 295°15'                | 298°40'                 |
| 6              | 65°50'                 | 66°30'                  | 21             | 15°33'                 | 18°50'                  |
| 7              | 200°17'                | 203°45'                 | 22             | 98°20'                 | 95°05'                  |
| 8              | 177°23'                | 175°28'                 | 23             | 267°40'                | 271°15'                 |
| 9              | 21°00'                 | 16°40'                  | 24             | 335°50'                | 332°25'                 |
| 10             | 30°00'                 | 28°30'                  | 25             | 72°18'                 | 75°42'                  |
| 11             | 118°30'                | 120°48'                 | 26             | 184°05'                | 181°20'                 |
| 12             | 203°00'                | 205°30'                 | 27             | 312°30'                | 309°10'                 |
| 13             | 168°08'                | 165°40'                 | 28             | 55°45'                 | 59°20'                  |
| 14             | 71°00'                 | 69°25'                  | 29             | 142°15'                | 139°50'                 |
| 15             | 35°04'                 | 36°20'                  | 30             | 248°55'                | 252°30'                 |

### Задание 17

Определить дирекционный угол линии по известному магнитному азимуту  $A_M$ , склонению магнитной стрелки  $\delta$  и углу сближения меридианов  $\gamma$  (табл.11).

*Таблица 11 – Распределение значений величины магнитного азимута, склонения магнитной стрелки и угла сближения меридианов по вариантам*

| Номер варианта | Магнитный азимут $A_M$ | Склонение магнитной стрелки $\delta$ | Угол сближения меридианов $\gamma$ | Номер варианта | Магнитный азимут $A_M$ | Склонение магнитной стрелки $\delta$ | Угол сближения меридианов $\gamma$ |
|----------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|----------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| 1              | 73°                    | $\delta_B=4°00'$                     | $\gamma_3=2°30'$                   | 16             | 125°40'                | $\delta_3=3°15'$                     | $\gamma_B=1°20'$                   |
| 2              | 250°                   | $\delta_B=2°00'$                     | $\gamma_B=1°30'$                   | 17             | 318°25'                | $\delta_B=5°40'$                     | $\gamma_3=0°50'$                   |
| 3              | 100°                   | $\delta_B=4°00'$                     | $\gamma_B=1°30'$                   | 18             | 45°10'                 | $\delta_3=1°30'$                     | $\gamma_3=2°10'$                   |
| 4              | 198°                   | $\delta_3=6°10'$                     | $\gamma_3=1°30'$                   | 19             | 275°50'                | $\delta_B=0°45'$                     | $\gamma_B=3°25'$                   |
| 5              | 358°26'                | $\delta_B=8°20'$                     | $\gamma_3=1°10'$                   | 20             | 88°15'                 | $\delta_3=4°50'$                     | $\gamma_B=0°35'$                   |
| 6              | 0°01'                  | $\delta_B=0°20'$                     | $\gamma_B=0°00'$                   | 21             | 156°30'                | $\delta_B=2°25'$                     | $\gamma_3=1°45'$                   |
| 7              | 78°12'                 | $\delta_3=2°10'$                     | $\gamma_B=1°45'$                   | 22             | 203°40'                | $\delta_3=0°20'$                     | $\gamma_3=0°15'$                   |
| 8              | 358°04'                | $\delta_3=0°00'$                     | $\gamma_3=0°10'$                   | 23             | 342°05'                | $\delta_B=7°10'$                     | $\gamma_B=2°40'$                   |
| 9              | 1°12'                  | $\delta_3=3°01'$                     | $\gamma_3=1°11'$                   | 24             | 67°20'                 | $\delta_3=5°30'$                     | $\gamma_3=3°10'$                   |
| 10             | 285°10'                | $\delta_3=5°00'$                     | $\gamma_B=2°35'$                   | 25             | 134°55'                | $\delta_B=1°05'$                     | $\gamma_B=1°50'$                   |
| 11             | 349°59'                | $\delta_B=13°30'$                    | $\gamma_3=2°05'$                   | 26             | 245°30'                | $\delta_3=2°45'$                     | $\gamma_B=0°55'$                   |
| 12             | 0°00'                  | $\delta_3=9°15'$                     | $\gamma_B=2°13'$                   | 27             | 95°40'                 | $\delta_B=3°55'$                     | $\gamma_3=2°20'$                   |
| 13             | 30°30'                 | $\delta_3=1°10'$                     | $\gamma_3=1°10'$                   | 28             | 182°15'                | $\delta_3=6°20'$                     | $\gamma_3=1°05'$                   |
| 14             | 0°10'                  | $\delta_B=0°02'$                     | $\gamma_B=0°00'$                   | 29             | 310°50'                | $\delta_B=4°30'$                     | $\gamma_B=3°15'$                   |
| 15             | 359°59'                | $\delta_B=10°30'$                    | $\gamma_B=2°15'$                   | 30             | 55°25'                 | $\delta_3=3°40'$                     | $\gamma_3=0°40'$                   |

Примечание: з – западное, в – восточное.

### Пример решения

При решении этих задач по формулам, определяющим зависимость между углами ориентирования, рекомендуется для простоты и наглядности строить схематические чертежи, на них следует показать взаимное положение начальных направлений, от которых определяются углы ориентирования. Рис. 20–23 иллюстрируют решение задачи по следующим исходным данным: магнитный азимут равен  $A_M = 75^\circ 00'$ , склонение магнитной стрелки  $\delta_B = 3^\circ 00'$ , угол сближения меридианов  $\gamma_3 = 1^\circ 30'$ .

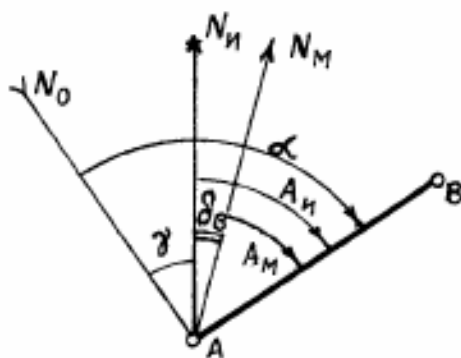


Рисунок 20 – Схема расположения направлений меридианов и углов между ними и заданным направлением АВ.

$N_0$  – северное направление осевого меридиана;

$N_{и}$  и  $N_{м}$  – северные направления истинного и магнитного меридианов;

$\gamma$  – сближение меридианов положительное, если начальная точка линии находится к востоку от осевого меридиана, и отрицательное – если к западу от него;

$\delta$  – склонение магнитной стрелки положительное (восточное), если северный конец магнитного меридиана будет отклонен от северного конца географического меридиана на восток, и отрицательное – если на запад

Из рисунка 20 видно, что склонение магнитной стрелки  $\delta_B$  и угол сближения меридианов  $\gamma$  расположен к западу от истинного меридиана, следовательно:

$$\alpha = A_M + \delta_B + \gamma = 75^\circ 00' + 3^\circ 00' + 1^\circ 30' = 79^\circ 30'.$$

Если магнитный азимут равен  $A_M=280^{\circ}00'$ , склонение магнитной стрелки  $\delta_3=3^{\circ}00'$ , угол сближения меридианов  $\gamma_B=1^{\circ}30'$ , то из рис. 21 видно, что склонение магнитной стрелки западное  $\delta_3$  и угол сближения меридианов  $\gamma$  расположен к востоку от истинного меридиана.

$$\alpha = A_M - (\delta_3 + \gamma) = 280^{\circ}00' - (3^{\circ}00' + 1^{\circ}30') = 275^{\circ}30'$$

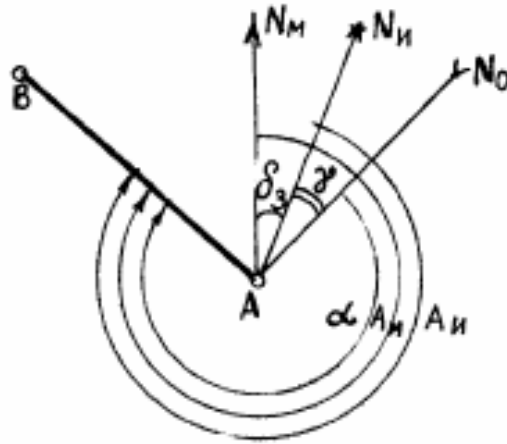


Рисунок 21 – Схема расположения направлений меридианов и углов между ними и заданным направлением AB

Если магнитный азимут равен  $A_M=110^{\circ}00'$ , склонение магнитной стрелки  $\delta_B=3^{\circ}00'$ , угол сближения меридианов  $\gamma_B=1^{\circ}30'$ , то из рис. 22 видно, что склонение магнитной стрелки восточное  $\delta_B$  и угол сближения меридианов  $\gamma$  расположен к востоку от истинного меридиана:

$$\alpha = A_M + \delta_B - \gamma = 110^{\circ}00' + 3^{\circ}00' - 1^{\circ}30' = 111^{\circ}30'.$$

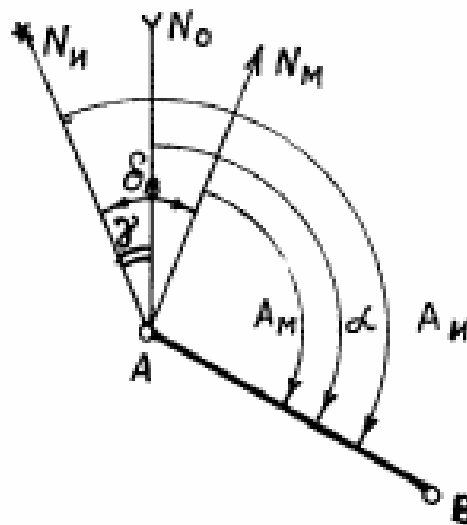


Рисунок 22 – Схема расположения направлений меридианов и углов между ними и заданным направлением AB

Наконец, если магнитный азимут равен  $A_M = 220^\circ 00'$ , склонение магнитной стрелки  $\delta_3 = 8^\circ 00'$ , угол сближения меридианов  $\gamma_3 = 1^\circ 30'$ , то из рис. 22 видно, склонение магнитной стрелки западное  $\delta_3$  и угол сближения меридианов  $\gamma_3$  расположен к западу от истинного меридиана:

$$\alpha = A_M - \delta_3 - \gamma = 220^\circ 00' - (8^\circ 00' - 1^\circ 30') = 213^\circ 30'.$$

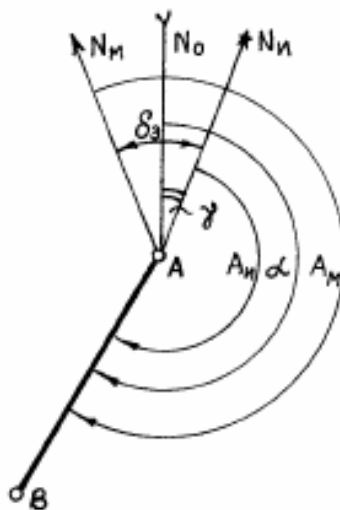


Рисунок 23 – Схема расположения направлений меридианов и углов между ними и заданным направлением АВ

### Задание 18

Определить дирекционные углы и румбы линий ВС и CD (рис. 24) по дирекционному углу линии АВ и измеренным углам  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , указанным в табл. 12.

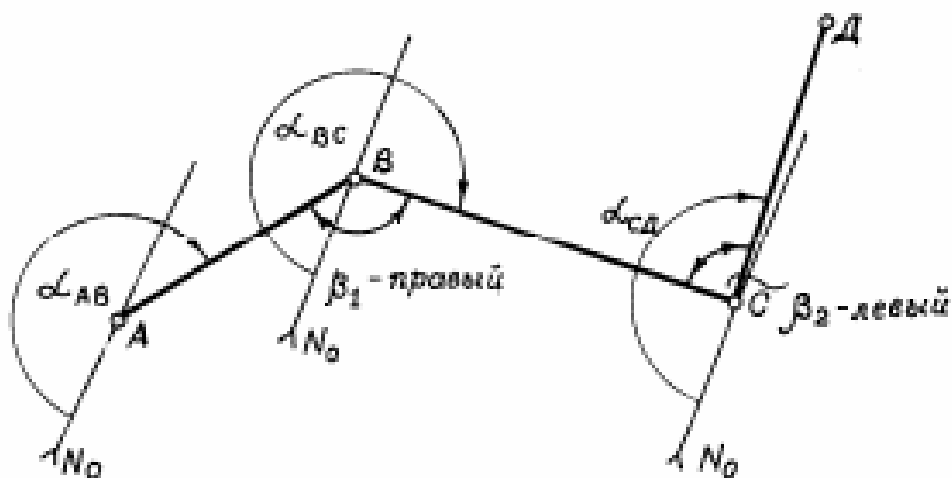


Рисунок 24 – Схема направлений теодолитного хода, дирекционных и внутренних углов

*Таблица 12 – Распределение дирекционных и внутренних углов по вариантам*

| Номер варианта | Дирекционный угол линии $\alpha_{AB}$ | Измеренные углы |           |
|----------------|---------------------------------------|-----------------|-----------|
|                |                                       | $\beta_1$       | $\beta_2$ |
| 1              | 138°25'                               | 45°38'          | 120°10'   |
| 2              | 16°42'                                | 121°10'         | 72°30'    |
| 3              | 94°18'                                | 75°13'          | 164°42'   |
| 4              | 100°33'                               | 155°34'         | 88°51'    |
| 5              | 152°47'                               | 172°13'         | 74°10'    |
| 6              | 0°20'                                 | 95°06'          | 119°45'   |
| 7              | 269°59'                               | 111°23'         | 47°53'    |
| 8              | 217°11'                               | 135°40'         | 171°10'   |
| 9              | 65°35'                                | 89°10'          | 124°41'   |
| 10             | 112°48'                               | 144°15'         | 58°54'    |
| 11             | 359°10'                               | 35°54'          | 178°11'   |
| 12             | 270°50'                               | 91°31'          | 110°13'   |
| 13             | 0°15'                                 | 153°01'         | 121°48'   |
| 14             | 180°03'                               | 183°18'         | 60°10'    |
| 15             | 300°24'                               | 206°16'         | 30°18'    |
| 16             | 87°15'                                | 132°40'         | 95°25'    |
| 17             | 245°30'                               | 88°15'          | 142°50'   |
| 18             | 312°45'                               | 210°30'         | 67°18'    |
| 19             | 55°20'                                | 175°40'         | 103°15'   |
| 20             | 198°55'                               | 92°25'          | 158°40'   |
| 21             | 276°10'                               | 145°50'         | 84°30'    |
| 22             | 35°40'                                | 63°15'          | 187°20'   |
| 23             | 164°25'                               | 205°10'         | 76°45'    |
| 24             | 290°50'                               | 118°35'         | 134°20'   |
| 25             | 78°30'                                | 99°55'          | 162°10'   |
| 26             | 223°15'                               | 156°40'         | 109°30'   |
| 27             | 14°20'                                | 248°45'         | 52°15'    |
| 28             | 182°40'                               | 74°25'          | 195°50'   |
| 29             | 337°55'                               | 102°30'         | 88°40'    |
| 30             | 125°10'                               | 167°20'         | 141°35'   |

### Пример решения

Пусть в качестве исходных данных послужат следующие: дирекционный угол  $\alpha_{AB}=160^\circ40'$ ,  $\beta_1=110^\circ20'$  и  $\beta_2=60^\circ40'$

В данном случае все направления углов правые, тогда дирекционный угол линии ВС равен дирекционному углу предыдущей линии АВ плюс  $180^\circ$  и за вычетом внутреннего угла  $\beta_1$ :

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} + 180^\circ - \beta_1 = 160^\circ40' + 180^\circ - 110^\circ20' = 230^\circ20'$$

Используя формулы пересчета дирекционные углы в румбы (рис. 7) румб линии ВС равен ЮЗ  $50^{\circ}20'$ .

Направление CD меняет ход с правого на левый, поэтому формула расчета дирекционного угла CD меняется. Дирекционный угол линии CD равен дирекционному углу предыдущей линии ВС минус  $180^{\circ}$  и плюс левый по ходу угол  $\beta_2$ .

$$\alpha_{CD} = \alpha_{BC} + \beta_{BC} - 180^{\circ} = 230^{\circ}20' + 60^{\circ}40' - 180^{\circ} = 111^{\circ}$$

По формулам рис. 7 румб CD составляет ЮВ  $69^{\circ}$ .

#### 1.4 Определение географических и прямоугольных координат

Математической основой карты является картографическая рамка и сетка прямоугольных координат (километровая сетка). Картографическая рамка (рис. 25) представлена изображениями меридианов, ограничивающих карту с запада и востока, и параллелей, ограничивающих её с севера и юга. Эти линии образуют трапецию, геодезические координаты вершин которой (широта В и долгота L) подписаны. Так, широта южной параллели карты (рис. 25) равна  $54^{\circ}40'$ , а долгота западного меридиана –  $18^{\circ}00'$ . Минутная рамка зарамочного оформления представляет собой чередующиеся чёрные и светлые отрезки (проекции односторонних дуг меридиана и параллели). Они позволяют при необходимости построить картографическую сетку. Деление минут на 10–секундные интервалы точками позволяет, при необходимости, её сгустить и обеспечивает секундную точность определения геодезических координат.

Километровая сетка – это система линий, параллельных координатным осям зоны, в которой расположена карта. Их оцифровка в километрах даётся за рамкой трапеции, причём абсцисс – вдоль западной и восточной ее сторон, ординат – вдоль северной и южной. Полные координаты по оси X подписываются только на выходах южной и северной линий сетки, а по оси Y – западной и восточной линий. Например, для карты масштаба 1:25 000 (рис. 25) координаты X южной и северной линий сетки соответственно равны 6065 и 6073 км, Y западной и восточной линий – 4307 и 4314 км (на рис. 2.1 не показана). Остальные линии подписываются двумя последними цифрами. Необходимо

помнить, что первая цифра ординаты – это номер зоны, в которой находится точка.

Прежде всего, заметим, что на результатах определения координат и высоты точки не сказывается то, что масштаб распечатки не соответствуют масштабу карты. Это же относится и к определению направлений линий.

### У-34-37-В-В (снoв)

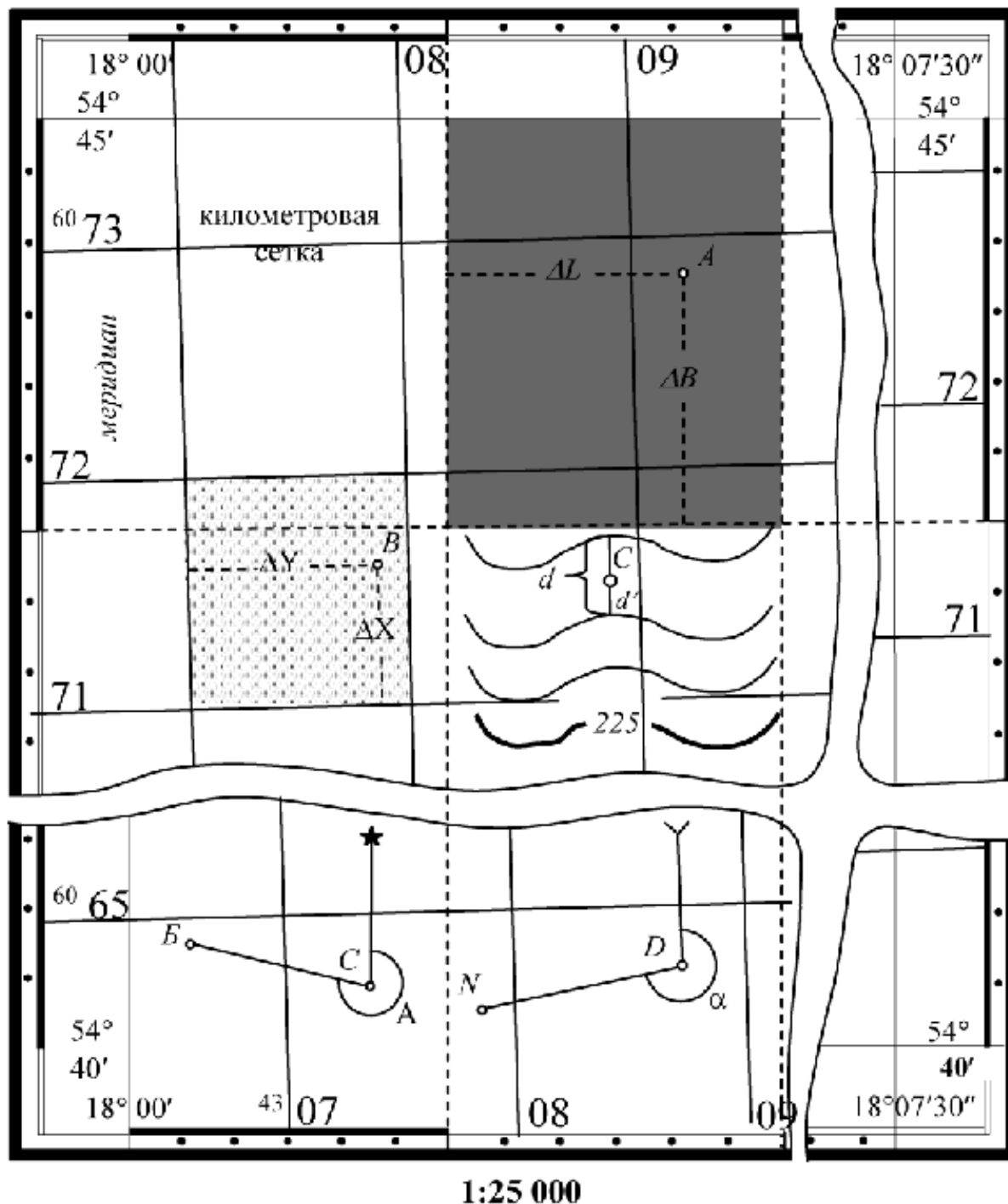


Рисунок 25 – Фрагмент учебной карты

Геодезическую широту  $B$  и долготу  $L$  точки  $A$  вычисляют по формулам:

$$L = L_0 + k_2 + \Delta L, \quad (16)$$

$$B = B_0 + k_1 + \Delta B, \quad (17)$$

где  $B_0, L_0$  – геодезические координаты юго–западного угла карты;

$k_1$  – число целых минутных отрезков между указанным выше углом и юго–западным углом минутной трапеции вдоль меридиана;

$k_2$  – число целых минутных отрезков между указанным выше углом и юго–западным углом минутной трапеции вдоль параллели;

$\Delta B$  и  $\Delta L$  – приращения геодезических координат относительно юго–западного угла минутной трапеции.

Для решения задачи нужно построить минутную трапецию, внутри которой и должна находиться точка  $A$ , и скопировать трапецию с точкой на лист бумаги (кальки) (рис. 26–а). На рисунке 26–а трапеция показана серым цветом. Раствор измерителя устанавливают равным отрезку  $\Delta B$ , между точкой и южной рамкой одномоментной трапеции, и прикладывают к западной (или восточной) минутной рамке карты. Одну иглу измерителя при этом располагают на любой точке  $10''$  интервала и отсчитывают число таких интервалов до другой иглы с точностью до 0,1. То есть приращение определяют с точностью в  $1''$ . Аналогично определяют значение  $\Delta L$  отрезка, но использовать следует северную или южную рамки.

В примере на рисунках 25 и 26–а для точки  $A$  – широта  $B_0 = 54^\circ 40'$ ,  $k_1 = 4$ ,  $\Delta B = 36''$ ,  $L_0 = 18^\circ 00'$ ,  $k_2 = 1$ ,  $\Delta L = 42''$ , поэтому  $B = 54^\circ 44' 36''$ ,  $L = 18^\circ 01' 42''$ .

Рядом с чертежом, полученным при выполнении предыдущего задания, на бумагу (рис. 26–б) переносят точку  $B$  и квадрат километровой сетки (на рис. 25 показан точечной штриховкой), в котором она расположена. По оцифровке определяют координаты  $X_0, Y_0$  юго–западного угла квадрата. Последовательно на циркуле–измерителе откладывают приращения координат относительно юго–западного угла квадрата километровой сетки. По линейному масштабу, который расположен под южной рамкой карты, определяют значения приращений  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  в метрах. После этого вычисляют прямоугольные координаты точки по формуле:

$$X = X_0 + \Delta X; \quad (18)$$

$$Y = Y_0 + \Delta Y. \quad (19)$$

Из примера, приведённого на рисунке 26–б, следует:  $X_0 = 6071$  км,  $Y_0 = 4307$  км,  $\Delta X = 610$  м,  $\Delta Y = 870$  м, поэтому  $X = 6071,610$  км,  $Y = 4307,870$  км.

Точка В расположена в 4–й зоне (об этом говорит первая цифра её ординаты) на расстоянии 192,130 км к западу от осевого меридиана, ордината которого без учёта зоны равна 500 км.

### Задание 19

Используя учебную карту «Андрополь» У–42–73–В–в и объекты своих вариантов задания №10 определите географические и прямоугольные координаты широты и долготы.

## 1.5 Решение прямой и обратной геодезической задачи

Даны координаты первой точки ( $X_1$  и  $Y_1$ ), горизонтальное расстояние от первой до второй точки  $d_{1-2}$  и дирекционный угол  $\alpha_{1-2}$  линии 1–2 (рис. 26). Требуется определить координаты точки 2 ( $X_2$  и  $Y_2$ ).

Из линии 1–2 (рис. 26) находим приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$ .

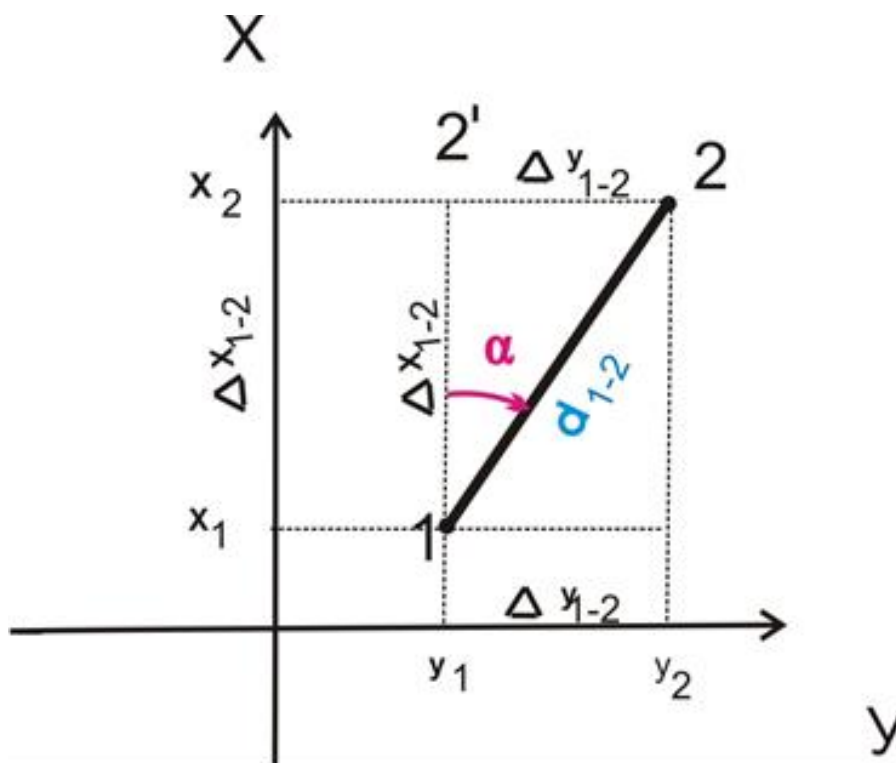


Рисунок 26 – Графическое решение прямой геодезической задачи

Координаты точки 2 находим по формулам:

$$X_2 = X_1 + \Delta X; \quad (20)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y. \quad (21)$$

Например, даны координаты точки 1 (рис. 27), дирекционный угол направления 1–2, и расстояние (горизонтальное проложение) между точками 1 и 2. ( $X_1 = +80,0$  м;  $Y_1 = +150,0$  м;  $\alpha_{1-2} = 50^\circ 06'$ ,  $d_{1-2} = 100,5$  м). Требуется определить координаты точки 2 ( $X_2$ ;  $Y_2$ ).

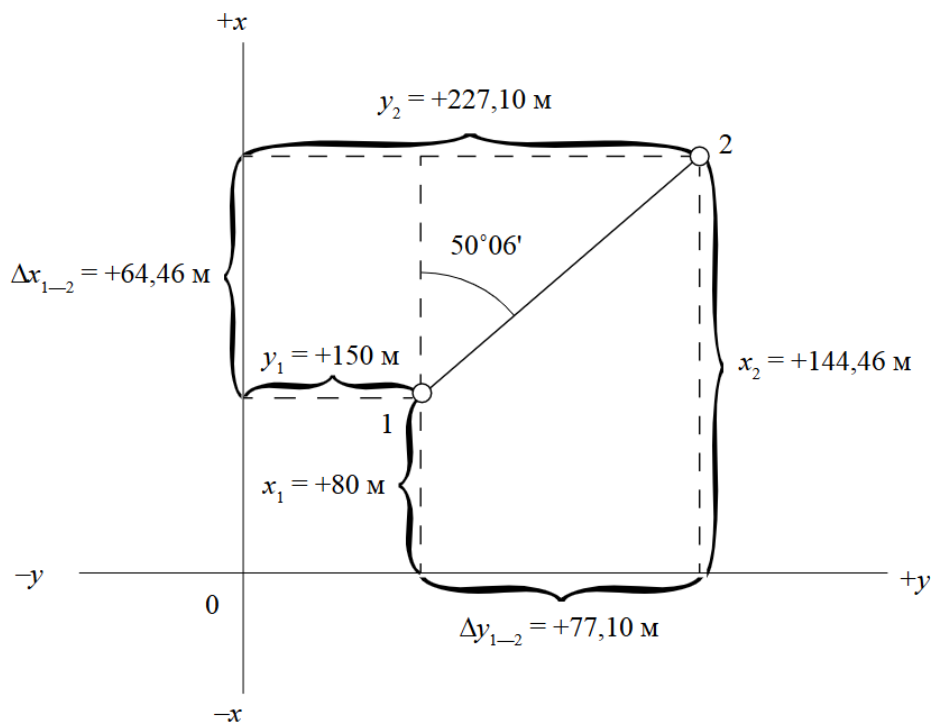


Рисунок 27 – Пример графического решения прямой геодезической задачи

Для удобства расчета переведем дирекционный угол из шестидесятеричной системы в десятиричную, деля минуты на 60 и к полученному результату прибавляя величину градусов:

$$50 + \frac{6}{60} = 50,1^\circ.$$

Дальнейшие расчеты проводит с использованием калькулятора в режиме DEG.

Определим приращения координат линии 1–2:

$$\Delta X_{1-2} = d_{1-2} \times \cos \alpha_{1-2} = 100,5 \times \cos(50,1^\circ) = 64,466 \text{ м.}$$

$$\Delta Y_{1-2} = d_{1-2} \times \sin \alpha_{1-2} = 100,5 \times \sin(50,1^\circ) = 77,1 \text{ м.}$$

Приращения координат по осям X и Y имеют положительные значения, так как дирекционный угол отвечает первой четверти.

Определяем координаты точки 2 по формулам:

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2} = 80 + 64,466 = 144,466 \text{ м.}$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2} = 150 + 77,1 = 227,1 \text{ м.}$$

Проведем контроль измерений:

$$\Delta Y \times \sin \alpha + \Delta X \times \cos \alpha = S$$

$$64,466 \times \sin(50,1^\circ) + 227,1 \times \cos(50,1^\circ) = 100,5 \text{ м.}$$

Условие контроля выполнено!

## Задание 20

Найдите координат точки 2 по данным табл. 13.

*Таблица 13 – Исходные данные решения прямой геодезической задачи*

| №  | Координаты точки I, м |         | Дирекционные углы,<br>$\alpha^\circ '$ | Горизонтальное<br>проложение d, м |
|----|-----------------------|---------|----------------------------------------|-----------------------------------|
|    | $X_I$                 | $Y_I$   |                                        |                                   |
| 1  | 100,4                 | 60,3    | 135°00'                                | 160,60                            |
| 2  | –100                  | –100    | 182°54'                                | 149,4                             |
| 3  | –100                  | 100     | 0°51'                                  | 123,15                            |
| 4  | –7                    | 7       | 109°28'                                | 241,00                            |
| 5  | 115                   | 115     | 267°41'                                | 262,79                            |
| 6  | 0                     | 0       | 176°32'                                | 273,3                             |
| 7  | –100                  | –100    | 135°00'                                | 160,6                             |
| 8  | –0,22                 | –0,22   | 182°54'                                | 149,40                            |
| 9  | –0,31                 | 0       | 0°51'                                  | 123,15                            |
| 10 | 0,21                  | 0       | 109°28'                                | 241,00                            |
| 11 | –100                  | 100     | 267°41'                                | 262,79                            |
| 12 | 54,18                 | –13,46  | 34°12'                                 | 125,16                            |
| 13 | –110,11               | 16,39   | 57°31'                                 | 134,22                            |
| 14 | –220,37               | –105,3  | 102°13'                                | 156,07                            |
| 15 | 110,35                | 28,55   | 151°07'                                | 86,12                             |
| 16 | 85,24                 | –42,17  | 215°43'                                | 187,35                            |
| 17 | –63,89                | 128,44  | 78°19'                                 | 204,67                            |
| 18 | 150,02                | –95,31  | 302°56'                                | 142,88                            |
| 19 | –180,75               | –45,62  | 45°12'                                 | 225,41                            |
| 20 | 37,91                 | 210,58  | 247°34'                                | 168,93                            |
| 21 | –92,44                | 73,19   | 124°08'                                | 195,26                            |
| 22 | 134,67                | 48,92   | 352°47'                                | 112,74                            |
| 23 | –55,38                | –132,05 | 168°22'                                | 237,19                            |
| 24 | 201,53                | –27,84  | 83°51'                                 | 176,45                            |
| 25 | –145,29               | 189,76  | 291°15'                                | 253,82                            |
| 26 | 68,41                 | –175,33 | 14°39'                                 | 139,57                            |
| 27 | –210,64               | 52,18   | 229°48'                                | 284,31                            |
| 28 | 94,77                 | 143,25  | 186°03'                                | 158,94                            |
| 29 | –78,56                | –88,42  | 337°26'                                | 217,63                            |
| 30 | 122,35                | 105,89  | 62°59'                                 | 191,28                            |

### Решение обратной геодезической задачи

В случаях, когда известны координаты точек и требуется определить расстояние между ними, направление румба и дирекционного угла, решение сводится к обратной геодезической задаче.

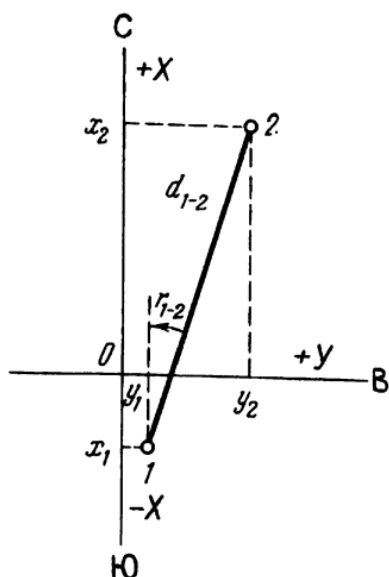


Рисунок 28 – Схема решения обратной геодезической задачи

Тогда приращение координат определяем по формуле:

$$\Delta X = X_2 - X_1; \quad (22)$$

$$\Delta Y = Y_2 - Y_1 \quad (23)$$

При расчете приращений следует определить направление движения и из координат точки конца отрезка вычесть координаты начала. В данном случае, из координат точки 2 вычитаются координаты точки 1.

На следующем этапе определяется величина тангенса румба направления 1–2:

$$\tan r_{1-2} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (24)$$

Определяем величину румба в градусах:

$$r_{1-2} = \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (25)$$

В зависимости от знака приращений определяем принадлежность румба к соответствующей четверти (рис. 7).

Величину румба в десятичных долях градуса переводим в шестидесятеричную систему (в градусы, минуты и секунды), умножая остаток от целого числа на 60. И записываем полное значение румба с учетом четверти. Зная величину румба, по формулам (рис. 7) рассчитываем величину дирекционного угла  $\alpha_{1-2}$ .

Наконец, определяем величину горизонтального проложения  $d_{1-2}$  по формулам:

$$d'_{1-2} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{1-2}}; \quad (26)$$

$$d''_{1-2} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{1-2}}; \quad (27)$$

$$d_{1-2} = \frac{d'_{1-2} + d''_{1-2}}{2}. \quad (28)$$

Например, определить расстояние и величину дирекционного угла направления I–II, если известны координаты вершин I (5,64;–1,51), II (–2,72;0,24).

Решение представим в таблице (табл. 14).

*Таблица 14 – Решение обратной геодезической задачи*

| №  | Показатель                          | Формула                                            | Результат    |
|----|-------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------|
| 1  | Координата $X_I$ , м                | $X_I$                                              | 5,64         |
| 2  | Координата $X_{II}$ , м             | $X_{II}$                                           | 2,72         |
| 3  | Приращение координат $\Delta X$ , м | $\Delta X = X_{II} - X_I$                          | –8,36        |
| 4  | Координата $Y_I$ , м                | $Y_I$                                              | –1,51        |
| 5  | Координата $Y_{II}$ , м             | $Y_{II}$                                           | 0,24         |
| 6  | Приращение координат $\Delta Y$ , м | $\Delta Y = Y_{II} - Y_I$                          | 1,75         |
| 7  | Тангенс румба                       | $\tan r_{I-II} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$        | 0,2093       |
| 8  | Румб (в градусах)                   | $\arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}$                 | 11.8214      |
| 9  | Четверть румба                      | по знакам приращений $\Delta X$ и $\Delta Y$       | ЮВ           |
| 10 | Румб                                | $r_{I-II}^{\circ ' ''}$                            | ЮВ 11°49'17" |
| 11 | Дирекционный угол                   | $\alpha_{I-II}^{\circ ' ''}$                       | 168°10'43"   |
| 12 | Горизонтальное проложение, м        | $d'_{I-II} = \frac{\Delta X}{\cos \alpha_{I-II}}$  | 8,539        |
| 13 | Горизонтальное проложение, м        | $d''_{I-II} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha_{I-II}}$ | 8,543        |
| 14 | Горизонтальное проложение, м        | $d_{I-II} = \frac{d'_{I-II} + d''_{I-II}}{2}$      | 8,541        |

## Задание 21

Решить обратную геодезическую задачу по вариантам (табл. 15).

*Таблица 15 – Варианты исходных данных для решения обратной геодезической задачи*

| №  | Координаты исходной точки |         | Координаты конечной точки |         |
|----|---------------------------|---------|---------------------------|---------|
| 1  | 200,00                    | 300,00  | 305,60                    | 406,53  |
| 2  | 250,00                    | 340,00  | 382,13                    | 411,01  |
| 3  | 160,00                    | 918,00  | 73,13                     | 967,53  |
| 4  | 90,00                     | 359,83  | 389,00                    | 340,00  |
| 5  | 117,51                    | 391,74  | 305,40                    | 440,05  |
| 6  | 305,40                    | 440,05  | 337,67                    | 237,61  |
| 7  | 828,75                    | 439,75  | 708,98                    | 606,12  |
| 8  | 740,25                    | 520,13  | 940,92                    | 283,84  |
| 9  | 690,82                    | 449,18  | 994,61                    | 387,42  |
| 10 | 1157,65                   | 456,69  | 762,84                    | 520,89  |
| 11 | 762,84                    | 520,89  | 1238,46                   | 456,22  |
| 12 | 1438,52                   | 888,31  | 930,25                    | 930,25  |
| 13 | 930,25                    | 930,25  | 1527,64                   | 986,11  |
| 14 | 830,45                    | 910,15  | 1190,96                   | 1083,46 |
| 15 | 1513,96                   | 1325,87 | 830,45                    | 910,15  |
| 16 | 425,18                    | 512,37  | 587,44                    | 631,92  |
| 17 | 189,63                    | 742,05  | 98,21                     | 603,48  |
| 18 | 673,94                    | 215,86  | 842,37                    | 398,15  |
| 19 | 328,5                     | 891,24  | 476,83                    | 724,59  |
| 20 | 554,72                    | 403,18  | 389,45                    | 527,63  |
| 21 | 712,39                    | 156,94  | 598,27                    | 342,81  |
| 22 | 245,86                    | 678,32  | 412,59                    | 501,74  |
| 23 | 893,47                    | 329,65  | 721,18                    | 486,93  |
| 24 | 167,25                    | 248,91  | 356,74                    | 183,46  |
| 25 | 502,83                    | 764,29  | 638,41                    | 592,17  |
| 26 | 384,56                    | 437,82  | 219,34                    | 573,45  |
| 27 | 629,71                    | 195,38  | 487,26                    | 368,94  |
| 28 | 753,42                    | 526,19  | 891,87                    | 347,62  |
| 29 | 298,65                    | 814,73  | 442,18                    | 659,27  |
| 30 | 576,34                    | 283,95  | 418,79                    | 467,31  |

### 1.6 Определение абсолютной высоты точки

*Абсолютная высота точки* – это расстояние от неё до уровенной поверхности, принятой за начало счёта высот, определяемое вдоль отвесной линии. В нашей стране абсолютные высоты отсчитывают от

Кронштадтского нормального нуля в системе счёта высот «Балтийская-77».

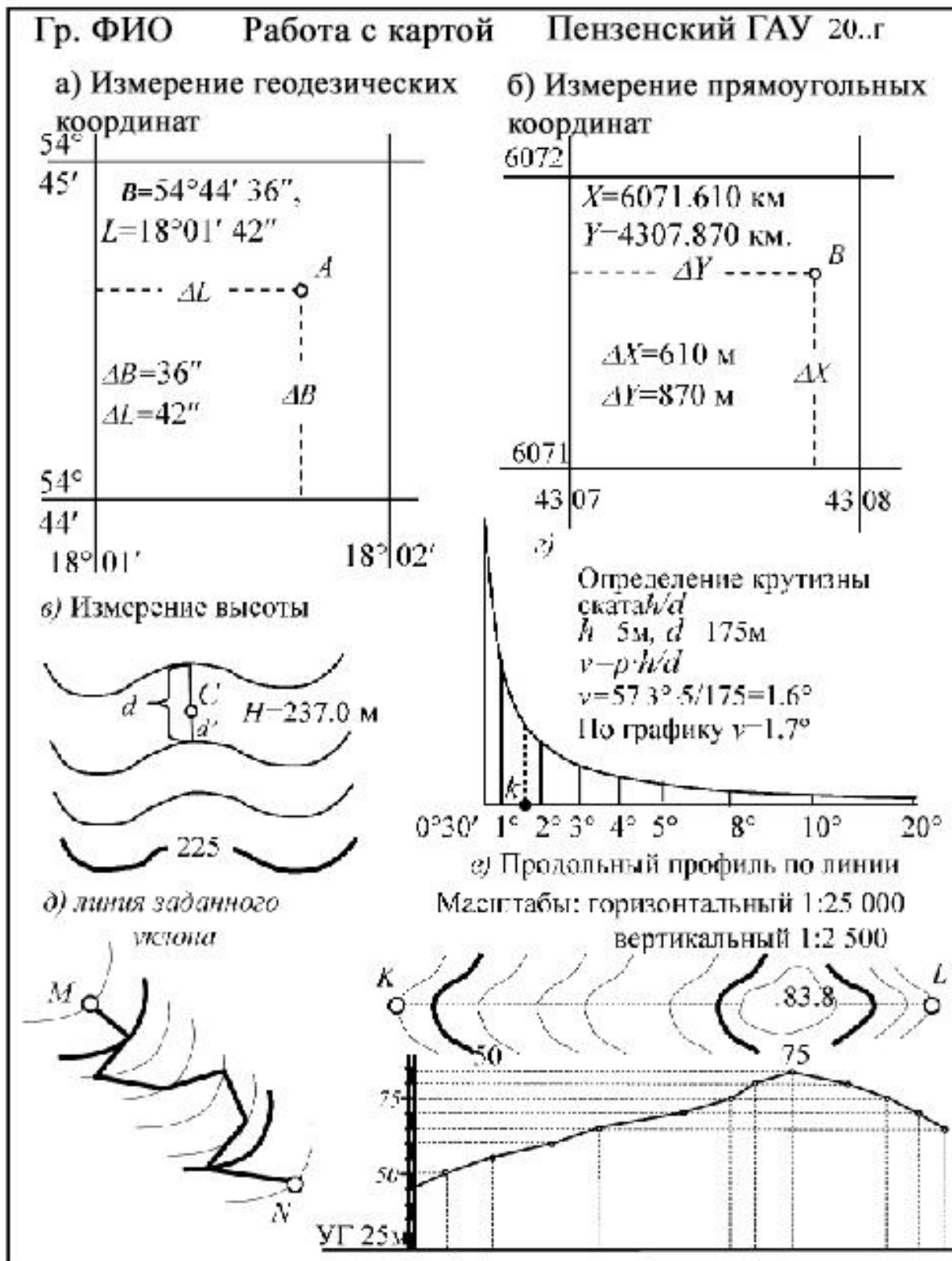


Рисунок 29 – Пример оформления работы по дисциплине

Для определения высоты на кальку переносят заданную на карте точку, например С (рис. 29–в), и горизонтали, между которыми она располагается. Исходя из принятой для карты высоты сечения рельефа, направления ската и подписанных на карте высотных отметок, находят высоты горизонталей, ограничивающих точку. Измеряют кратчайшее расстояние  $d$  между смежными горизонталями, называемое заложением, и отрезок  $d'$  от точки до горизонтали с наименьшей высотной отметкой  $H_0$ . Искомую высоту  $H$  точки С вычисляют по формуле

$$H = H_0 + \frac{hd'}{d} \quad (29)$$

где  $h$  – принятая на карте высота сечения рельефа (5 м).

Отношение  $d'/d$  разрешается оценивать и на глаз с точностью до 0,1 – тогда высота будет определена с точностью до 0,5 м. На рисунках 25 и 26–в  $H_C = 237,0$  м.

## Задание 22

Используя учебную карту «Андрополь» У–42–73–В–в, определите абсолютную высоту следующих объектов:

1. Отдельное строение «Динская» в квадрате 53–02, памятник в квадрате 55–04, мост через канал Муша в квадрате 56–04
2. Лесопильный завод в квадрате 57–09, трансформаторная будка в квадрате 55–08, сарай в квадрате 53–07
3. Лесничество Рупорт (квадрат 54–06), сарай (квадрат 55–07), трансформаторная будка в квадрате 55–08.
4. Трансформаторная будка в квадрате 54–09, трансформаторная будка в квадрате 55–08, школа в квадрате 57–08.
5. Школа в квадрате 57–08, лесопильня в квадрате 57–09, водяная мельница (квадрат 57–07).
6. Водяная мельница (квадрат 57–07), сарай (квадрат 58–06), мебельная фабрика (квадрат 60–05).
7. Сарай (квадрат 58–06), сарай (квадрат 60–07), молочный завод (квадрат 60–06).
8. Молочный завод (квадрат 60–06), сарай (квадрат 58–06), церковь / часовня (квадрат 57–05).
9. Церковь/часовня (квадрат 57–05), сарай (квадрат 56–08), кирпичный завод (квадрат 55–07).

10. Сарай (квадрат 56–04), памятник (квадрат 55–04), отдельное строение «Динская» (квадрат 53–02).

11. Отдельное строение «Динская» в квадрате 53–02, памятник в квадрате 53–05, памятник (квадрат 55–04).

12. Памятник (квадрат 60–02), отдельное строение «Неромы» (квадрат 61–03), родник (квадрат 61–05).

13. Родник (квадрат 61–05), памятник (квадрат 61–06), школа (квадрат 61–08).

14. Трансформаторная будка (квадрат 60–07), лесопильня (квадрат 60–06), школа (квадрат 61–08).

15. Ветряная мельница (квадрат 61–02), родник (квадрат 61–05), памятник (квадрат 61–06).

### 1.7 Измерение крутизны ската

*Крутизна ската* – это угол  $\nu$  в вертикальной плоскости, образуемый направлением ската в данной точке и его горизонтальной проекцией (рис. 30).

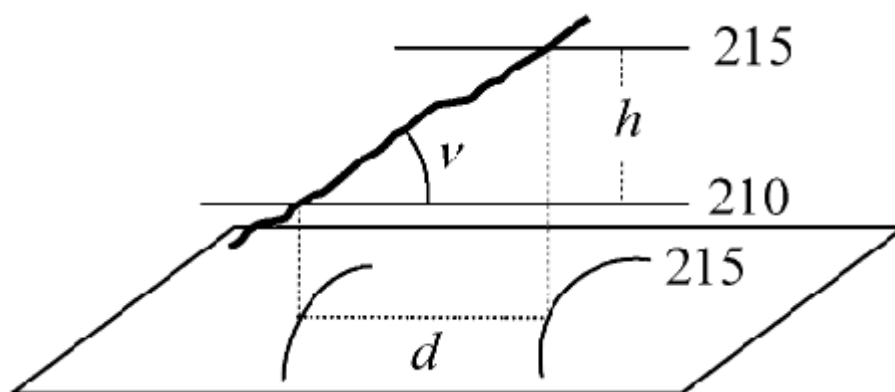


Рисунок 30 – Крутизна склона и заложение

Решить задачу с точность до  $0,1^\circ$  можно двумя способами.

1. Вычислить по формуле:

$$\nu = \arctg \frac{h}{d} \approx \frac{h}{d} \rho^\circ, \quad (30)$$

где  $\rho^\circ$  – число градусов в радиане,

$\rho^\circ = 57,3^\circ$ ;

$d$  – заложение, м.

Заложение  $d$  при этом измеряют с помощью измерителя по линейному масштабу на карте.

2. Определить крутизну ската по графику масштаба заложений (рис. 26–г), который приводится под южной рамкой карты справа. Для этого раствор циркуля–измерителя устанавливают равным  $d$  и перемещением конца одной из иглоек вдоль графика добиваются, чтобы конец второй иглойки оказался на его горизонтальной линии. При перемещении линия, соединяющая концы иглоек, должна располагаться вертикально. Точка  $K$  – это индекс для взятия отсчёта по шкале графика, что и выполняется с оценкой десятых долей градуса «на глаз». На рисунке 26–г  $\nu = 1,6^\circ$  из вычислений и  $\nu = 1,7^\circ$  по графику масштаба заложений. Различаться результаты могут не более чем на  $0,3^\circ$ .

### **Задание 23**

Используя данные задания №22 определите уклон между объектами своего варианта.

## **1.8 Построение продольного профиля рельефа**

Продольный профиль по линии, заданной на топографической карте, строят в масштабах: горизонтальный – 1:25 000, вертикальный – 1:2 500. Вертикальный масштаб устанавливают в 10 раз крупнее горизонтального, чтобы профиль стал более выразительным (рис. 29–е).

Для построения нужно перенести с задания точки и горизонтали, расположенные между ними, с учётом коэффициента  $K$  (о нем указано в начале учебного пособия). То есть изображение нужно растянуть (или сжать) для того, чтобы горизонтальный масштаб равнялся 1:25 000.

Слева следует построить шкалу высот, предварительно выбрав *условный горизонт*. Это число, кратное 25 м и выбранное таким образом, чтобы профиль оказался между линией условного горизонта и скопированными горизонталями. Для выбора указанного числа, полезно использовать максимальную и минимальную высоты горизонталей, пересекающих отрезок между крайними точками профиля. Линия условного горизонта проводится параллельно отрезку, соединяющему крайние точки.

Нужно также учитывать, что на шкале высот 1 см соответствует 25 м. На ней следует нанести деления через 2 мм (соответствуют 5 м). Положение точки на профиле будет пересечением горизонтального

отрезка с высотой горизонтали и вертикального – проходящего через эту горизонталь. Полученные точки следует соединить линией без сглаживания.

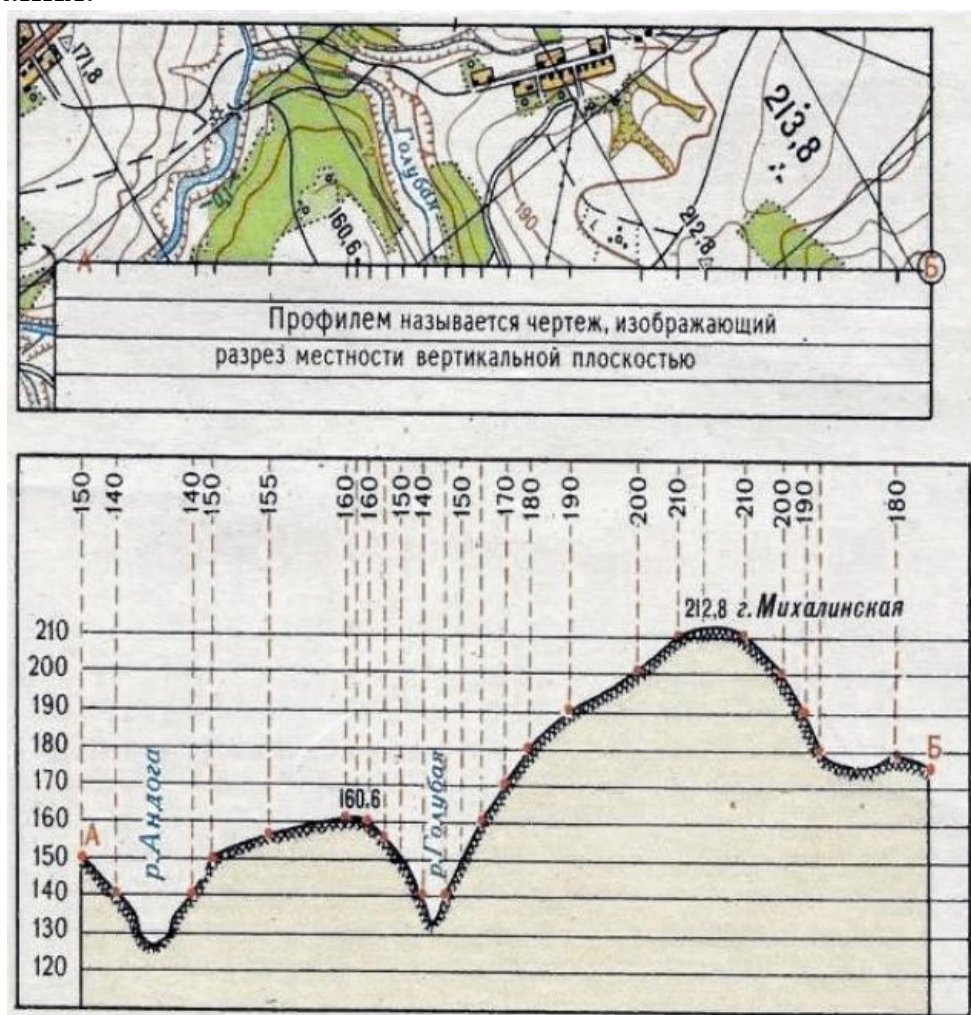


*Рисунок 31 – Построение профиля местности*

Приложите бумагу к отрезку, вдоль которого будет строиться профиль. Отмечайте начало и конец отрезка, а также все горизонталы на бумаге засечками (рис. 31). В случае, если горизонтальный масштаб профиля совпадает с масштабом карты, перенесите засечки на горизонтальную ось профиля.

На вертикальной оси (рис. 31) отметьте положение начала и конца профиля, горизонталей и всей объектов, значимых для изображения (это реки, абсолютные высоты, ручьи и пр.). Далее плавной линией постройте профиль в соответствии с требованиями, описанными выше.

## Задание 24

Используя данные задания 15 постройте продольные профили по линиям объектов своего варианта, указав их положение на профиле.

### 1.9 Построение линии заданного уклона

Построение на плане линии заданного уклона. На плане масштабom 1:25 000 с высотой сечения рельефа  $h = 5$  м из точки А построить линию с уклоном  $i = 8,0\%$ . Решение этой задачи сводится к определению горизонтального проложения(заложения) на плане  $d$ . Горизонтальное проложение на местности  $d$  определяют по формуле

$$d = \frac{h}{i} = \frac{5}{0.008} = 625 \text{ м.}$$

Горизонтальное проложение на плане масштаба 1:25 000 равно

$$D = 625 \text{ м} \div 250 \text{ м} = 2,5 \text{ см.}$$

Раствором измерителя равным 2,5 см делаем засечки на смежных горизонталях в заданном направлении. Прямая, соединяющая точки А и В, и будет линия заданного уклона (рис. 32)

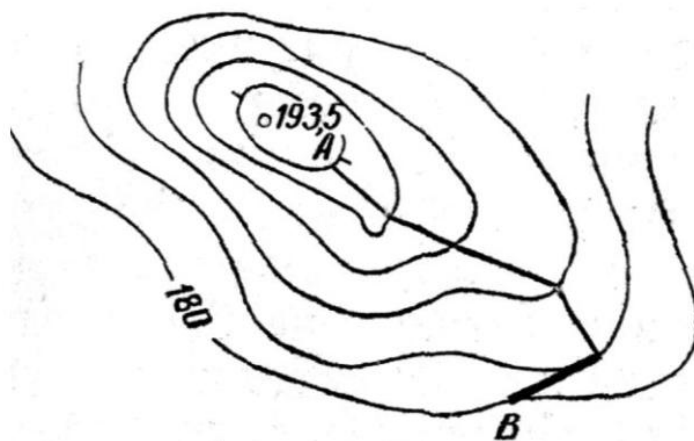


Рисунок 32 – Построение линии с заданным уклоном

### Задание 25

Определить заложение на плане по данным табл. 16

Таблица 16 – Варианты распределения масштабов, уклонов и заложений

|                   |       |        |        |        |        |         |         |         |
|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Вариант           | 1     | 2      | 3      | 4      | 5      | 6       | 7       | 8       |
| Масштаб           | 1:500 | 1:1000 | 1:2000 | 1:2500 | 1:5000 | 1:10000 | 1:20000 | 1:25000 |
| Заложение $h$ , м | 0,25  | 0,5    | 1,0    | 2,0    | 2,5    | 5,0     | 10,0    | 10,0    |
| Уклон $i$ , %     | 12    | 15     | 8      | 20     | 13     | 15      | 18      | 20      |

### 1.10 Определение на плане с горизонталями линий водотока, водоразделов, максимальной длины склонов, высоты и площади затопления

*Водосборной площадью, или бассейном*, называется площадь земной поверхности, с которой вода стекает к данному пункту водотока.

Границей бассейна водотока является *водораздельная линия*. Эта линия проходит по самым высоким точкам рельефа местности, отделяя бассейн одного водотока от другого. Определение границ бассейнов необходимо для расчетов при строительстве плотин, мостов и других сооружений.

Для определения водосборной площади по карте с горизонталями надо на карте наметить границу площади водосбора.

Границу площади водосбора проводят от заданного пункта водотока перпендикулярно горизонталям, а затем по высоким точкам *хребтов (водоразделам)* и *седловинам*.

Пример. Требуется определить границы и площадь бассейна реки для строительства плотины по створу, намеченному на рисунке 33.

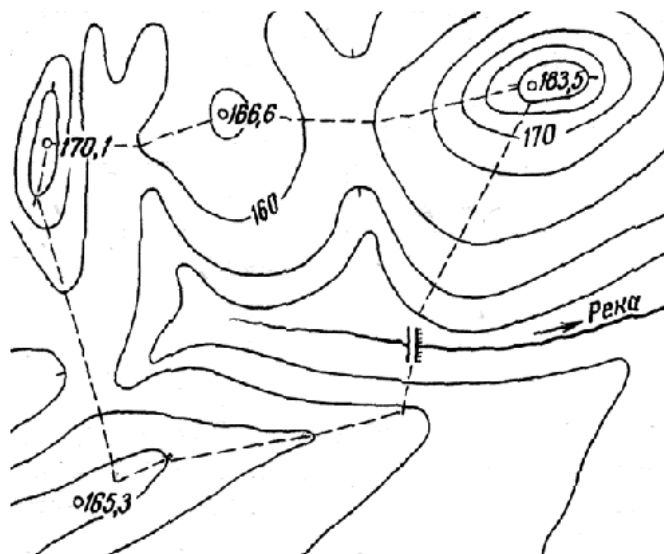


Рисунок 33 – Определение границ и площади бассейна водотока

От заданного пункта водотока проводят водораздельную линию. Она проходит по хребту на северо–восток, к высоте с отметкой 183,5 м, затем поворачивает на запад, пересекает седловину, подходит к высоте с отметкой 166,6 м, пересекает следующую седловину и подходит к высоте с отметкой 170,1 м. Отсюда водораздельная линия поворачивает на юго–восток, пересекает седловину и подходит к высоте с отметкой 165,3 м. От этой высоты линия поворачивает на северо–восток и проходит по хребту. Замыкающая линия опускается к заданному пункту перпендикулярно горизонталям.

Определение площади бассейна может быть найдена одним из способов измерения площадей на топографической карте (см. следующую тему).

### **Задание 26**

По фрагменту учебной карты М 1:1000 определить водосбор оврагов, пронумеровав их справа налево. Выделить красным цветом водоразделы и синим цветом линию тальвега.

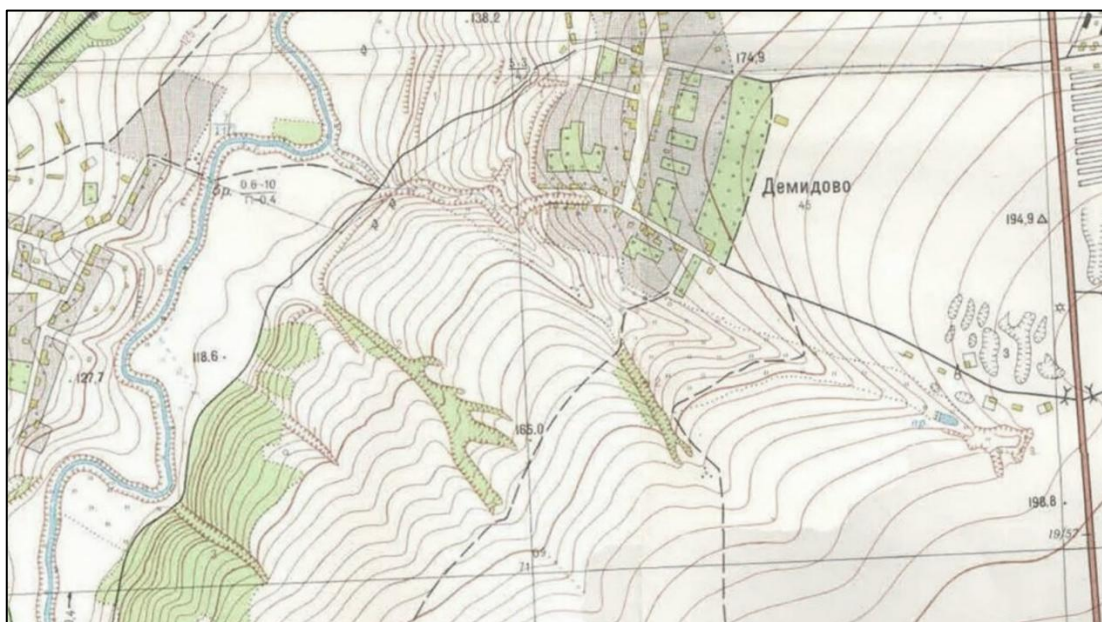


*Рисунок 34 – Фрагмент учебной карты «Ивановка» У–34–37–В–в–1*

## **1.11 Измерение площадей на топографических картах**

Различают следующие способы измерения площади объекта на картах и планах:

– аналитический – применяют при автоматизированном вычислении площади по известным прямоугольным координатам точек X и Y;

- графический – с помощью разнообразных палеток;
- геометрический по формулам простейших геометрических фигур;
- механический с использованием полярных планиметров.

*Аналитический метод измерения площади.*

Выполнение задания.

1. Вычислить площадь заданного участка на карте аналитическим способом по формулам:

$$2P = \sum_{i=1}^n X_i(Y_{i+1} - Y_{i-1}); \quad (31)$$

$$2P = \sum_{i=1}^n Y_i(X_{i-1} - X_{i+1}). \quad (32)$$

Расчет ведется в специальной ведомости (табл. 13). Особо следует обращать внимание на подсчет разностей, на знак каждого значения. При этом следят, чтобы выполнялся контроль вычисления разностей ( $Y_{i-1} - Y_{i+1}$ ) и ( $X_{i+1} - X_{i-1}$ ): их сумма должна быть равна нулю. При подсчете суммы в двух последних столбцах получается двойная площадь фигуры, контролем служит полное совпадение результатов. При соблюдении контроля сумму делят пополам, получается площадь фигуры. Если результат получился со знаком ми-нус, величину площади берут по модулю, просто обход фигуры был выбран неудачно (оцифровку можно выполнять по часовой стрелке или наоборот).

*Таблица 17 – Ведомость вычисления площади аналитическим способом*

| Вершина                         | Координаты, м  |                | Разности, м                         |                                     | Произведения, м <sup>2</sup>                          |                                                       |
|---------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                 | X <sub>i</sub> | Y <sub>i</sub> | Y <sub>i+1</sub> - Y <sub>i-1</sub> | X <sub>i-1</sub> - X <sub>i+1</sub> | X <sub>i</sub> (Y <sub>i+1</sub> - Y <sub>i-1</sub> ) | Y <sub>i</sub> (X <sub>i-1</sub> - X <sub>i+1</sub> ) |
| 1                               | 2              | 3              | 4                                   | 5                                   | 6                                                     | 7                                                     |
| 1                               |                |                |                                     |                                     |                                                       |                                                       |
| 2                               |                |                |                                     |                                     |                                                       |                                                       |
| ...                             |                |                |                                     |                                     |                                                       |                                                       |
| n                               |                |                |                                     |                                     |                                                       |                                                       |
| <i>i – текущая вершина</i>      |                |                | Σ=                                  | Σ=                                  | Σ[2P]=                                                | Σ[2P]=                                                |
| <i>i-1 – предыдущая вершина</i> |                |                |                                     |                                     | P <sub>1</sub> =                                      | P <sub>2</sub> =                                      |
| <i>i+1 – следующая вершина</i>  |                |                |                                     |                                     |                                                       |                                                       |

Для оценки точности определения площади воспользуемся достаточно простой формулой:

$$m_p = m_t \sqrt{P}, \quad (33)$$

где  $m_t$  – средняя квадратическая погрешность положения межевых знаков (столбов, определяющих границу земель);

$P$  – площадь участка,  $\text{м}^2$ .

Численные значения  $m_t$  уже определены Инструкцией по межеванию земель для разных градаций земель (табл. 18).

*Таблица 18 – Точностные характеристики межевания земель*

| Номер градации | Градация земель                                                         | Средняя квадратическая погрешность положения межевого знака (СКП), м |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1.             | Земли городов и другие земли в черте города                             | 0,1                                                                  |
| 2.             | Земли сельских населённых пунктов, пригородных зон, садовых товариществ | 0,2                                                                  |
| 3.             | Земли сельскохозяйственного назначения и особо охраняемых зон:          |                                                                      |
|                | – при площади участка до 100 га                                         | 0,2                                                                  |
|                | – при площади участка более 100 га                                      | 0,5                                                                  |

### **Задание 27**

Используя данные задания 10, определите прямоугольные координаты объектов своего варианта, а затем вычислите площадь полученных треугольников аналитическим способом.

### **Пример решения**

Даны прямоугольные координаты восьмиугольного полигона. Вычислить аналитическим способом площадь полученной фигуры и оценить точность полученного результата.

Составим ведомость вычисления площади аналитическим способом и внесем в нее исходные данные (табл. 19).

Для первой вершины разность  $Y_{i+1} - Y_{i-1}$  является разностью координат  $Y$  последующей (вершины №2) и предыдущей (вершины №8), то есть  $Y_{i+1} - Y_{i-1} = Y_2 - Y_8 = 986 - 1180 = -194$ .

Таблица 19 – Таблица определения площади аналитическим способом

| Вершина | Координаты, м  |                | Разности, м                         |                                     | Произведения, м <sup>2</sup>                          |                                                       |
|---------|----------------|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|         | X <sub>i</sub> | Y <sub>i</sub> | Y <sub>i+1</sub> – Y <sub>i-1</sub> | X <sub>i-1</sub> – X <sub>i+1</sub> | X <sub>i</sub> (Y <sub>i+1</sub> – Y <sub>i-1</sub> ) | Y <sub>i</sub> (X <sub>i-1</sub> – X <sub>i+1</sub> ) |
| 1       | 2              | 3              | 4                                   | 5                                   | 6                                                     | 7                                                     |
| 1       | 184            | 934            | –194                                | –200                                | –35696                                                | –186800                                               |
| 2       | 328            | 986            | –144                                | –218                                | –47232                                                | –214948                                               |
| 3       | 402            | 790            | –190                                | –258                                | –76380                                                | –203820                                               |
| 4       | 586            | 796            | 280                                 | –308                                | 164080                                                | –245168                                               |
| 5       | 710            | 1070           | 504                                 | –124                                | 357840                                                | –132680                                               |
| 6       | 710            | 1300           | 370                                 | 184                                 | 262700                                                | 239200                                                |
| 7       | 526            | 1440           | –120                                | 582                                 | –63120                                                | 838080                                                |
| 8       | 128            | 1180           | –506                                | 342                                 | –64768                                                | 403560                                                |
|         |                |                |                                     |                                     | S <sub>1</sub> =248712 м <sup>2</sup> =<br>24.9 га    | S <sub>2</sub> =248712 м <sup>2</sup> =<br>= 24.9 га  |

Аналогично получаем разности для следующих вершин:

Вершина 2:  $Y_3 - Y_1 = 790 - 934 = -144$ .

Вершина 3:  $Y_4 - Y_2 = 796 - 986 = -190$ .

Вершина 4:  $Y_5 - Y_4 = 1070 - 790 = 280$ .

Вершина 5:  $Y_6 - Y_4 = 1300 - 796 = 504$ .

Вершина 6:  $Y_7 - Y_5 = 1440 - 1070 = 370$ .

Вершина 7:  $Y_8 - Y_6 = 1180 - 1300 = -120$ .

Вершина 8:  $Y_1 - Y_7 = 934 - 1440 = -506$ .

Схожим образом рассчитывается разность координат X при каждой вершине полигона: от предыдущей координаты X<sub>i-1</sub> текущей вершины вычитаем последующую координату X<sub>i+1</sub>. Так для первой вершины предыдущая – точка 8, берем координату X<sub>8</sub>=128 и вычитаем координату X<sub>2</sub> – последующей вершины, то есть 328:  $X_8 - X_2 = 128 - 328 = -200$ .

Аналогично получаем разности для следующих вершин:

Вершина 2:  $X_1 - X_3 = 184 - 402 = -218$ .

Вершина 3:  $X_2 - X_4 = 328 - 586 = -258$ .

Вершина 4:  $X_3 - X_5 = 402 - 710 = -308$ .

Вершина 5:  $X_4 - X_6 = 586 - 710 = -124$ .

Вершина 6:  $X_5 - X_7 = 710 - 526 = 184$ .

Вершина 7:  $X_6 - X_8 = 710 - 128 = 582$ .

Вершина 8:  $X_7 - X_1 = 526 - 184 = 342$ .

На следующем этапе необходимо рассчитать произведение координаты X текущей вершина и соответствующей ей разности координат Y:

Вершина 1:  $X_1 \times (Y_2 - Y_8) = 184 \times (-194) = -35\,696$ .

Вершина 2:  $X_2 \times (Y_3 - Y_1) = 328 \times (-144) = -47\,232$ .

$$\text{Вершина 3: } X_3 \times (Y_4 - Y_2) = 402 \times (-190) = -76\,380.$$

$$\text{Вершина 4: } X_4 \times (Y_5 - Y_4) = 586 \times 280 = 164\,080.$$

$$\text{Вершина 5: } X_5 \times (Y_6 - Y_4) = 710 \times 504 = 357\,840.$$

$$\text{Вершина 6: } X_6 \times (Y_7 - Y_5) = 710 \times 370 = 262\,700.$$

$$\text{Вершина 7: } X_7 \times (Y_8 - Y_6) = 526 \times (-120) = -63\,120.$$

$$\text{Вершина 8: } X_8 \times (Y_1 - Y_7) = 128 \times (-506) = -64\,768.$$

Аналогично рассчитываем произведение координаты  $Y$  текущей вершины и соответствующей ей разности координат  $X$ :

$$\text{Вершина 1: } Y_1 \times (X_8 - X_2) = 934 \times (-200) = -186\,800$$

$$\text{Вершина 2: } Y_2 \times (X_1 - X_3) = 986 \times (-218) = -214\,948.$$

$$\text{Вершина 3: } Y_3 \times (X_2 - X_4) = 790 \times (-258) = -203\,820.$$

$$\text{Вершина 4: } Y_4 \times (X_3 - X_5) = 796 \times (-308) = -245\,168.$$

$$\text{Вершина 5: } Y_5 \times (X_4 - X_6) = 1070 \times (-124) = -132\,680.$$

$$\text{Вершина 6: } Y_6 \times (X_5 - X_7) = 1300 \times 184 = 239\,200.$$

$$\text{Вершина 7: } Y_7 \times (X_6 - X_8) = 1440 \times 582 = 838\,080.$$

$$\text{Вершина 8: } Y_8 \times (X_7 - X_1) = 1180 \times 342 = 403\,560.$$

На следующем этапе следуют сложить получившиеся произведения по каждому из столбцов №6 и №7.

$$2P = -35\,696 - 47\,232 - 76\,380 + 164\,080 + 357\,840 + 262\,700 - 63\,120 - 64\,768 = 497\,424$$

$$2P = -186\,800 - 214\,948 - 203\,820 - 245\,168 - 132\,680 + 239\,200 + 838\,080 + 403\,560 = 497\,424$$

Теперь получившуюся удвоенную площадь разделим на 2 для каждой суммы, получаем площадь полигона  $248712 \text{ м}^2$ , а с учетом, что 1 га соответствует  $10\,000 \text{ м}^2$ , получаем 24,9 га.

Для оценки точности полученного результата, необходимо воспользоваться данными табл. 14. Поскольку участок соответствует землям сельскохозяйственного назначения до 100 га, то  $m_t = 0,2$ , поэтому точность определения площади равна:

$$m_p = m_t \sqrt{P} = 0,2 \times \sqrt{248712} = 99,74 \text{ м}^2 \approx 100 \text{ м}^2 = 0,01 \text{ га}.$$

*Графический способ измерения площадей.*

В случае, если необходимо быстро получить приближенное значение площади заданного участка можно использовать графический способ с использованием палеток.

*Палетка* – это прозрачный лист (калька), на который нанесены квадраты или параллельные линии с шагом 5 мм. Во полевых условиях можно использовать любой полупрозрачный предмет: пакет, файл для документов, бумага для выпекания и пр.

Палетку вычерчивают в виде сетки квадратов, точек, лежащих на вершинах квадратов, или параллельных линий (рис. 29). Размеры квадратов на палетке принимают от 2×2 до 10×10 мм.

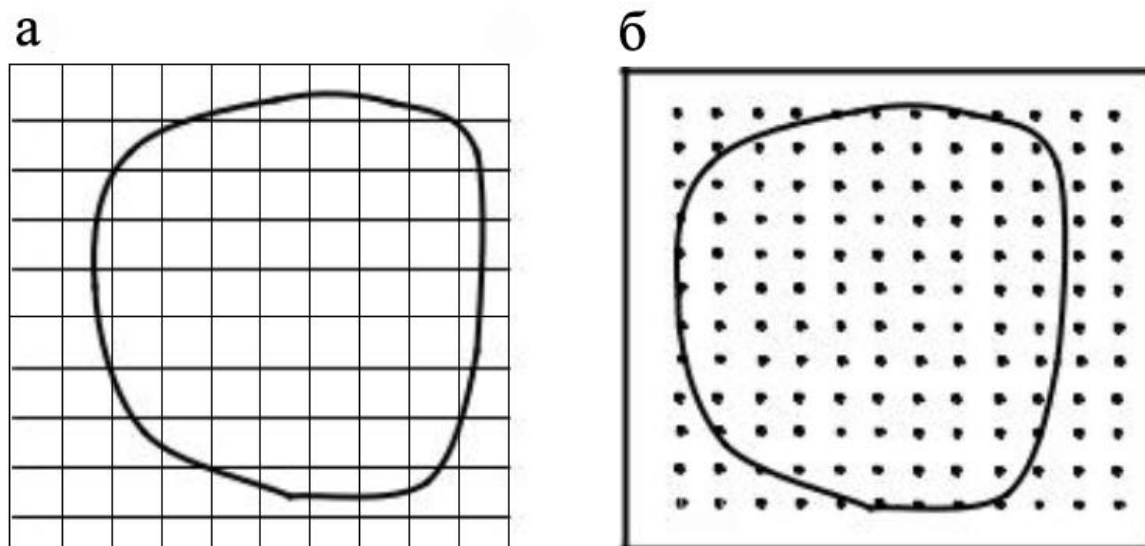


Рисунок 35 – Палетки для определения площадей:  
а – квадратная; б – точечная

Для определения площади криволинейной фигуры *квадратную палетку* кладут на план и внутри контура фигуры (рис. 29, а) и подсчитывают число  $n_1$  целых квадратов плюс число  $n_2$  половинок квадратов плюс число  $n_3$  четвертинок квадратов, тогда значение площади будет:

$$P = p_0 n_1 + 0,5 p_0 n_2 + 0,25 p_0 n_3, \quad (34)$$

где  $p_0$  – площадь одного квадрата на плане масштаба 1:

$M$  – вычисляется по формуле:

$$p_0 = (a \times M)^2, \quad (35)$$

где  $a$  – размер стороны квадрата в м, если площадь определяется в  $\text{м}^2$ , или  $a$  берется в сотнях метров, если площадь определяется в гектарах.

Для проверки и уточнения результата палетку поворачивают на 40–50° и повторяют описанные действия. Допустимое расхождение значений площади зависит от величины контура и размера квадратов:

$$P_{\text{доп}} = \frac{P_1 - P_2}{P} \quad (36)$$

и принимается от 1/20 до 1/100. Среднее из  $P_1$  и  $P_2$  принимается искомым результатом.

При определении площади точечной палеткой имеется в виду, что ее точки лежат в центрах квадратов со стороной  $a$  и площадью  $p_0$ . Палетку кладут на план и находят число  $n$  точек, попавших внутрь контура и тогда искомая площадь определяется по формуле:

$$P = p_0 \times n \quad (37)$$

Палетку поворачивают на 40–50° и повторяют работу как при использовании квадратной палетки. Очевидно, что точность результатов несколько ниже, чем при применении квадратной палетки за счет обобщения долей неявно пересекаемых квадратов.

*Линейная палетка* (рис. 36) состоит из параллельных линий с известным расстоянием  $b$  между ними. Такую палетку наносят на прозрачный лист пластика по схеме рис. 30. Рассчитывают и наносят шкалу площадей. Ее в качестве примера составим для плана масштаба 1:10 000 при расстоянии между параллельными линиями  $b = 4$  мм. Деления шкалы примем через каждые 2,5 мм. Тогда 10 делений шкалы будут соответствовать 1 га площади на плане согласно следующему расчету: площадь  $p_0$  прямоугольника на плане со сторонами  $l = 25$  мм;  $b = 4$  мм равна:

$$p_0 = l \times b \times M^{20} = 0.025 \times 0.004 \times 10000^2 = 1 \text{ га},$$

следовательно, одно наименьшее деление шкалы соответствует 0,1 га.

Палетку кладут на план так, чтобы параллельные линии касались краев контура. Его площадь равна сумме площадей трапеций  $b \cdot (AB) + b \cdot (CD) + b \cdot (ЕК)$ , где  $b$  – расстояние между параллельными линиями в масштабе плана; АВ, CD, ЕК – длина средних линий трапеций в масштабе плана. Суммарная длина средних линий АВ + CD + ЕК набирается по плану в раствор между иглами циркуля–измерителя. Затем с помощью циркуля по шкале  $b$  отсчитывается площадь контура (в примере рис. 30– $b$  площадь  $P = 2,37$  га) .

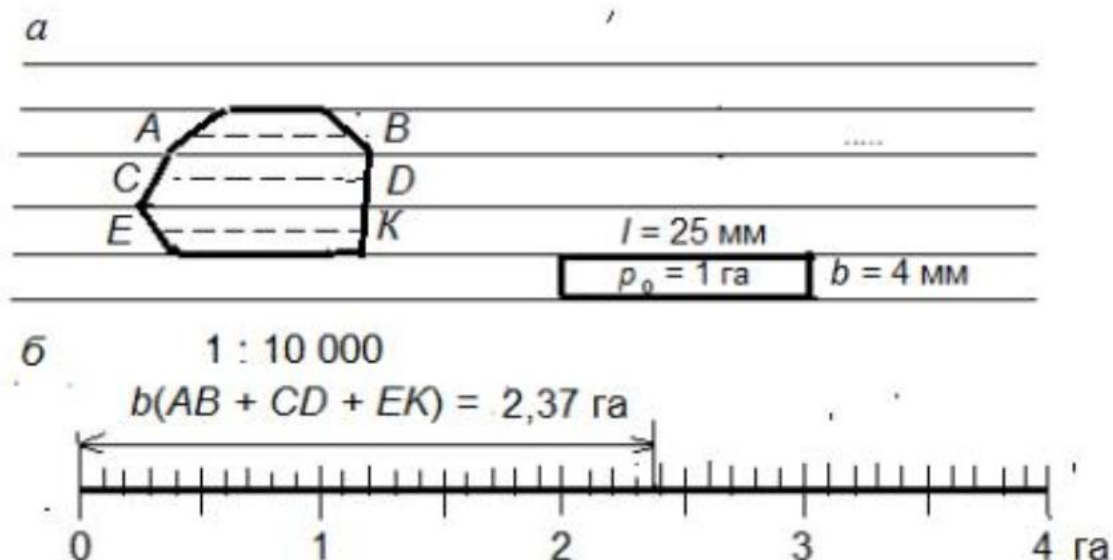


Рисунок 36 – Палетка из параллельных линий и определение площади контура по плану:  
*а* – параллельные линии палетки и контур;  
*б* – шкала площадей для плана масштаба  $1: M = 1:10\,000$

Площадь каждого контура определяется не менее двух раз при различных ориентациях параллельных линий относительно контура. Расхождение между результатами допускается до (1:100)Р.

### Задание 28

Используя учебную карту «Андрополь» определите площадь графическим способом:

1. острова, в пределах которого расположена больница г. Андрополь;
2. н. п. Крюки (квадрат 59–05);
3. н. п. Нарвик (квадрат 59–09);
4. н. п. Оленино (квадрат 55–09);
5. леса к западу от н. п. Харитоново (квадрат 54–08);
6. зеркала воды пруда Колгуев (квадрат 54–02);
7. н. п. Саперное (квадрат 60–04);
8. н. п. Филино (квадрат 56–05);
9. н. п. Пори (квадрат 60–08);
10. редколесье в пределах квадрата 58–09;
11. болота в пределах квадрата 55–07;
12. лесного массива в квадрате 56–07;

13. лесные массивы в квадратах 55–06 и 56–06;
14. леса в квадрате 54–06;
15. леса в квадрате 53–07;

*Геометрический способ измерения площадей.*

Вычислить площадь участка на карте геометрическим способом. Для этого разделить участок на простые геометрические фигуры (рис. 31), для каждой вычислить площадь по известным формулам. Суммируя площади отдельных фигур, получают площадь всей фигуры.

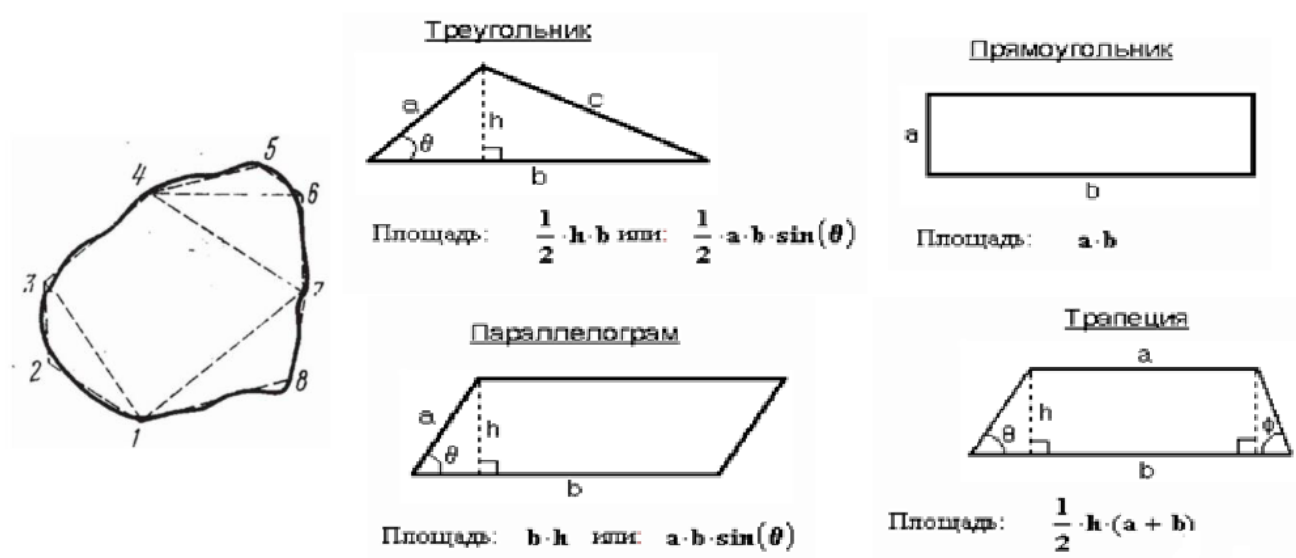


*Рисунок 37 – Вычисление площади геометрическим способом*

При определении площади участков на топографических чертежах все необходимые элементы следует измерять линейкой с учетом масштаба карты или плана.

### **Задание 29**

Используя учебную карту «Андрополь», определите площадь леса Пушкинский и лесных кварталов:

- 1) 106;
- 2) 104;
- 3) 85;
- 4) 101;
- 5) 93;
- 6) 95;
- 7) 53;
- 8) 50;

- 9) 31;
- 10) 77;
- 11) 74;
- 12) 86;
- 13) 78;
- 14) 3;
- 15) 71.

### *Механический способ измерения площади*

Планиметр полярного типа PLANIX 5 имеет полюсное плечо, с помощью которого осуществляется движение в пределах измеряемой площади, вычисляет площади в квадратных сантиметрах или квадратных дюймах. Измеренные значения отображаются на 8-символьном дисплее.

Комплект поставки

- планиметр;
- зарядное устройство;
- инструкция;
- футляр.

Планиметр имеет николь–кадмиевую батарею, рассчитанную на 15 ч. времени работы. Точность измерений составляет 0,2 % измерений. Диаметр диапазона измерений – 35,6 см.

Прибор состоит из двух основных подвижных частей — полюсного и обводного рычагов, соединенных шарнирно. В корпусе планиметра размещен высокоточный электронный измерительный узел, который фиксирует каждый поворот обводного механизма. На лицевой стороне корпуса находится управляющая панель с кнопками и жидкокристаллический дисплей для отображения результатов. Планиметр полярного типа PLANIX 5 имеет полюсное плечо, с помощью которого осуществляется движение в пределах измеряемой площади, вычисляет площади в квадратных сантиметрах или квадратных дюймах. Измеренные значения отображаются на 8-символьном дисплее.

Схема планиметра «PLANIX 5» представлена на рис. 38. На лицевой стороне корпуса 1 планиметра расположены дисплей 2 и кнопки управления работой планиметра 3. Планиметр имеет два рычага: полюсный и обводной. Полюсный рычаг 4 может вращаться вокруг точки О, называемой *полюсом*. На конце полюсный рычаг имеет груз 5, который препятствует смещению полюса. На другом конце полюсного

рычага имеется штифт 6 для шарнирного соединения с корпусом. Обводной рычаг 7 связан с измерительным механизмом, расположенным на обратной стороне корпуса. На конце обводного рычага находится стекло 8 с визирующей точкой.



*Рисунок 38 – Устройство планиметра «PLANIX 5»:*

- 1 – лицевой корпус; 2 – дисплей; 3 – панель управления;*
- 4 – полюсный рычаг; 5 – груз;*
- 6 – штифт шарнирного соединения;*
- 7 – измерительный механизм;*
- 8 – луна с визирующей точкой*

Для измерения площади фигуры с помощью планиметра «PLANIX 5» необходимо выполнить следующие операции:

1. Закрепить на горизонтальной чертежной доске лист с фигурой, площадь которой необходимо измерить.
2. Установить планиметр так, чтобы полюсный и обводной рычаги составляли между собой угол около  $90^\circ$ , а конец обводного рычага (визирующая точка на стекле) находился вблизи центра измеряемой площади (рис. 39).

3. Включить планиметр, нажав кнопку «ON/C» (на дисплее загорится число «0»).

4. Выбрать необходимые единицы измерения площади (в данном случае «см<sup>2</sup>»).

5. Выбрать исходную точку на внешнем контуре фигуры, совместить с ней визирующую точку стекла на обводном рычаге и нажать кнопку «START» (на дисплее должен гореть «0»).

6. Обвести визирующей точкой на стекле весь контур фигуры, площадь которой необходимо найти, по часовой стрелке до возвращения в исходную точку. Число на дисплее – площадь фигуры в выбранной системе измерения. Для сохранения результата нажать кнопку «HOLD», это предотвратит потерю измеренных данных при случайном сдвиге прибора.

7. Для получения более точных данных площадь фигуры можно измерить несколько раз (но не более 9), а затем усреднить произведенные измерения. Для этого после обвода контура фигуры нажать кнопку «END», затем произвести второй обвод контура и вновь в конце нажать кнопку «END». После повторения этой процедуры требуемое количество раз нажать кнопку «AVER». Число на дисплее – искомое среднее значение площади фигуры. В большинстве случаев для геодезических измерений, необходимо провести два измерения площади, чтобы исключить «грубые» ошибки, среднее значение между которыми использовать как заключительное.

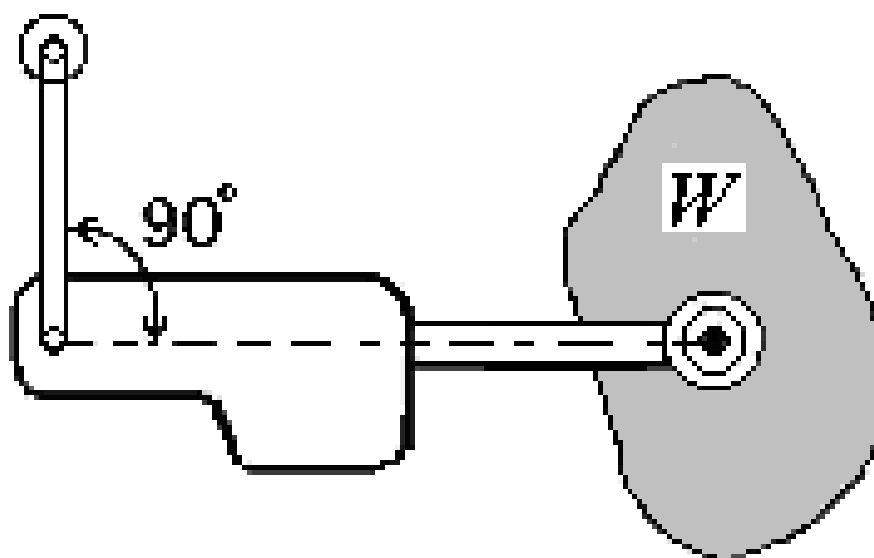


Рисунок 39 – Схема установки планиметра «PLANIX 5»

Для подсчета площади можно воспользоваться электронным курвиметром – Scalex Electronic Planwheel – SA2. Для этого используйте кнопку . После установления масштаба прокатите колесико курвиметра вдоль одной из сторон прямоугольника, который высветиться в верхнем правом углу прибора. Катите колесо вдоль другой стороны прямоугольника.

Для подсчета объема фигуры после измерения площади, необходимо еще раз использовать кнопку . Появится рисунок куба в верхнем правом углу дисплея. Прокатите колесико на расстояние равное высоте фигуры. На экране появиться отсчет её объема.

### **Задание 30**

Используя учебную карту «Андрополь», определите площадь механическим способом леса Пушкинский, болот по р. Ара, города Андрополь, лесного массива, расположенного к северу от города.

### **Задание 31**

Рассчитайте площадь водосборных бассейнов задания № 26.

## **1.12 Определение объема насыпи по карте**

Определение площади часто необходимо для определения объема фигур, например, объем сыпучего материала на складской площадке, пород на отвале и др.

В этом случае применяют способы горизонтального или вертикального сечения тела.

В случае *вертикальных сечений* (рис. 40–а) профильные линии проводятся через заданное расстояние  $d$ . Площади каждого сечения суммируют и умножают на расстояние между линиями  $d$ .

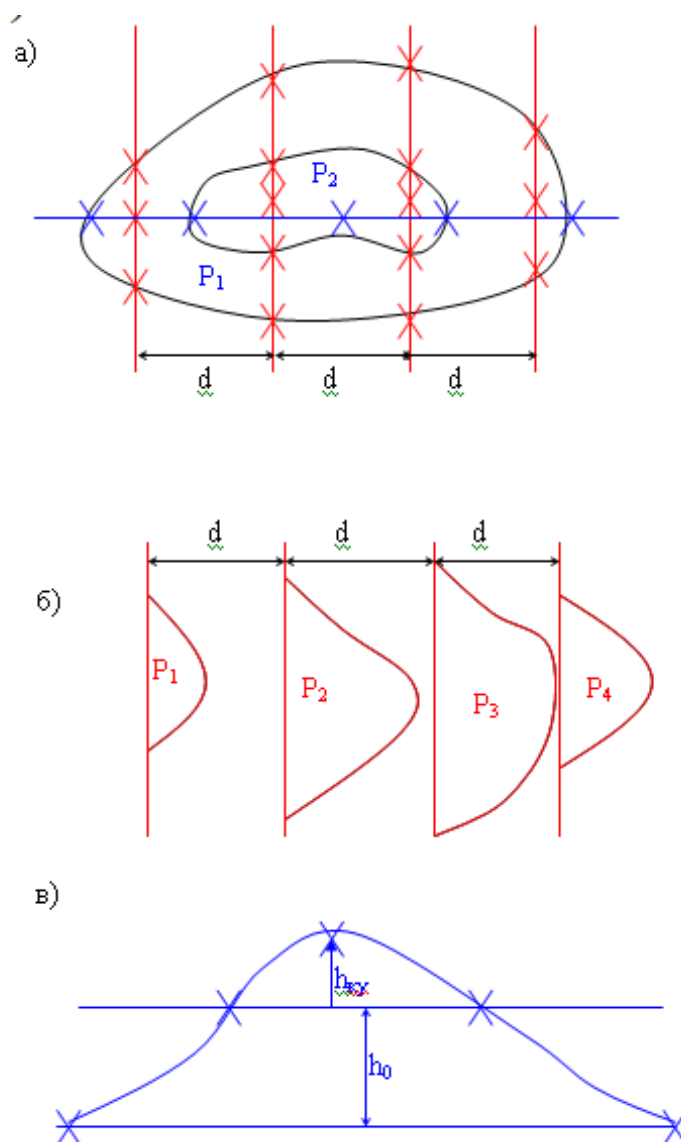


Рисунок 40 – Определение объема тел:  
 а – план с горизонталями;  
 б – способ вертикальных сечений;  
 в – способ горизонтальных сечений

В случае горизонтальных сечений (рис. 41–б) горизонтالي проводятся через заданную высоту сечения  $h_0$ , они рассекают тело на слои, ограниченные двумя соседними горизонталями. Объем каждого слоя находят как полусумму площадей, умноженную на  $h_0$ . Верхний слой можно рассматривать как купол, высота которого определяется как разность высот, основанием является площадь верхнего слоя. Затем объемы всех слоев суммируют.

Если необходимо определить объем насыпи (рис. 42) способом горизонтальных сечений, то необходимо планиметром измерить площадь внутри каждой горизонтали.

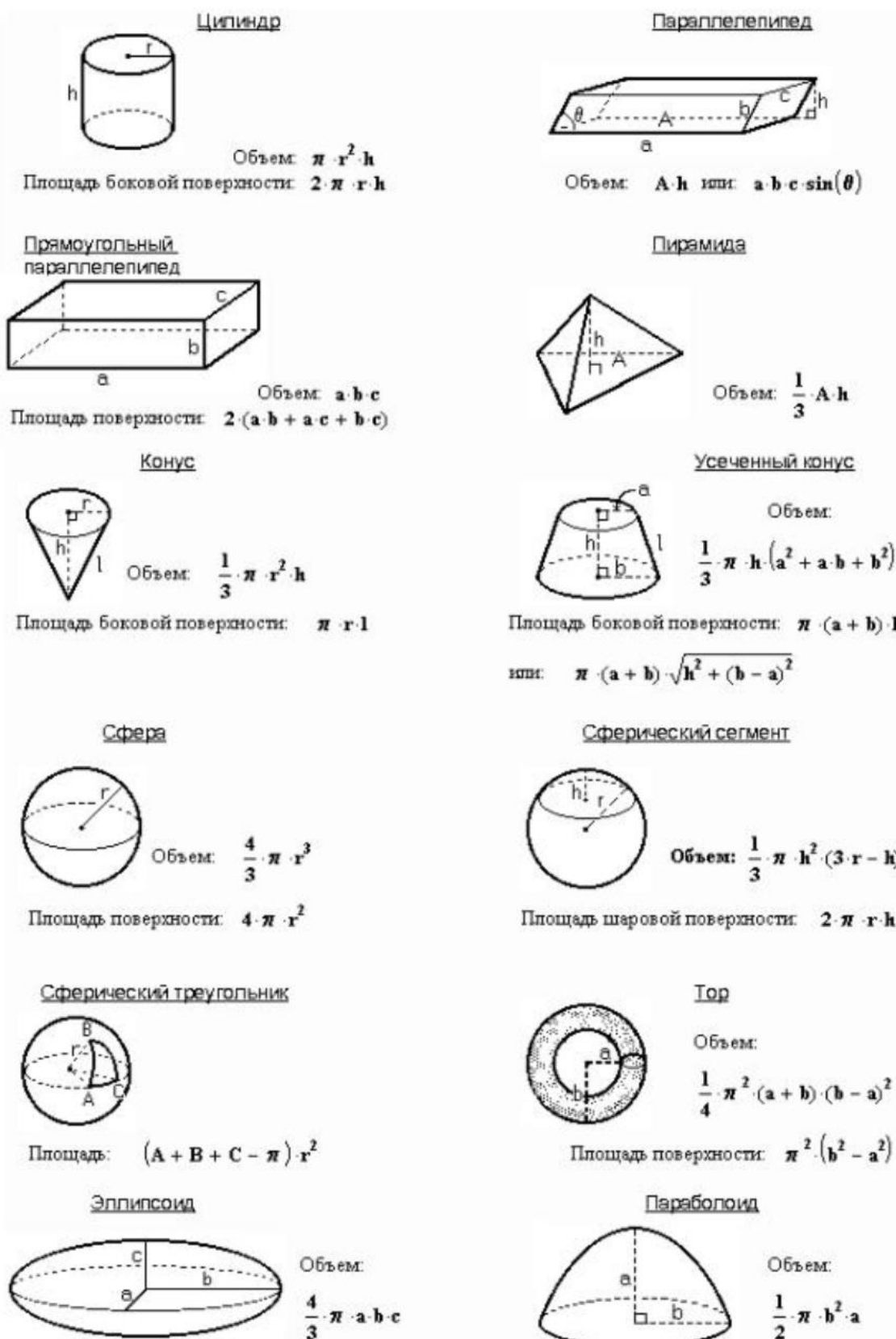


Рисунок 41 – Основные объемные фигуры и формулы расчета площади поверхности и их объема

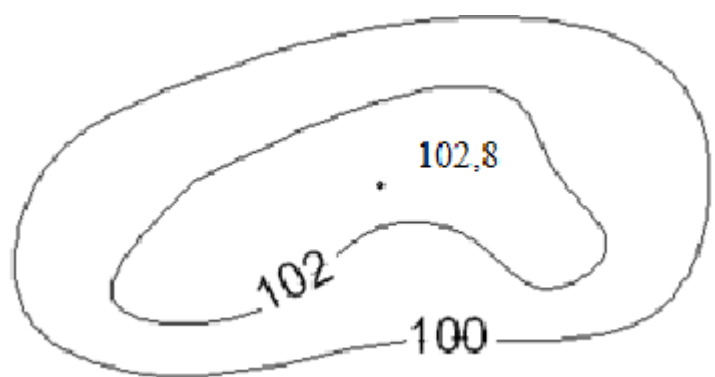


*Рисунок 42 – Контур насыпи*

Объем слоя между горизонталями составит:

$$V_{\text{слоя } 100-102} = \frac{1}{2}(P_{100} + P_{102}) \times h, \quad (38)$$

где  $h$  – высота слоя.

Объем купола определяется по формуле:

$$V_{\text{купола}} = \frac{1}{3}P_{102} \times h_{\text{купола}} \quad (39)$$

где  $h_{\text{купола}}$  – определяется как разность отметок вершины и нижележащей горизонтали ( $102,8-102=0,8$ ).

Следовательно, Объем всей насыпи определяется по формуле:

$$V_{\text{всей насыпи}} = V_{\text{слоя } 100-102} + V_{\text{купола}}. \quad (40)$$

### **Задание 32**

Используя учебную карту «Андрополь», определите объем возвышенности н. п. Савино (квадрат 60–03), принимая за подножье горизонталь 175 м.

## Задание 33

Используя данные рисунка по заданию преподавателя определить объем возвышенности и/или низменности.

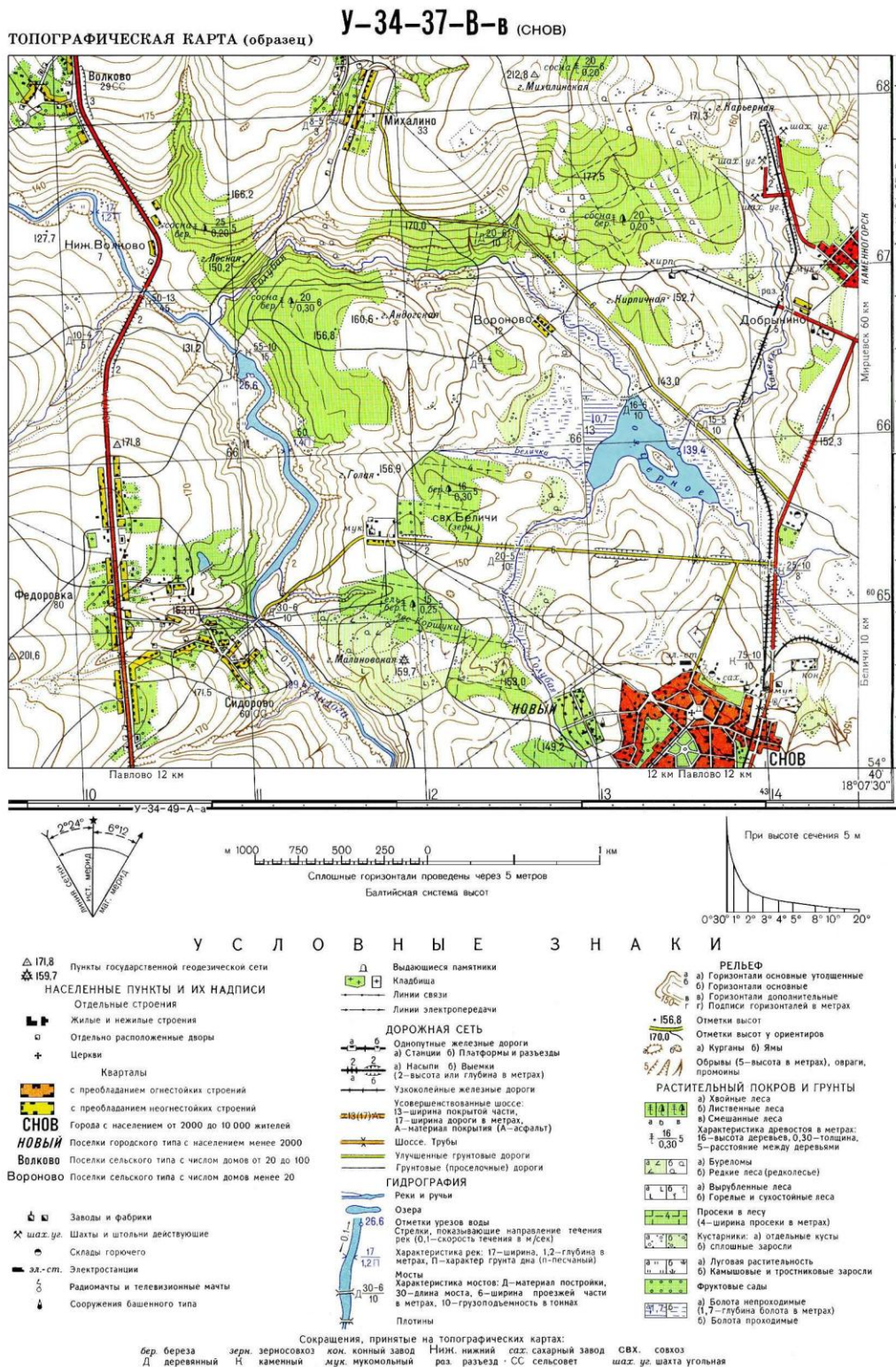


Рисунок 43 – Фрагмент топографической карты «Снов»

## **2 Составление топографического плана по координатам**

### **Задание 34**

По данным измерений горизонтальных углов и горизонтальных проложений сторон замкнутого теодолитного хода выполнить:

1. Определить угловую невязку теодолитного хода, увязать углы полигона.
2. По заданному дирекционному углу стороны 1–2 вычислить дирекционные углы и румбы сторон полигона. Исходный дирекционный угол взять из табл. 20.
3. Определить приращения координат хода и их невязки.
4. При допустимой относительной невязке (не более  $1/2000$ ) распределить невязки в приращениях координат.
5. По исправленным приращениям и исходным координатам вершины №1 полигона (табл. 18) вычислить координаты остальных вершин.
6. Все результаты вычислений занести в ведомость вычисления координат, приложить к ней выполненные расчеты.
7. Построить координатную сетку со стороной квадрата 10 см и нанести вершины полигона по координатам. Масштаб плана 1:500. Формат бумаги А2.
8. Пользуясь абрисом, приведенным на рис. 50, нанести ситуацию на план в соответствии с утвержденными условными знаками топографических планов и карт. Заполнить на плане таблицы «Ведомость координат».

### **2.1 Расчет координат теодолитного хода**

Для построения топографического плана необходимо иметь исходные сведения для заполнения таблицы координатной ведомости теодолитного хода. В табл. 20 представлены исходные данные о дирекционных углах и координатах репера – вершины I теодолитного хода. Для выбора варианта можно руководствоваться номером студента по списку, который соответствует номеру уго варианта.

*Таблица 20 – Варианты исходных дирекционных углов и координат вершины I теодолитного хода*

| № п/п | Дирекционный угол (° ') | X (м) | Y (м) |
|-------|-------------------------|-------|-------|
| 1     | 12° 34'                 | 5231  | 4187  |
| 2     | 27° 15'                 | 6024  | 3952  |
| 3     | 43° 08'                 | 5876  | 4321  |
| 4     | 58° 42'                 | 5129  | 4765  |
| 5     | 72° 19'                 | 4982  | 5013  |
| 6     | 85° 56'                 | 4756  | 5248  |
| 7     | 99° 23'                 | 4521  | 5412  |
| 8     | 112° 47'                | 4298  | 5534  |
| 9     | 126° 10'                | 4087  | 5612  |
| 10    | 139° 33'                | 3876  | 5654  |
| 11    | 153° 05'                | 3654  | 5678  |
| 12    | 167° 28'                | 3421  | 5689  |
| 13    | 181° 51'                | 3198  | 5690  |
| 14    | 195° 14'                | 2987  | 5678  |
| 15    | 208° 37'                | 2765  | 5643  |
| 16    | 222° 00'                | 2543  | 5587  |
| 17    | 235° 23'                | 2321  | 5512  |
| 18    | 248° 46'                | 2109  | 5421  |
| 19    | 262° 09'                | 1897  | 5312  |
| 20    | 275° 32'                | 1685  | 5187  |
| 21    | 288° 55'                | 1473  | 5043  |
| 22    | 302° 18'                | 1261  | 4876  |
| 23    | 315° 41'                | 1049  | 4698  |
| 24    | 329° 04'                | 837   | 4501  |
| 25    | 342° 27'                | 625   | 4287  |
| 26    | 355° 50'                | 413   | 4056  |
| 27    | 09° 13'                 | 201   | 3812  |
| 28    | 22° 36'                 | 987   | 3567  |
| 29    | 35° 59'                 | 1198  | 3321  |
| 30    | 49° 22'                 | 1409  | 3076  |
| 31    | 62° 45'                 | 1620  | 2834  |
| 32    | 76° 08'                 | 1831  | 2598  |
| 33    | 89° 31'                 | 2042  | 2367  |
| 34    | 102° 54'                | 2253  | 2145  |
| 35    | 116° 17'                | 2464  | 1932  |

Целью расчётно–графической работы является составление топографического плана участка местности масштаба 1:500 на основе результатов теодолитной и нивелирной съёмок. В ходе выполнения

работы студенту предстоит обработать данные замкнутого теодолитного хода, выполнить нивелирование поверхности по квадратам и изобразить рельеф местности горизонталями.

Исходными данными для выполнения работы служат:

- схема замкнутого теодолитного хода (четырёхугольного полигона), проложенного по часовой стрелке (рис. 44);
- измеренные правые по ходу внутренние углы  $\beta_i$  и длины сторон  $D_i$ ;
- дирекционный угол начальной стороны хода  $\alpha_{I-II}$ ;
- координаты исходной точки I ( $X_I, Y_I$ );
- результаты геометрического нивелирования по сетке квадратов со стороной 20 м.

Все численные значения исходных данных индивидуализируются в соответствии с порядковым номером студента в учебном журнале группы. Конкретные параметры – включая дирекционный угол начальной линии, координаты точки I, а также при необходимости – отметку репера – определяются по таблице 21.

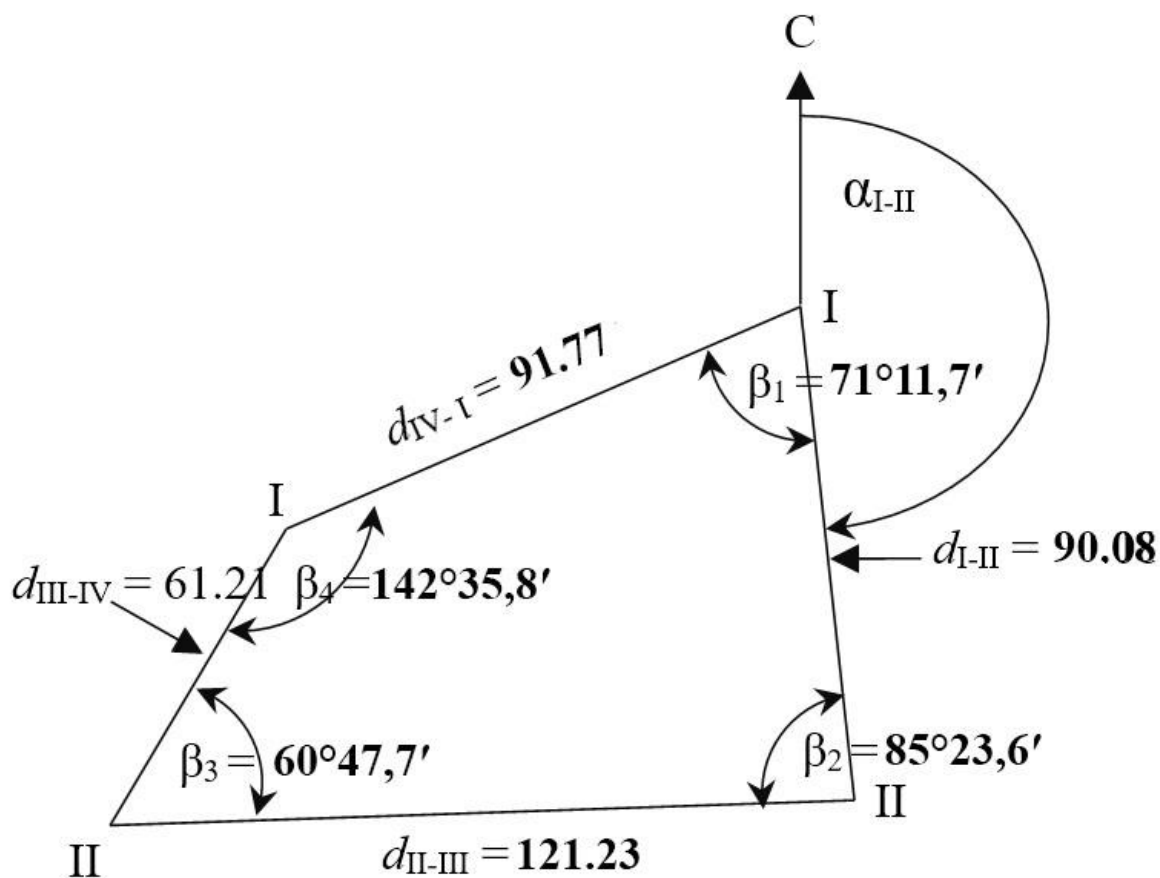


Рисунок 44 – Схема теодолитного хода

Сведения об измеренных углах и горизонтальных проложениях приведена в табл. 21.

*Таблица 21 – Сведения об измеренных внутренних углах и горизонтальных проложениях.*

| Вершины полигона | Измеренные внутренние углы, $\beta^{\circ}'$ | Наименование сторон | Горизонтальные проложения, d, м |
|------------------|----------------------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| I                | 71°11,7'                                     |                     |                                 |
|                  |                                              | I–II                | 90,08                           |
| II               | 85°23,6'                                     |                     |                                 |
|                  |                                              | II–III              | 121,23                          |
| III              | 60°47,7'                                     |                     |                                 |
|                  |                                              | III–IV              | 61,21                           |
| IV               | 142°35,8'                                    |                     |                                 |
|                  |                                              | IV–I                | 91,77                           |
| I                |                                              |                     |                                 |

Таким образом, каждый студент выполняет работу по уникальному варианту, что обеспечивает самостоятельность расчётов и способствует более глубокому усвоению методики обработки геодезических измерений.

Рассчитаем координатную ведомость замкнутого теодолитного хода (рис. №). За исходный дирекционный угол примем  $\alpha_{1-2} = 35^{\circ}15'$ , а координаты вершины I (репер) составляют  $X_1 = 500$  м,  $Y_2 = 600$  м.

Рассчитаем сумму полученных углов:

$$\sum \beta_{\text{пол.}} = 71^{\circ}11,7' + 85^{\circ}23,6' + 60^{\circ}47,7' + 142^{\circ}35,8' = 359^{\circ}58,8'$$

Сравним полученный результата с теоретической суммой внутренних углов замкнутого полигона, который рассчитывают по формуле:

$$\sum \beta_{\text{теор.}} = 180^{\circ} \times (n - 2), \quad (41)$$

где  $n$  – количество внутренних углов полигона.

В нашем случае:

$$\sum \beta_{\text{теор.}} = 180^{\circ} \times (4 - 2) = 360^{\circ}$$

В таком случае, угловая невязка  $f_\beta$  определяется по формуле:

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{пол.}} - \sum \beta_{\text{теор.}} \quad (42)$$

Рассчитаем угловую невязку для примера 1:

$$f_{\beta \text{ пол.}} = 359^\circ 58,8' - 360^\circ = -1,2'$$

Допустимая угловая невязка теодолитного хода для теодолитных ходов, выполненных теодолитом технической точности, рассчитывается по формуле:

$$f_{\beta \text{ доп.}} = \pm 1' \times \sqrt{n} \quad (43)$$

Поскольку в примере  $n=4$ , тогда

$$f_{\beta \text{ доп.}} = \pm 1' \times \sqrt{4} = \pm 2' \quad (44)$$

Поскольку  $|f_{\beta \text{ пол.}}| = 1,2' < 2'$ , невязка является допустимой.

Распределим поправки равномерно в каждый угол (с обратным знаком), а для удобства постараемся добиться целого числа минут внутренних углов. Так как,

$$\delta_\beta = \frac{f_{\beta \text{ пол.}}}{n} \quad (45)$$

или касательно примера:

$$\delta_\beta = \frac{-1,2'}{4} = -0,3'$$

Теперь можно исправить измеренные внутренние углы:

$$\beta_{1 \text{ испр}} = 71^\circ 12';$$

$$\beta_{2 \text{ испр}} = 85^\circ 24';$$

$$\beta_{3 \text{ испр}} = 60^\circ 48';$$

$$\beta_{4 \text{ испр}} = 142^\circ 36';$$

Теперь сумма исправленных внутренних углов соответствует теоретической:

$$\sum \beta_{\text{испр.}} = 360^\circ$$

Все сведения необходимо занести в ведомость вычисления координат точек теодолитного хода (табл. 22).

Рассчитаем величины по формуле для правых углов:

$$\alpha_{\text{посл.}} = \alpha_{\text{пред.}} + 180^\circ - \beta_{\text{посл.}}, \quad (46)$$

где  $\alpha_{\text{посл.}}$  – дирекционный угол последующей линии;

$\alpha_{\text{пред.}}$  – дирекционный угол предыдущей линии;

$\beta_{\text{посл.}}$  – исправленный угол при следующем направлении.

Расчет дирекционных углов представлен на рис. 45. Рекомендуется вычисления проводить «в столбик», помня, что в  $1^\circ = 60'$ , а дирекционный угол не может превышать  $360^\circ$ .

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\begin{array}{r} \alpha_{\text{I-II}} = + 35^\circ 15' \\ \quad \quad 180^\circ \\ \hline - 215^\circ 15' \\ \quad \quad 85^\circ 24' \\ \hline \alpha_{\text{II-III}} + 129^\circ 51' \\ \quad \quad 180^\circ \\ \hline - 309^\circ 51' \\ \quad \quad 60^\circ 48' \\ \hline \alpha_{\text{III-IV}} \quad 249^\circ 03' \end{array}$ | $\begin{array}{r} \alpha_{\text{III-IV}} + 249^\circ 03' \\ \quad \quad 180^\circ \\ \hline - 429^\circ 03' \\ \quad \quad 142^\circ 36' \\ \hline \alpha_{\text{IV-I}} + 286^\circ 27' \\ \quad \quad 180^\circ \\ \hline - 466^\circ 27' \\ \quad \quad 71^\circ 12' \\ \hline - 395^\circ 15' \\ \quad \quad 360^\circ 00' \\ \hline \alpha_{\text{I-II}} \quad 35^\circ 15' \end{array}$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Контроль

Рисунок 45 – Расчет дирекционных углов

На следующем этапе необходимо рассчитать направления румбов по формулам табл. 23.

Таблица 22 – Ведомость вычисления координат замкнутого теодолитного хода

| № вершины                     | Измеренные внутренние углы, β | Поправки угловые, δ | Исправленные внутренние углы, β <sub>испр.</sub> | Дирекционные углы, α | Румбы, r |          | Горизонтальное проложение, d | Приращения координат |                  | Поправки приращений |       | Исправленные приращения |                     | Координаты |         |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------|----------------------|----------|----------|------------------------------|----------------------|------------------|---------------------|-------|-------------------------|---------------------|------------|---------|
|                               |                               |                     |                                                  |                      | четверть | значение |                              | ΔX                   | ΔY               | δΔX                 | δΔY   | ΔX <sub>испр.</sub>     | ΔY <sub>испр.</sub> | X          | Y       |
| 1                             | 71°11,7'                      | +0,3'               | 71°12'                                           |                      |          |          |                              |                      |                  |                     |       |                         |                     | 500,0      | 600,0   |
|                               |                               |                     |                                                  | 35°15'               | СВ       | 35°15'   | 90,08                        | 73,563               | 51,989           | 0,004               | 0,029 | 73,567                  | 52,018              |            |         |
| 2                             | 85°23,6'                      | +0,4'               | 85°24'                                           |                      |          |          |                              |                      |                  |                     |       |                         |                     | 573,567    | 652,018 |
|                               |                               |                     |                                                  | 129°51'              | ЮВ       | 50°09'   | 121,23                       | – 77,682             | 93,071           | 0,006               | 0,039 | – 77,676                | 93,110              |            |         |
| 3                             | 60°47,7'                      | +0,3'               | 60°48'                                           |                      |          |          |                              |                      |                  |                     |       |                         |                     | 495,891    | 745,128 |
|                               |                               |                     |                                                  | 249°03'              | ЮЗ       | 69°03'   | 61,21                        | – 21,886             | –57,164          | 0,003               | 0,020 | – 21,883                | – 57,144            |            |         |
| 4                             | 142°35,8'                     | +0,2'               | 142°36'                                          |                      |          |          |                              |                      |                  |                     |       |                         |                     | 474,008    | 687,984 |
|                               |                               |                     |                                                  | 286°27'              | СЗ       | 73°33'   | 91,77                        | 25,987               | –88,014          | 0,005               | 0,030 | 25,992                  | – 87,984            |            |         |
| 1                             |                               |                     |                                                  |                      |          |          |                              |                      |                  |                     |       |                         |                     | 500,0      | 600,0   |
| Σβ <sub>пол.</sub> =359°58,8' |                               |                     |                                                  |                      |          |          |                              | P=364,29             | f <sub>x</sub> = | f <sub>y</sub> =    | Σ=    | Σ=                      | Σ=                  | Σ=         |         |
| Σβ <sub>доп.</sub> =360°      |                               |                     |                                                  |                      |          |          |                              |                      | –0,018           | –0,118              | 0,18  | 0,118                   | 0                   | 0          |         |

$$f_{\beta}=359^{\circ}58,8'-360^{\circ}=-1,2'$$

$$f_{\beta \text{ доп.}} = \pm 1' \times \sqrt{4} = \pm 2'.$$

$$|1,2'| < |2'|$$

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(-0,018)^2 + (-0,118)^2} = 0,119 \text{ м.}$$

$$\frac{1}{N_{\text{пол.}}} = \frac{f_p}{P} = \frac{1}{364,29 \div 0,119} = \frac{1}{3061} < \frac{1}{2000} = \frac{1}{N_{\text{доп.}}}$$

*Таблица 23 – Зависимость между дирекционными углами, румбами и знаками приращений.*

| Пределы значений дирекционных углов | Четверть | Название румбов | Зависимость между румбами и дирекционными углами | Знаки приращений |            |
|-------------------------------------|----------|-----------------|--------------------------------------------------|------------------|------------|
|                                     |          |                 |                                                  | $\Delta X$       | $\Delta Y$ |
| $0^\circ-90^\circ$                  | I        | СВ              | $r = \alpha$                                     | +                | –          |
| $90^\circ-180^\circ$                | II       | ЮВ              | $r = 180^\circ - \alpha$                         | –                | +          |
| $180^\circ-270^\circ$               | III      | ЮЗ              | $r = \alpha - 180^\circ$                         | –                | +          |
| $270^\circ-360^\circ$               | IV       | СЗ              | $r = 360^\circ - \alpha$                         | +                | –          |

Тогда результаты расчетов величины румбов занесем в ведомость координат замкнутого теодолитного хода (табл. 22). Для контроля необходимо помнить, что румб является острым углом:

$$\alpha_{I-II} 35^\circ 15' \rightarrow r_{I-II} \text{ СВ } 35^\circ 15'$$

$$\alpha_{II-III} 129^\circ 51' \rightarrow r_{II-III} \text{ ЮВ } 50^\circ 09'$$

$$\alpha_{III-IV} 249^\circ 03' \rightarrow r_{III-IV} \text{ ЮЗ } 69^\circ 03'$$

$$\alpha_{IV-I} 15^\circ \rightarrow r_{IV-I} \text{ СЗ } 73^\circ 33'$$

Расчет приращений координат необходимо начать с определения периметра теодолитного хода по формуле:

$$P = \sum_{i=1}^n d_i \quad (47)$$

По горизонтальным проложениям  $d$  линий теодолитного хода и их дирекционным углам  $\alpha$  или их румбам  $r$  вычисляют приращения координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  по формулам:

$$\Delta X = d \times \cos \alpha, \quad (48)$$

$$\Delta Y = d \times \sin \alpha. \quad (49)$$

Знаки приращения координат определяют в зависимости от знаков  $\sin \alpha$  и  $\cos \alpha$  или от названий румбов (табл. 23)

Определим значения приращений для нашего примера. В ходе расчетов необходимо иметь в виду, что большинство калькуляторов не используют шестидесятеричную систему исчисления (от 0 до 60 град., мин., сек.), а считают в десятичной. Поэтому все дирекционные углы

следует перевести в десятичную систему исчислений либо использовать калькулятор или таблицы с указанием градусов и минут.

Переведем шестидесятеричную систему в десятичную, разделив значение минут на 60' (так как  $1^\circ=60'$ ) и прибавив значение целого количества минут:

$$\alpha_{I-II} = 35^\circ 15' = 35^\circ + \frac{15'}{60'} = 35^\circ + 0,25 = 35,25^\circ$$

$$\alpha_{II-III} = 129^\circ 51' = 129^\circ + \frac{51'}{60'} = 129^\circ + 0,85 = 129,85^\circ$$

$$\alpha_{III-IV} = 249^\circ 03' = 249^\circ + \frac{03'}{60'} = 249^\circ + 0,05 = 249,05^\circ$$

$$\alpha_{IV-I} = 286^\circ 27' = 286^\circ + \frac{27'}{60'} = 286^\circ + 0,45 = 286,45^\circ$$

Теперь можно рассчитать значение дирекционных углов. Будьте внимательны при наборе значений в микрокалькуляторе. Проверьте, чтобы расчеты были проведены в режиме DEG («degree» – режим расчета углов в градусах)! Результаты расчетов округлить до тысячных долей метра.

$$\Delta X_{I-II} = d_{I-II} \times \cos \alpha_{I-II} = 90,08 \times \cos 35,25^\circ = 73,563 \text{ м};$$

$$\Delta X_{II-III} = d_{II-III} \times \cos \alpha_{II-III} = 121,23 \times \cos 129,85^\circ = -77,682 \text{ м};$$

$$\Delta X_{III-IV} = d_{III-IV} \times \cos \alpha_{III-IV} = 61,21 \times \cos 249,05^\circ = -21,886 \text{ м};$$

$$\Delta X_{IV-I} = d_{I-IV} \times \cos \alpha_{I-IV} = 91,77 \times \cos 286,45^\circ = 25,987 \text{ м};$$

Также рассчитывается приращения по координате Y:

$$\Delta Y_{I-II} = d_{I-II} \times \sin \alpha_{I-II} = 90,08 \times \sin 35,25^\circ = 51,989 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{II-III} = d_{II-III} \times \sin \alpha_{II-III} = 121,23 \times \sin 129,85^\circ = 93,071 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{III-IV} = d_{III-IV} \times \sin \alpha_{III-IV} = 61,21 \times \sin 249,05^\circ = -57,164 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{IV-I} = d_{I-IV} \times \sin \alpha_{I-IV} = 91,77 \times \sin 286,45^\circ = -88,014 \text{ м};$$

Найденные значения приращений записывают в соответствующие графы ведомости.

Далее вычисляют практическую сумму приращений координат по осям и заносят в ведомость:

$$\Sigma \Delta X = f_x \quad (50)$$

$$\Sigma \Delta Y = f_y \quad (51)$$

В нашем примере:

$$\begin{aligned} f_x &= \Delta X_{I-II} + \Delta X_{II-III} + \Delta X_{III-IV} + \Delta X_{IV-I} = \\ &= 73,563 - 77,682 - 21,886 + 25,987 = -0,018 \text{ м} \end{aligned}$$

$$f_y = \Delta Y_{I-II} + \Delta Y_{II-III} + \Delta Y_{III-IV} + \Delta Y_{IV-I} = \\ = 51,989 + 93,071 - 57,164 - 88,014 = -0,118 \text{ м}$$

Положительные величины невязки приращений координат указывают на избыток рассчитанных приращений, а отрицательные, соответственно, на недостаточное их количество. Для оценки допустимости полученных величин невязки  $f_x$  и  $f_y$  необходимо сравнить относительную невязку хода с допустимыми значениями:

$$\frac{1}{N_{\text{доп.}}} = \frac{1}{2000} \quad (52)$$

В этих целях рассчитаем абсолютную невязку хода  $f_p$  по формуле:

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (53)$$

Тогда,

$$f_p = \sqrt{(-0,018)^2 + (-0,118)^2} = 0,119$$

Расчет относительной невязки хода осуществляется относительно периметра теодолитного хода:

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_p}{P} = \frac{1}{P \div f_p} = \frac{1}{N_{\text{пол.}}} \quad (54)$$

или,

$$f_{\text{отн}} = \frac{1}{364,29 \div 0,119} = \frac{1}{3061} < \frac{1}{N_{\text{доп.}}} = \frac{1}{2000}$$

Соответственно, полученное значение относительной невязки меньше, чем допустимое, или значение знаменателя дроби относительной невязки больше, чем допустимой ( $3061 > 2000$ ).

В этом случае, получившиеся расчеты приращений координат  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  необходимо поправить с учетом длин сторон. Невязки в приращениях координат распределяем в виде поправок, распределяя их пропорционально длинам сторон по формулам:

$$\delta \Delta X = \frac{f_x \times d_x}{P}, \quad (55)$$

$$\delta \Delta Y = \frac{f_y \times d_x}{P}, \quad (56)$$

где  $P$  – периметр полигона (длина хода);

$d_x$  – длина для каждой стороны, м.

Поправки  $\delta\Delta X$  и  $\delta\Delta Y$  округляют с точностью до 0,001 м и записывают их в соответствующие графы ведомости с противоположным знаком.

В нашем примере при распределении невязки  $f_x$  имеем:

$$\delta_{\Delta X I-II} = \frac{-0,018 \times 90,08}{364,29} = 0,004 \text{ м}$$

$$\delta_{\Delta X II-III} = \frac{-0,018 \times 121,23}{364,29} = 0,006 \text{ м}$$

$$\delta_{\Delta X III-IV} = \frac{-0,018 \times 61,21}{364,29} = 0,003 \text{ м}$$

$$\delta_{\Delta X IV-I} = \frac{-0,018 \times 91,77}{364,29} = 0,005 \text{ м}$$

Аналогичным образом рассчитываем поправки невязки  $f_y$ :

$$\delta_{\Delta Y I-II} = \frac{-0,118 \times 90,08}{364,29} = 0,029 \text{ м}$$

$$\delta_{\Delta Y II-III} = \frac{-0,118 \times 121,23}{364,29} = 0,039 \text{ м}$$

$$\delta_{\Delta Y III-IV} = \frac{-0,118 \times 61,21}{364,29} = 0,020 \text{ м}$$

$$\delta_{\Delta Y IV-I} = \frac{-0,118 \times 91,77}{364,29} = 0,030 \text{ м}$$

Если сумма поправок с обратным знаком отличается от величины невязки на 0,001 или 0,002 м, то некоторые поправки округляют в нужную сторону.

Выполняем проверку:

$$|\Sigma\Delta X| = |f_x| = |\Sigma\delta_{\Delta X}| = 0,018;$$

$$|\Sigma\Delta Y| = |f_y| = |\Sigma\delta_{\Delta Y}| = 0,118.$$

Определяют исправленные приращения координат по формулам:

$$\Delta X_{\text{испр.}} = \Delta X \pm \delta\Delta X \quad (57)$$

$$\Delta Y_{\text{испр.}} = \Delta Y \pm \delta\Delta Y \quad (58)$$

Тогда

$$\Delta X_{I-II \text{ испр.}} = 73,563 + 0,004 = 73,567 \text{ м}$$

$$\Delta X_{II-III \text{ испр.}} = -77,682 + 0,006 = -77,676 \text{ м}$$

$$\Delta X_{III-IV \text{ испр.}} = -21,886 + 0,003 = -21,883 \text{ м}$$

$$\Delta X_{IV-I_{\text{испр.}}} = 25,987 + 0,005 = 25,992 \text{ м}$$

$$\Delta Y_{I-II_{\text{испр.}}} = 51,989 + 0,029 = 52,018 \text{ м}$$

$$\Delta Y_{II-III_{\text{испр.}}} = 93,071 + 0,039 = 93,110 \text{ м}$$

$$\Delta Y_{III-IV_{\text{испр.}}} = -57,164 + 0,020 = -57,144 \text{ м}$$

$$\Delta Y_{IV-I_{\text{испр.}}} = -88,014 + 0,030 = -87,984 \text{ м}$$

Сложив полученные исправленные приращения, убеждаемся, что они равны нулю, то есть:

$$\Sigma \Delta X_{\text{испр.}} = 0; \quad (59)$$

$$\Sigma \Delta Y_{\text{испр.}} = 0. \quad (60)$$

Результаты переносим в координатную ведомость.

Наконец, заключительный этап расчета связан с определением координат вершин полигона. Чтобы определить каждую последующую координату, нужно к предыдущей прибавить исправленное превышение, то есть:

$$X_{i+1} = X_{i \text{ испр.}} + \Delta X_{i \text{ испр.}} \quad (61)$$

$$Y_{i+1} = Y_{i \text{ испр.}} + \Delta Y_{i \text{ испр.}} \quad (62)$$

По условию задачи для первой вершины координаты заданы (см. табл. 20), а в текущем примере равны  $X_I=500$  м, а  $Y_I=600$  м.

$$X_{II} = X_I + \Delta X_{I_{\text{испр.}}} = 500 + 73,567 = 573,567 \text{ м};$$

$$X_{III} = X_{II} + \Delta X_{II_{\text{испр.}}} = 573,567 - 77,676 = 495,891 \text{ м};$$

$$X_{IV} = X_{III} + \Delta X_{III_{\text{испр.}}} = 495,891 - 21,883 = 474,008 \text{ м};$$

Проверяем верность вычислений:

$$X_I = X_{IV} + \Delta X_{IV_{\text{испр.}}} = 495,891 + 25,992 = 500 \text{ м.}$$

Аналогичным образом определяются координаты  $Y$  остальных вершин:

$$Y_{II} = Y_I + \Delta Y_{I_{\text{испр.}}} = 600 + 52,018 = 652,018 \text{ м};$$

$$Y_{III} = Y_{II} + \Delta Y_{II_{\text{испр.}}} = 652,018 + 93,110 = 745,128 \text{ м};$$

$$Y_{IV} = Y_{III} + \Delta Y_{III_{\text{испр.}}} = 745,128 - 57,144 = 687,984 \text{ м};$$

Проверяем верность вычислений:

$$Y_I = Y_{IV} + \Delta Y_{IV_{\text{испр.}}} = 687,984 - 87,984 = 600 \text{ м}$$

Все сведения переносятся в координатную ведомость.

## 2.2 Составление чертежной основы топографического плана

На следующем этапе необходимо подготовить чертежную основу. Чертеж выполняется на листе чертёжной бумаги формата A2 (420×594 мм). На лист наносится сетка квадратов 3×4 со стороной 10 см.

На рис. 46 и 47 показаны отступы и размеры (даны в мм), которые желательно предусмотреть в ходе вычерчивания топографического плана: рамка, штамп и собственно сетка квадратов. Желательно на отдельном листе—черновике вне масштаба прикинуть размеры теодолитного хода и откорректировать его положение на листе. Эту работу можно выполнить в автоматических системах AutoCad, Compass, QGIS.

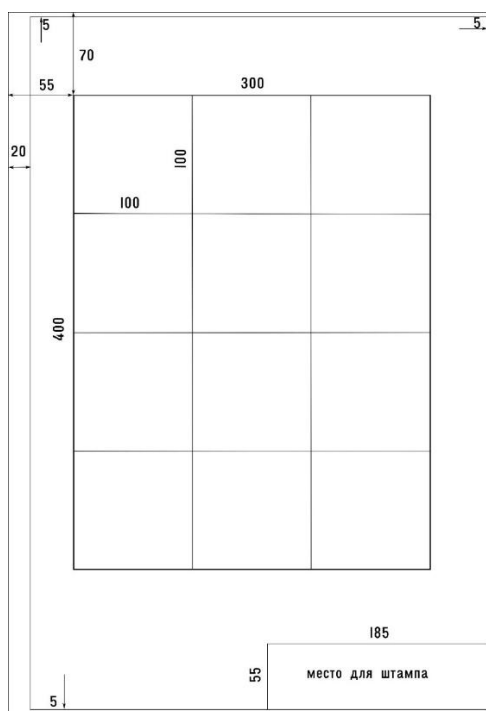


*Рисунок 46 – Расположение сетки квадратов и отступы для листа A2 книжной ориентации*

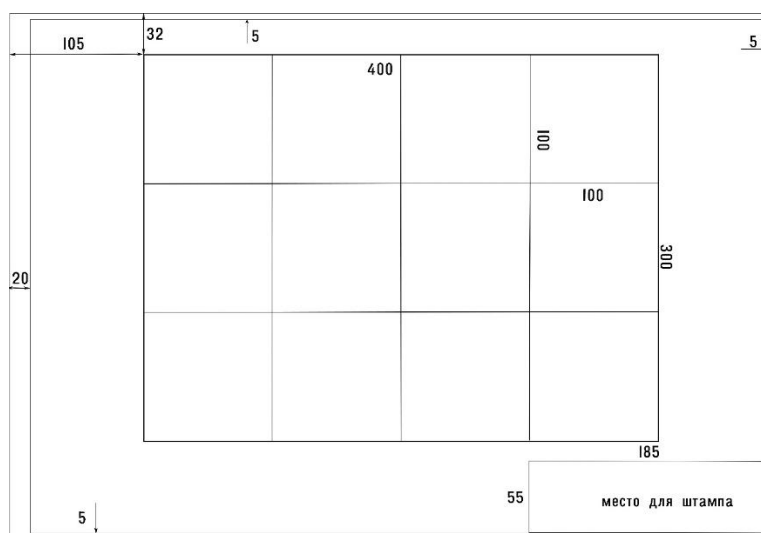


*Рисунок 47 – Расположение сетки квадратов и отступы для листа A2 альбомной ориентации*

В масштабе 1:500 размеры сетки квадратов соответствуют 50×50 м (1 см – 5 м на местности), тогда нумерация координатной сети должна быть с шагом 50 м. Подписывать координаты X следует слева и справа сетки, помня, что с юга на север значения увеличиваются. Также подписывается ось ординат (координаты Y), значения которой увеличиваются с запада на восток. В нашем случае целесообразно придерживаться следующей оцифровки – см рис. 48.

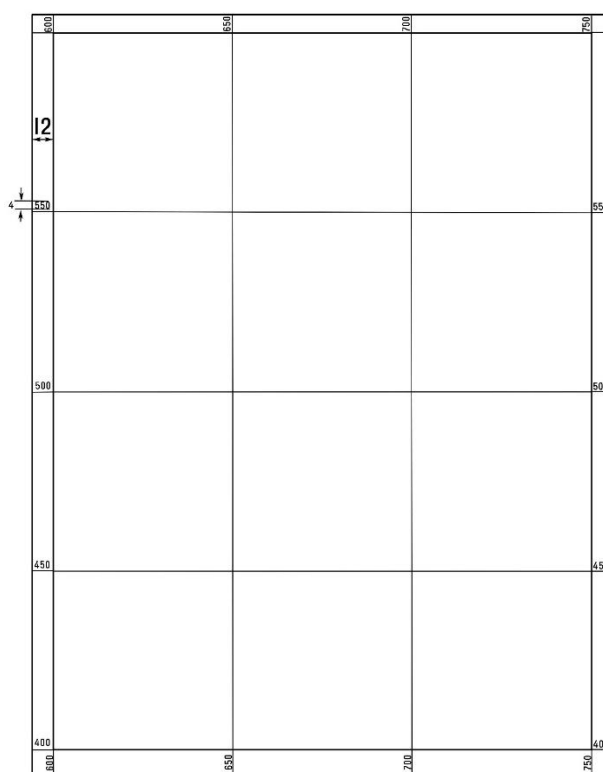


*Рисунок 48 – Параметры и размеры оцифровки сетки квадратов*

Для переноса координат вершин на план необходимо использовать результаты расчетов координатной ведомости вершин теодолитного хода. Преобразование координат в миллиметры плана следует проводить по формуле:

$$\Delta X_{\text{план}} = \frac{X - X_{\min}}{M} \times 10; \quad (63)$$

$$\Delta Y_{\text{план}} = \frac{Y - Y_{\min}}{M} \times 10; \quad (64)$$

где  $X_{\min}$ ,  $Y_{\min}$  – координаты левого нижнего угла сетки;

$M$  – величина масштаба в метрах.

С учетом масштаба в знаменателе формул ставим 5 (в 1 см – 5 метров), а ответ получаем в миллиметрах.

В примере, положение вершины I находится на пересечении координат сетки  $X = 500$  м и  $Y = 600$  м. Рассчитаем положение точки II:

$$\begin{aligned} \Delta X_{II \text{ план}} &= \frac{573,567 - 550}{5} \times 10 = 47 \text{ мм;} \\ \Delta Y_{II \text{ план}} &= \frac{652,018 - 650}{5} \times 10 = 4 \text{ мм;} \\ \Delta X_{III \text{ план}} &= \frac{495,891 - 450}{5} \times 10 = 92 \text{ мм;} \\ \Delta Y_{III \text{ план}} &= \frac{745,128 - 700}{5} \times 10 = 90 \text{ мм;} \\ \Delta X_{IV \text{ план}} &= \frac{474,008 - 450}{5} \times 10 = 48 \text{ мм;} \\ \Delta Y_{IV \text{ план}} &= \frac{687,984 - 650}{5} \times 10 = 76 \text{ мм} \end{aligned}$$

На координатной сетке отмечают положение вершин в соответствии с полученными результатами (рис. 49).

Контроль построений можно осуществить, измерив дирекционные и внутренние углы полигона, а также его стороны.

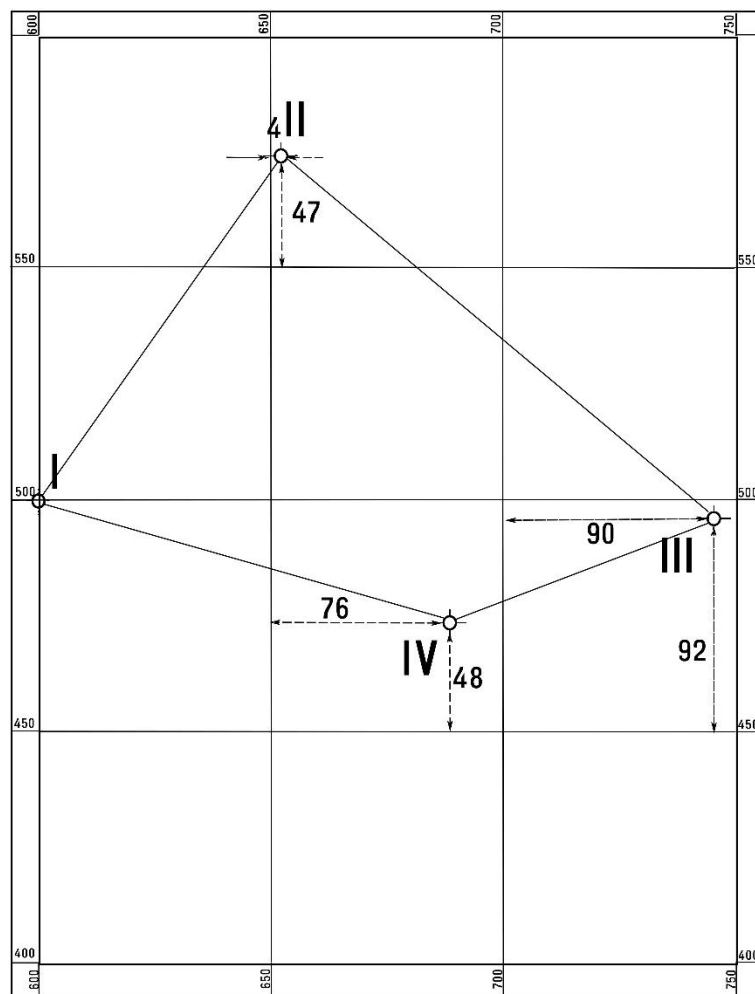


Рисунок 49 – Нанесение вершин теодолитного хода на топографический план

### 2.3 Перенос ситуации местности с абриса на топографический план

После нанесения вершин теодолитного хода и проверки геометрической замкнутости полигона приступают к переносу *ситуации местности* на топографический план. Ситуация – это совокупность объектов (естественных и искусственных), зафиксированных в полевых условиях и отражённых на *абрисе*.

Дальнейшие построения следует проводить с учетом сведений абриса (рис. 50).

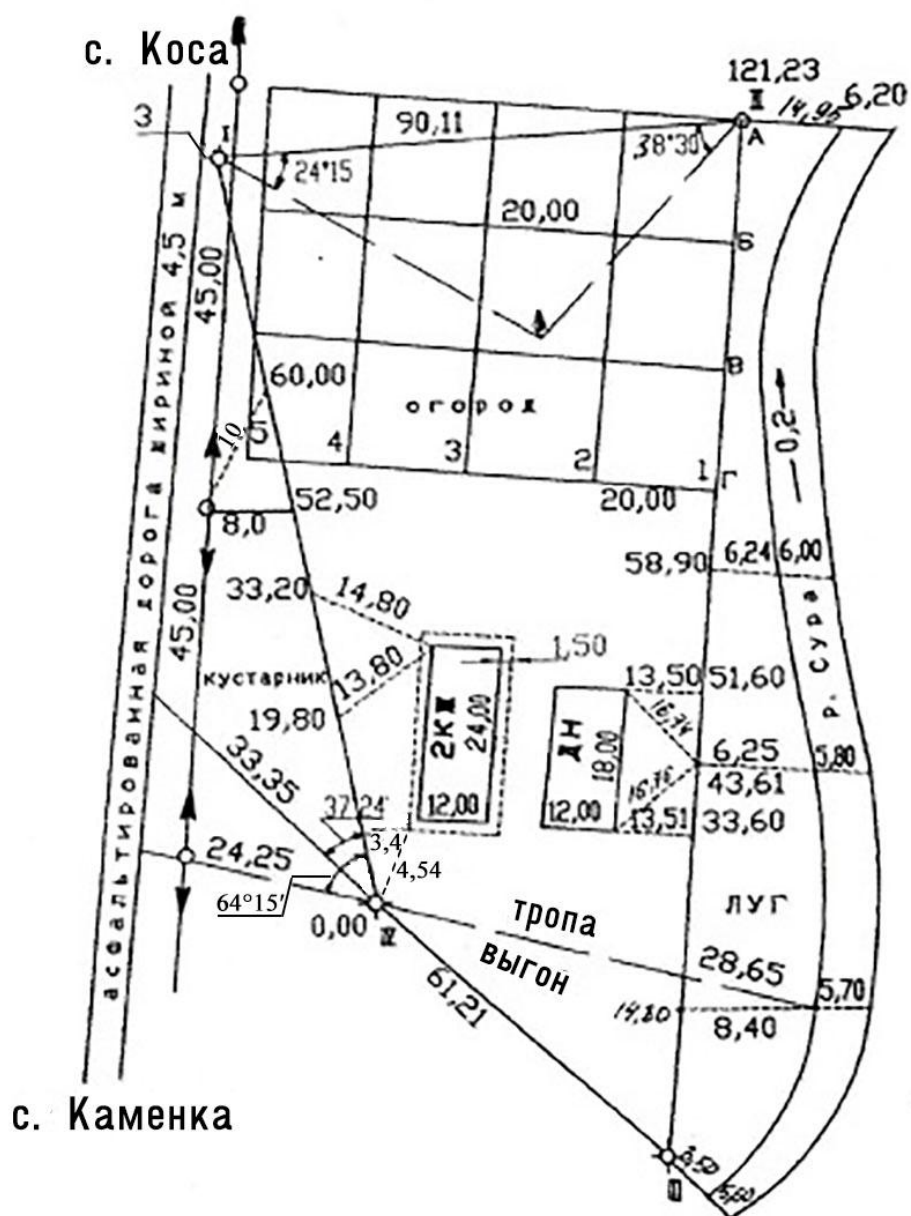


Рисунок 50 – Абрис участка землепользования

Абрис – это схематический план, сделанный от руки, на основе данных полевой съёмки (теодолитной). Здесь отражены результаты измерений ситуации местности одним из следующих способов.

1. Способом *угловых засечек* была проведена съёмка дерева. Для переноса на топографический план положения дерева необходимо транспортир приложить к вершине I и измерить угол II–I–дерево, значение которого составляет  $24^{\circ}15'$ . Начертите луч, выходящий из вершины I. Аналогичным образом, отмерьте угол  $35^{\circ}30'$  с вершины II и проведите еще один луч. Пересечение лучей определить положение дерева на топографическом плане.

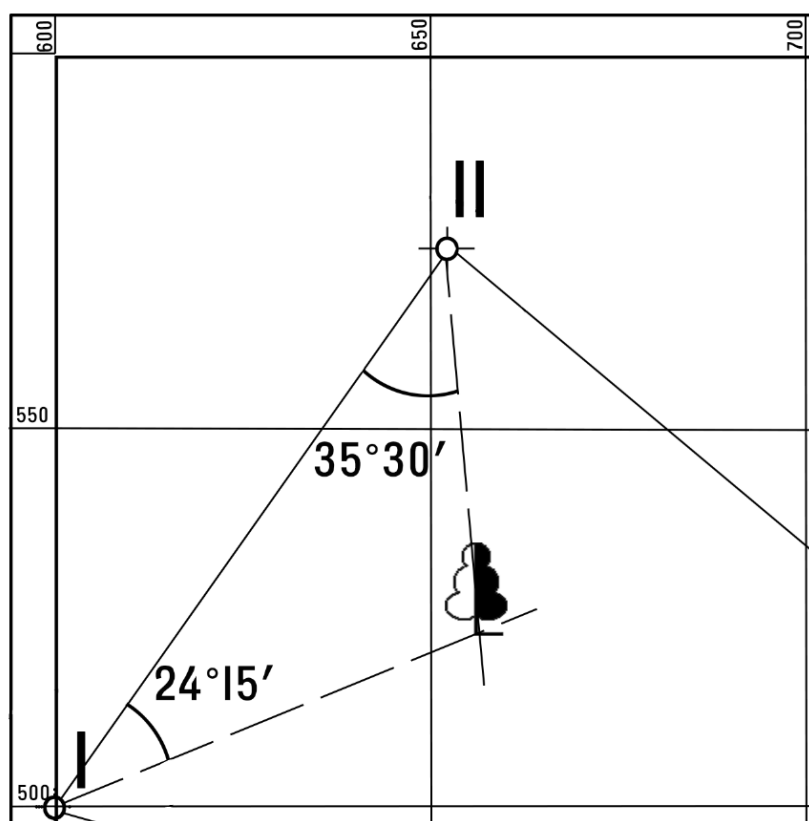


Рисунок 51 – Построение способом угловых засечек

2. Способом перпендикуляров (прямоугольных координат) построена река Сура (рис. 50). По линии III–II необходимо отмерить 14,8 метра в масштабе, или 37 мм. Этот отрезок необходимо отмерить по соответствующей линии от точки III и проложить перпендикуляр кнаружи от теодолитного хода. По этой линии отмеряем в масштабе 8,4 м, или 17 мм. Отмечаем урез воды. По линии отложенного перпендикуляра от уреза воды откладывается отрезок ширины реки Сура в этом месте – 5,7 м, или 11 мм в масштабе. Получаем второй урез воды. Аналогичным образом поступают с другими объектами на плане, съемка которых проведена способом перпендикуляров. В нашем случае оставшиеся места уреза воды реки по направлению линии III–II.

3. Частным случаем рассмотренного способа является *способ створов*. На абрисе этим способом проложен урез воды р. Сура по линии IV–III от точки III. В нашем случае, необходимо приложить линейку к линии IV–III и продолжить её в сторону реки. Отмеряем 3,5 м в масштабе – 7 мм, получаем первый урез воды. По этой же линии отмечаем второй урез правого берега реки – 5,6 м, или в масштабе 11 мм.

4. *Способом полярных координат* определено положение столба линии электропередач, ближайшего к вершине IV теодолитного хода (рис. 52). Для его построения, необходимо приложить транспортир к точке IV

так, чтобы «нуль» указывал на линию IV–I. Проводим луч из точки IV под углом  $64^{\circ}15'$  и по лучу отмеряем 24,25 м в масштабе – 4,9 см.

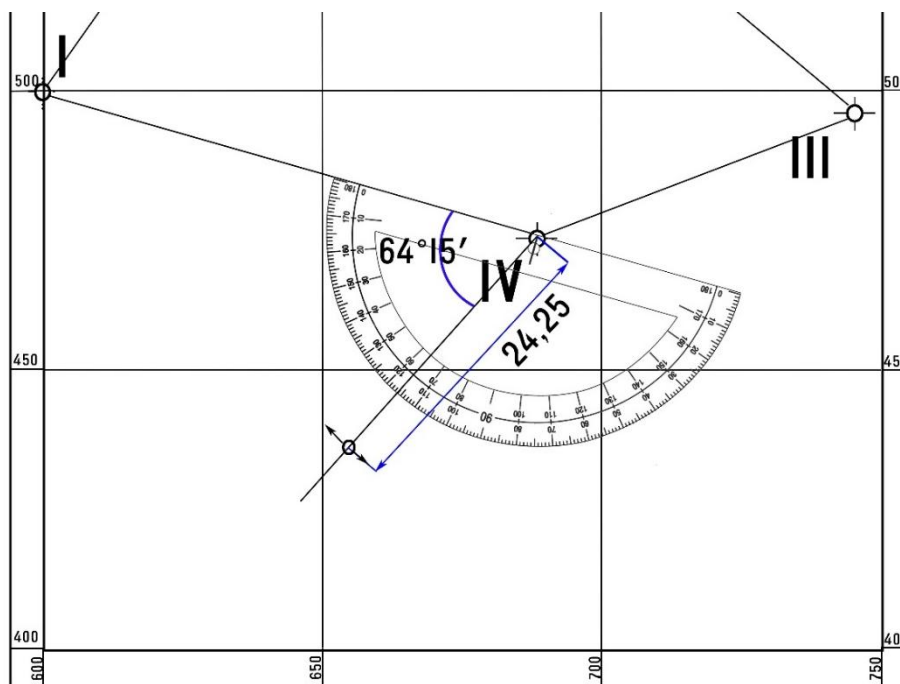


Рисунок 52 – Построение способом прямоугольных координат

5. *Способом линейных засечек* снят средний столб линии электропередач (рис. 53). По линии IV–I от точки IV необходимо отмерить 52,5 м в масштабе – 10,5 см. Взять раствор циркуля в масштабе 8 м, или 16 мм, провести дугу на плане, оставив ножку циркуля в найденной точке. Также от вершины IV отмерить 60 м в масштабе (12 см) и раствором циркуля 2 см (соответствуют 10 м на местности) провести вторую дугу из второй точки. На пересечении дуг получаем положение среднего столба линии электропередач (рис. 8).

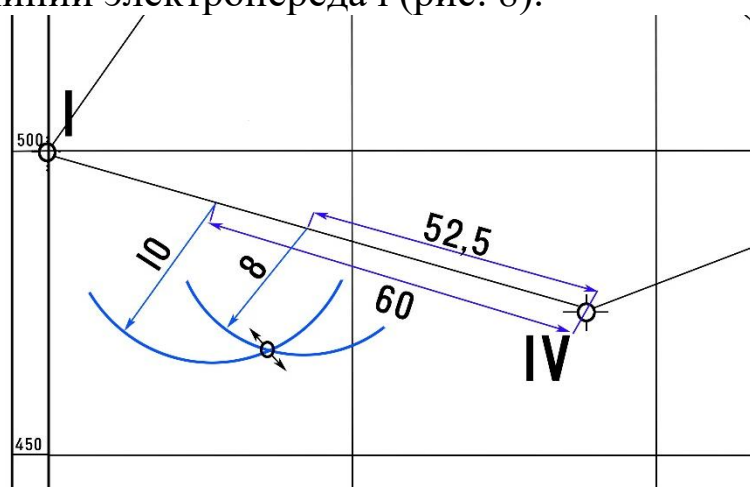
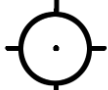
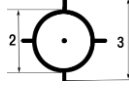
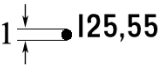
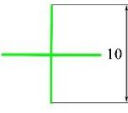
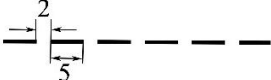
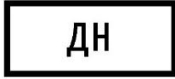
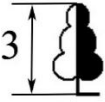
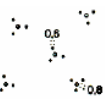


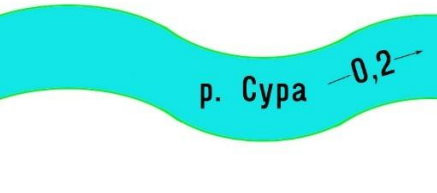
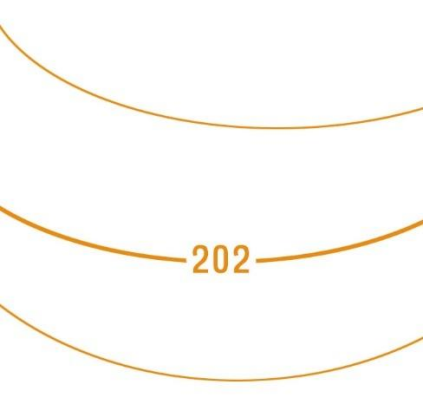
Рисунок 53 – Построение способом линейных засечек

Расшифровка способов съемки ситуации на местности, представленной на абрисе, является одной из основных задач построения топографического плана. По ходу определения положения объектов съемки линии построений следует стирать, а также использовать условные обозначения, предусмотренные стандартом ГОСТ 21.306 – 85. Сводные данные по условным знакам и особенностям их построения приведены в табл. 24.

Таблица 24 – Требования к оформлению условных знаков на топографической карте

| Изображение на планах                                                                  | Название                             | Цвет изображения                    | Размеры в мм                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1<br> | 2<br>Точка плановой сети и её номер  | 3<br>Черный                         | 4<br>   |
|      | Вершина теодолитного хода и ее номер | Черный                              |        |
| •125,55                                                                                | Абсолютная отметка точки             | Черный                              | 1<br> |
|     | Пересечение координатных линий       | Зеленый                             |       |
|     | Дорога асфальтированная              | Край черный. Внутри отмывка розовым | Ширина дороги показана в масштабе                                                          |
|     | Тропа пешеходная                     | Черный                              |       |
|     | Здание каменное жилое                | Черный                              | Размеры заданы в абрисе                                                                    |
|     | Здание деревянное нежилое            | Черный                              | Размеры заданы в абрисе                                                                    |
|     | Одиночное дерево лиственное          | Черный                              |       |
|     | Кустарник                            | Черный                              |       |
|     | Луг (растительность травяная)        | Черный                              |       |

### Окончание таблицы 24

|                                                                                    |                 |                                                                              |                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|   | Река            | Берег – светло-зеленым, а русло – бирюзовым или голубым.                     | Ширина русла в соответствии с абрисом. |
|   | Горизонтали     | Коричневым цветом, подписываются с разрывом целые четные с утолщенной линией | В соответствии с построениями.         |
|  | Границы огорода | Черным                                                                       | В соответствии с абрисом               |

## 2.4 Обработка результатов нивелирования по квадратам

### Задание 35

В рамках учебного задания предлагается произвести расчет *результатов нивелирования способом сетки квадратов*, сторона которых равна 20 м. В ходе съемки территории землепользования для дальнейшего проектирования необходимо было провести съемку рельефа. В этих целях геодезист по линии II–III теодолитного хода заложил сетку квадратов (рис. 50). Для удобства учета одна линия получила наименование А, Б, В, Г, а другая 1, 2, 3, 4 и 5 (рис. 54). Съемка проводилась с использованием замкнутого нивелирного хода по вершинам I, II и ГЗ. Со станций 2 и 3 были взяты отсчеты по промежуточным рейкам в вершине каждого квадрата. Со станции 2 – отсчеты по промежуточным рейкам взяты по линиям 1, 2 и 3, а со станции 3 – по линиям 4 и 5.

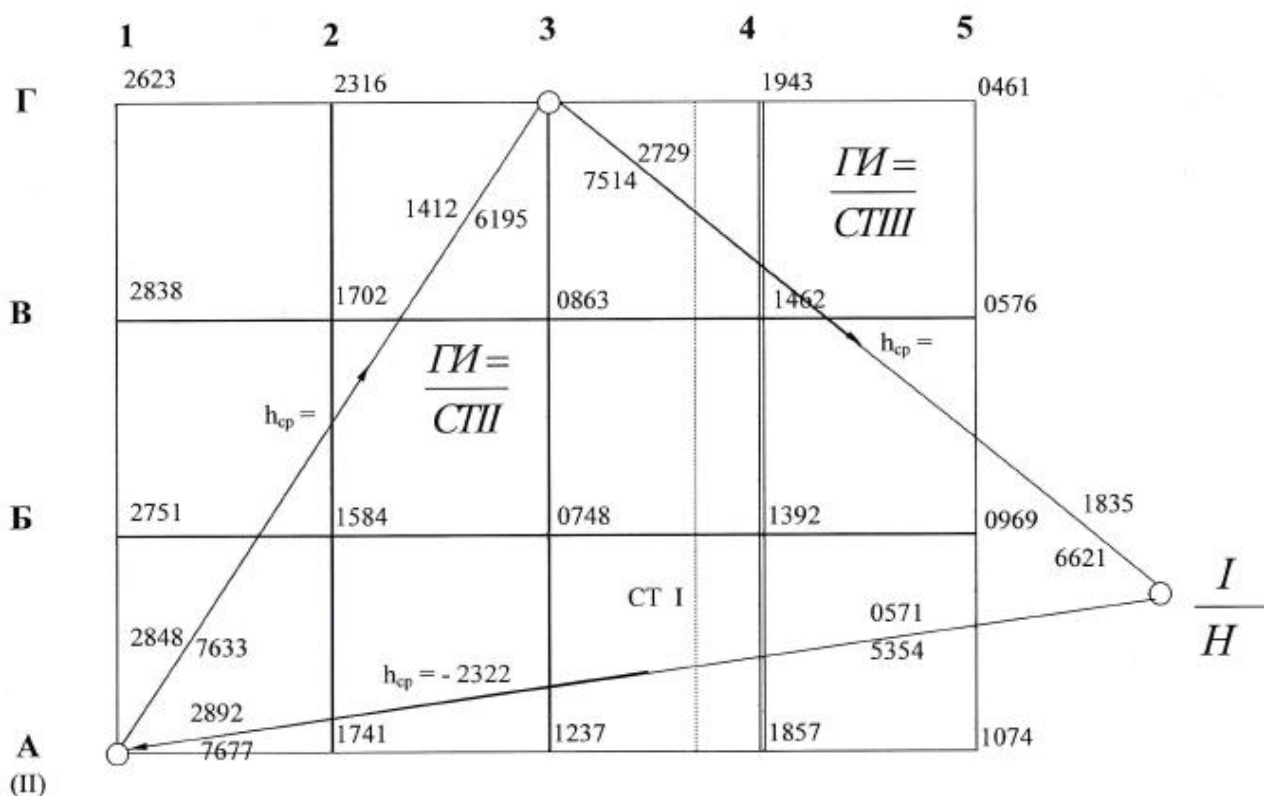


Рисунок 54 – Схема нивелирования по квадратам и его результаты

На его примере рассмотрим как проводится нивелирование поверхности III класса. Внутри сетки квадратов от точки Рп1 с известной отметкой (для примера возьмем  $H_{Pп1} = 116,16$  м.) проложен замкнутый нивелирный ход. Отметка  $H_{Pп1}$  задается по формуле:

$$H_{Pп1} = 100,00 + N, N, \quad (65)$$

где N – номер студента по списку.

Например, для студента под номером 5 по списку задается номер 105,05 м. н. у. м., а номером 15 – 115,15 м. н. у. м.

На начальном этапе необходимо определить высоту вершин замкнутого нивелирного хода. Для этого определим превышение отсчетов по красной и черной сторонам рейки. Для первой станции между вершинами I и II:

$$h_1 = a_{ч} - b_{ч} = 0571 - 2892 = -2321$$

$$h_2 = a_{кр} - b_{кр} = 5354 - 7677 = -2323$$

$$h_{cp.1} = \frac{-2321 + (-2323)}{2} = -2322$$

Находим превышение между точками II и Г3.

$$h_1 = a_{ч} - b_{ч} = 2848 - 1412 = 1436$$

$$h_2 = a_{кр} - b_{кр} = 7633 - 6195 = 1438$$

$$h_{\text{ср.2}} = \frac{1436 + 1438}{2} = 1437$$

Определяем превышение между точками ГЗ и I.

$$h_1 = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}} = 2729 - 1835 = 0894$$

$$h_2 = a_{\text{кр}} - b_{\text{кр}} = 7514 - 6621 = 0893$$

$$h_{\text{ср.3}} = \frac{0894 + 0893}{2} = 0894$$

Находим сумму средних превышений нивелирного хода.

$$\Sigma h = h_{\text{ср1}} + h_{\text{ср2}} + h_{\text{ср3}} = -2322 + 1437 + 0894 = 9 \text{ мм.}$$

Эта величина является невязкой нивелирного хода. Чтобы определить правильность измерений, сравниваем полученную невязку с допустимой.

Допустимая невязка определяется по формуле:

$$fh_{\text{доп.}} = \pm 10\sqrt{n}, \quad (66)$$

где  $n$  – количество сторон нивелирного хода.

Тогда:

$$fh_{\text{доп.}} = \pm 10\sqrt{3} = \pm 17,3 \text{ мм}$$

Измерения считаются правильными, если полученная невязка, меньше допустимой. Полученная невязка разбрасывается равномерно на все превышения с обратным знаком. Следовательно, 9 мм делим на 3 станции, получаем –3 мм с каждой станции. Рассчитываем исправленные превышения:

$$h_{\text{ст.1 испр.}} = -2322 - 0003 = -2325$$

$$h_{\text{ст.2 испр.}} = 1437 - 0003 = 1434$$

$$h_{\text{ст.3 испр.}} = 0894 - 0003 = 0891$$

Прибавив поправки к превышениям, получаем исправленные превышения.

Сумма исправленных превышений, которая должна быть равна нулю:

$$\Sigma h_{\text{исп}} = -2325 + 1434 + 0891 = 0$$

Находим абсолютные отметки точек II и ГЗ по формуле:

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h_{\text{исп}} \quad (67)$$

$$H_{II} = H_I + h_{cm1 \text{ исп}} = 116,16 - 2,325 = 113,835 \text{ м.}$$

$$H_{ГЗ} = H_{II} + h_{cm2 \text{ исп}} = 113,835 + 1,434 = 115,269 \text{ м.}$$

$$H_I = H_{ГЗ} + h_{cm3 \text{ исп}} = 115,269 + 0,891 = 116,16 \text{ м.}$$

Равенство исходной и конечной величины отметки  $H_{P11}$  свидетельствует о правильности проведенных расчетов.

Далее переходим к определению отметок промежуточных точек.

Все точки кроме I, II и ГЗ вычисляются как промежуточные. Все остальные точки, расположенные на углах квадратов, нивелируемой площадки, сняты как промежуточные со станций №2 и №3 (рис. 54). После того как со станции 2 были получены отсчеты на связующие точки, нивелир наводился на промежуточные рейки, расположенные в вершине квадратов по линиям 1, 2 и 3, брались отсчеты по черной стороне рейки. Аналогичным способом были получены остальные отсчеты со станции № 3 по линиям 4 и 5.

Пользуясь данными рис. 54 определяем высоту прибора (инструмента) для станции № 2 и № 3.

Вычисляем горизонты приборов для этих станций, прибавляя к высоте задней вершины её черный отсчет, а затем к передней вершине её отсчет по черной стороне реки:

$$ГП_{1СТ2} = H_{II} + a = 113,835 + 2,848 = 116,683$$

$$ГП_{2СТ2} = H_{ГЗ} + a = 115,269 + 1,412 = 116,681$$

Рассчитываем среднее значение полученных горизонтов прибора:

$$ГП_{ср СТ1} = (116,683 + 116,681) / 2 = 116,682$$

Аналогичным образом определяем высоту горизонта прибора для станции 3:

$$ГП_{1СТ3} = H_{ГЗ} + a = 115,269 + 2,729 = 117,998$$

$$ГП_{2СТ3} = H_I + a = 116,16 + 1,835 = 117,995$$

Находим усредненное значение высоты горизонта прибора станции 3, округляя доли миллиметра до целого значения:

$$ГП_{ср СТ3} = (117,998 + 117,995) / 2 = 117,997$$

Вычисляем абсолютные отметки всех точек площадки для станции 2, по формуле:

$$H_i = ГП_{ср} - c, \quad (68)$$

где  $c$  отсчет по рейкам на углах площадки.

Например:

$$H_{Г1} = ГП_{ср СТ1} - 2,623 = 116,682 - 2,623 = 114,059 \text{ м.}$$

$$H_{В1} = ГП_{ср СТ1} - 2,838 = 116,682 - 2,838 = 113,844 \text{ м.}$$

$$H_{Г4} = ГП_{срСТЗ} - 1943 = 117,997 - 1,943 = 116,054 \text{ м.}$$

Аналогичным образом вычисляем абсолютные отметки всех точек, снятых со станции 2 и 3. Данные выносим на сетку квадратов. В результате расчетов получаем сетку квадратов с абсолютными отметками вершин каждого квадрата (рис. 55). Отметки высот округляем до тысячных долей метра. Записывать высоты следует книзу от угла и внутри квадрата черным цветом.

|   |         |         |         |         |         |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| Г | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       |
|   | 114,059 | 114,366 | 115,269 | 116,054 | 117,536 |
| В | 113,844 | 114,980 | 115,819 | 116,535 | 117,421 |
| Б | 113,835 | 115,098 | 115,934 | 116,605 | 117,028 |
| А | 113,835 | 114,941 | 115,445 | 116,140 | 116,923 |

*Рисунок 55 – Результаты расчета абсолютной высоты углов квадратов*

Результаты расчетов высот необходимо перенести на топографический план и подписать высоты углов сетки квадратов.

## 2.5 Построение горизонталей и графика заложений

### Задание 36

Постройте горизонтали и график заложений на топографическом плане.

Заключительный этап работ с топографическим планом связан с построением горизонталей – линий, соединяющие одинаковые

высоты. Кроме того, в нижнем левом углу необходимо поместить график заложений.

Существует два способа построения горизонталей графический и аналитический.

При графическом способе строится палетка, т. е. проводится ряд параллельных линий через 1 или 0,5 см. Производится оцифровка палетки. Для этого на сетке квадратов выбирается наименьшая отметка, такой отметкой в нашем варианте является отметка точки  $H_{A1} = 113,835$  м (рис. 55).

Оцифровку начинаем с числа, которое меньше, наименьшей отметки и нацело, делиться на 0,5 метра (высота сечения рельефа в данном задании). Таким числом является 113,5 м. Оцифровку производим через 0,5 м. На перпендикулярах, восстановленных из вершин квадратов, последовательно, откладываем значения отметок, по линии Г.

Соединив полученные точки, получаем ломаную линию. Ее пересечение с линиями палетки, дает положение горизонталей на линиях палетки (рис. 56). Опустив перпендикуляры из точек пересечения на линию Г, определяем на ней положение горизонталей. Числовое значение горизонтали равно, числовому значению линии палетки, с которой опущен перпендикуляр. Аналогичным образом находим положение горизонталей на линиях В, Б, и А.

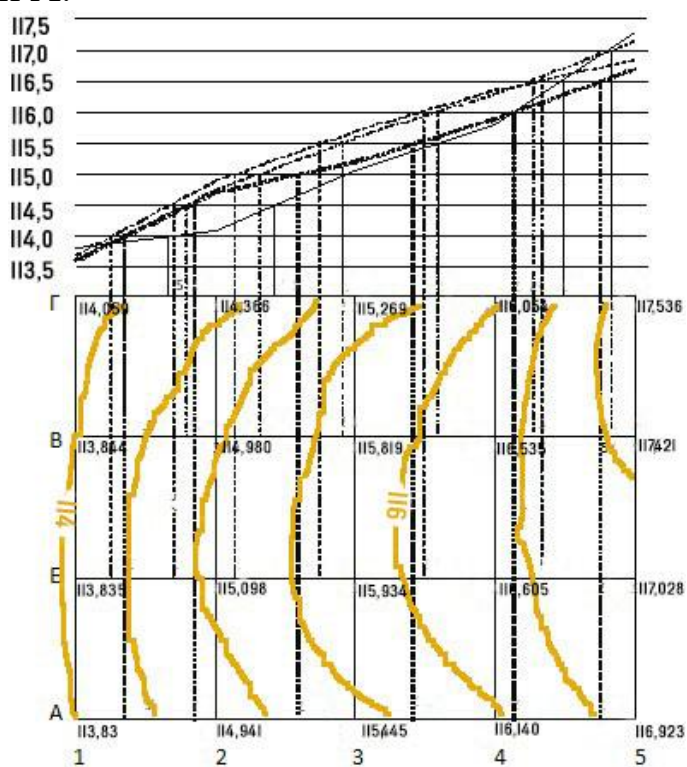


Рисунок 56 – Построение горизонталей графическим способом

При более сложном рисунке рельефа, линии палетки строятся также параллельно линиям 1 или 5 и находится положение горизонталей на осях 1; 2; 3; 4; 5. В нашем варианте подобных построений не требуется. Соединяя точки с одинаковыми отметками, строим горизонтали. Горизонтالي наносятся коричневым цветом. Подписываем только целые четные горизонтали, верх цифры направлен в сторону увеличения рельефа. Можно построить горизонтали на отдельном листе, а затем перенести их на план. Необходимо обратить внимание на порядок нумерации квадратов на абрисе и на схеме нивелирования.

*Аналитический способ* заключается в том, что положение горизонталей на линиях, соединяющих точки с известными отметками, находятся путем математических расчетов. Например: имеется квадрат ABCD с известными абсолютными отметками его вершин (рис. 57). Между точками А и В с отметками 53,320 и 54,802, через 0,5 м, можно провести три горизонтали 53,5; 54,0; 54,5. Расстояние между этими точками в 1:1000 масштабе равно 8 сантиметрам, или 80 мм. На местности этому расстоянию соответствует 80 метров. Определяем превышение между точками В и А:

$$h = H_B - H_A = 54,802 - 53,320 = 1,482 \text{ м.}$$

Разделив полученное превышение на расстояние в миллиметрах, получаем величину  $i = 1,482 / 80 = 0,018$ , равную изменению превышения на 1 мм. расстояния на плане. Ближайшей горизонталью к точке А является горизонталь 53,5. Определяем превышение между ней и отметкой точки А:

$$h_1 = H_A - 53,320 = 53,5 - 53,320 = 0,180 \text{ м.}$$

Разделив  $h_1$  на  $i$ , получаем расстояние от т. А до горизонтали 53,5 в миллиметрах:

$$X_1 = \frac{h_1}{i} = \frac{0,18}{0,018} = 10 \text{ мм}$$

Откладываем полученное расстояние от точки А и получаем положение горизонтали на линии АВ. Аналогичным образом определяем положение горизонтали 54,5:

$$h_2 = H_B - 54,5 = 54,802 - 54,5 = 0,302$$

$$X_2 = \frac{h_2}{i} = \frac{0,302}{0,018} = 16,8 \text{ мм}$$

Отложив (16,8 мм.) от точки В, определяем положение горизонтали 54,5 на линии АВ.

Положение 54 горизонтали на линии АВ можно найти, разделив расстояние между горизонталями 53,5 и 54,5 пополам.

Если между точками проходит значительное количество горизонталей, то расстояние между ними можно определить, разделив высоту сечения рельефа (в нашем варианте 0,5 м) на  $i$ . Аналогичным образом определяем положение горизонталей на линиях ВД, АС и СД. Соединив, точки с одинаковыми отметками строим горизонтали (рис. 57).

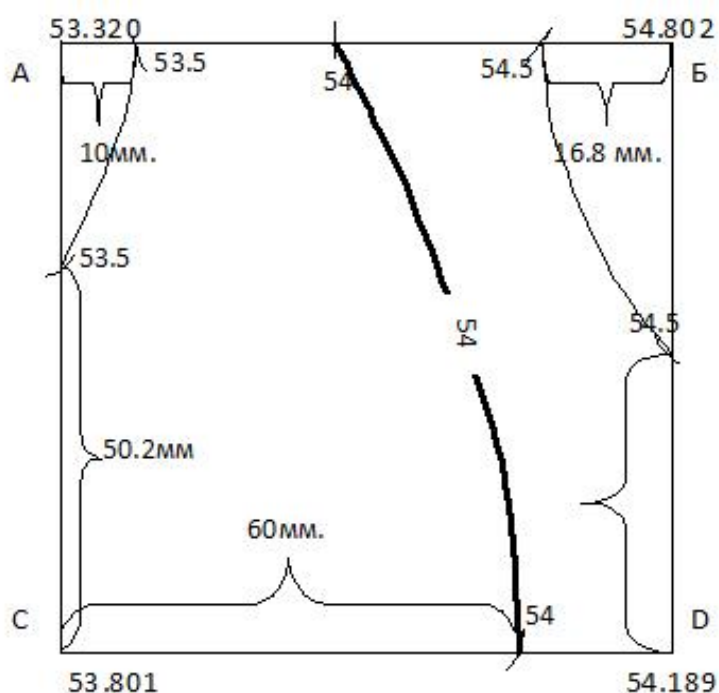


*Рисунок 57 – Построение горизонталей аналитическим способом*

После завершения интерполяции и вычерчивания горизонталей на топографическом плане масштаба 1:500, обеспечивающих наглядное и количественное отображение рельефа местности, возникает необходимость в оперативном определении крутизны скатов между смежными горизонталями. Для решения этой задачи в правом нижнем углу плана (обычно под южной рамкой) строится специальный вспомогательный график – график заложений.

*График заложений* представляет собой номограмму, связывающую заложение (горизонтальное расстояние между соседними горизонталями на плане) с углом наклона ската (крутизной). Его использование позволяет без вычислений определять крутизну ската по измеренному циркулем–измерителем заложению непосредственно на плане.

На свободном месте плана (желательно в нижнем левом углу) строится график заложения для определения углов наклона или уклонов. Уклон определяется по формуле 180:

$$i = \tan \gamma = \frac{h}{d}, \quad (69)$$

где  $h$  – высота сечения (в нашем варианте  $h = 0.5$  м),

$d$  – расстояние между горизонталями на плане по которому определяется уклон.

Из предыдущей формулы можно вывести, что  $d = h/\tan \gamma$ .  $h$  – величина постоянная равная 0.5 м., поэтому величина  $d$  будет зависеть только от изменения  $\tan \gamma = i$ . Построение графика заложения производим в следующем порядке:

а. На горизонтальной оси графика откладываем 9–10 равных отрезков длиной 1 см. Из концов отрезков восстанавливаем перпендикуляры.

б. Под границами отрезков подписываем значения уклонов, начиная с 0.01.

в. Находим значения  $d$  для каждого уклона. Например:  $i = 0.01$ ,  $h = 0.5$  м, тогда  $d = h / i = 0.5 / 0.01 = 50$  м.

г. В 1:500 масштабе откладываем величину  $d$  по перпендикулярам: 50 м. в 1:500 масштабе равно 10 см.

д. Вычисляем оставшиеся расстояния  $d$  и откладываем их в масштабе на графике.

Полученные точки соединяем плавной линией (рис. 58).

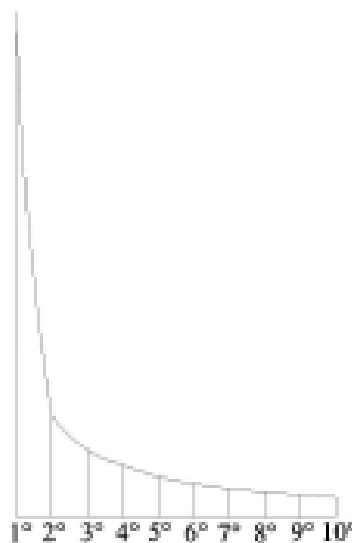


Рисунок 58 – График заложений для определения уклонов

График заложения может быть направлен в другую сторону, если поменять направление смены значений уклонов на обратное. Это связано с удобством его размещения на плане, так как свободное место для графика может быть, как в правом, так и в левом углу плана.

Для определения крутизны ската между двумя горизонталями:

1. Раствором циркуля–измерителя берут заложение  $d$  на плане;
2. Переносят раствор на график заложений так, чтобы одна ножка находилась на горизонтальной оси, а другая – на кривой графика;
3. По вертикальной шкале считывают значение угла  $\nu$  с точностью до  $0,1^\circ$ .

Таким образом, график заложений служит практическим инструментом анализа рельефа, дополняя графическое изображение горизонталей количественной характеристикой формы земной поверхности.

## **2.6 Оформление топографического плана**

### **Задание 34**

Завершите оформление топографического плана.

На рис. 59 приведен пример оформленного топографического плана. Необходимо обратить внимание, что сетка квадратов стирается, а вместо неё ставятся перекрестия зеленым цветом размером  $10 \times 10$  мм (см. табл. 24). Все линии построений, включая линии теодолитного хода стираются. Репером является только точка I теодолитного хода. В случае, если объекты ситуации местности выходят за пределы сетки квадратов, то рамку следует «разорвать» и начертить объекты за её пределами.

Особое внимание уделяется оформлению рельефа: основные горизонталы (через 1,0 м) вычерчиваются утолщённой линией толщиной 0,25 мм, а промежуточные (через 0,5 м) – тонкой линией 0,1 мм; подписи горизонталей выполняются коричневым цветом с разрывом линии, при этом верх цифр всегда ориентирован в сторону повышения рельефа. В правом нижнем углу плана размещается стандартный штамп установленной формы с указанием масштаба, названия участка, фамилии исполнителя и даты выполнения (рис. 60–61).

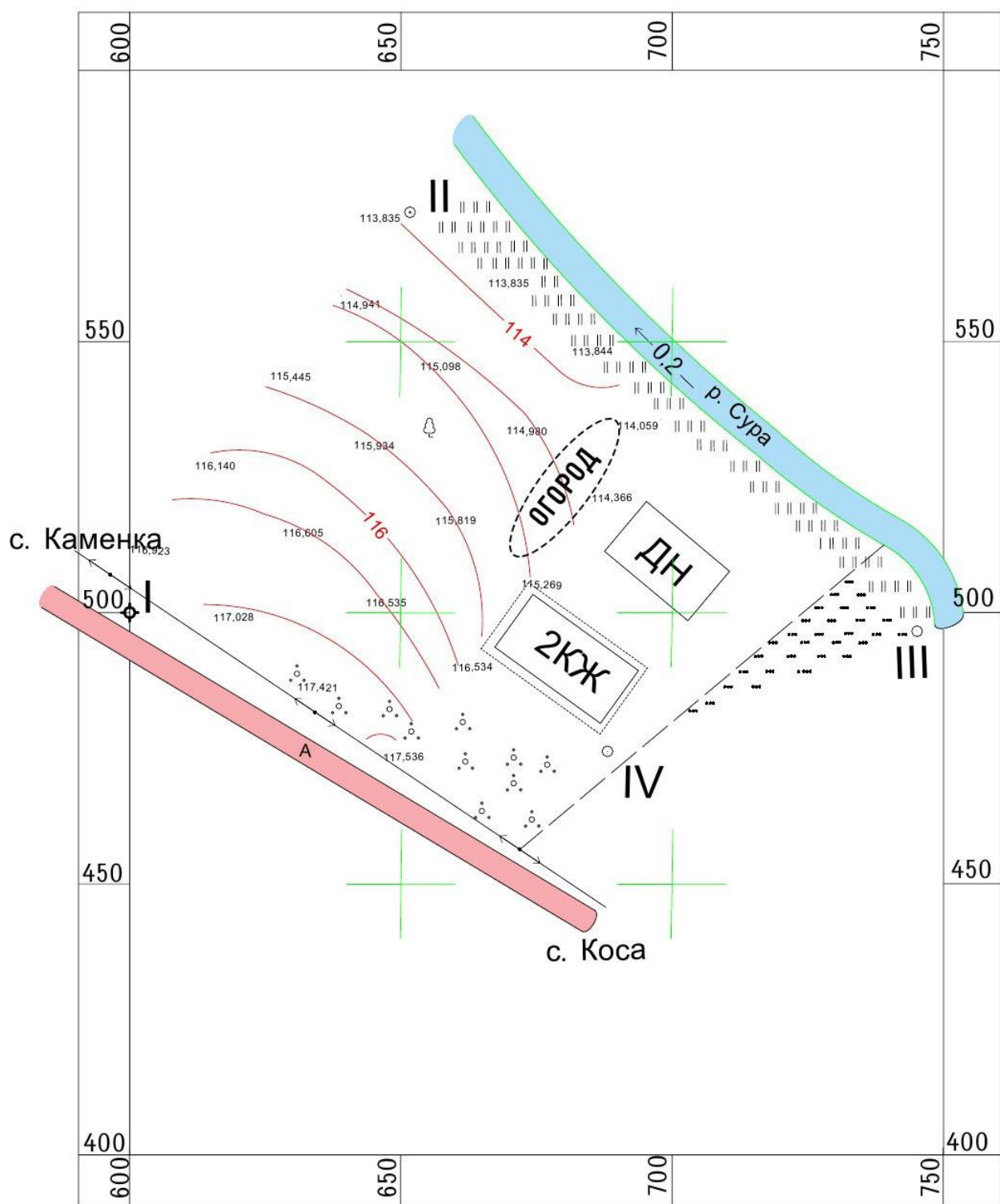


Рисунок 59 – Пример оформленного топографического плана



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Освоение практических работ по дисциплине «Геодезия» представляет собой завершающий этап формирования профессионально значимых компетенций у студентов аграрных и лесных направлений подготовки, обеспечивая трансформацию теоретических знаний в устойчивые практические навыки, необходимые для решения реальных производственных задач. В процессе выполнения лабораторных и расчетно–графических работ обучающиеся приобретают способность к самостоятельному проведению геодезических измерений, обработке полученных данных с оценкой их точности, интерпретации топографической информации и применению геодезических методов при проектировании землеустроительных, мелиоративных и лесохозяйственных мероприятий. Систематическое выполнение практических заданий формирует у студентов критическое отношение к результатам измерений, понимание источников погрешностей и методов их минимизации, что является неотъемлемым элементом инженерной культуры будущего специалиста.

Практическая значимость освоенных методик проявляется в их непосредственной применимости к профессиональной деятельности выпускников:

- агрономы используют геодезические данные для проектирования полей с учетом рельефа, определения границ сельскохозяйственных угодий и расчета объемов земляных работ при создании противоэрозионных сооружений;
- лесоводы применяют навыки работы с топографическими планами при таксации лесных насаждений, проектировании лесных дорог и организации рубок ухода с учетом микрорельефа;
- агрохимики и почвоведы используют геодезическую основу для проведения почвенных съемок, зонирования территорий по агроэкологическим показателям и проектирования адаптивно–ландшафтных систем земледелия.

Завершение цикла практических работ подтверждается успешной защитой расчетно–графических заданий и сдачей зачета, что свидетельствует о сформированности у обучающихся необходимого уровня компетентности в области геодезии. Овладение материалом учебного пособия позволяет выпускникам уверенно использовать топографо–геодезическую информацию при решении профессиональных задач,

обеспечивать геопространственную привязку агротехнологических и лесохозяйственных мероприятий, а также взаимодействовать со специалистами смежных профессий – землеустроителями, кадастровыми инженерами и проектировщиками. Приобретенные навыки становятся фундаментом для дальнейшего профессионального роста и освоения смежных дисциплин, таких как землеустройство, кадастр, лесоустройство и агроэкология, обеспечивая целостность и системность подготовки высококвалифицированного специалиста в области сельского хозяйства, лесного хозяйства и почвоведения.

Практикум, базируясь на требованиях федеральных государственных образовательных стандартов и профессиональных стандартов отрасли, представляет собой методически выверенный инструмент формирования практических умений, адаптированный к специфике аграрного и лесного образования. Его содержание отражает баланс между традиционными геодезическими методами, имеющими фундаментальное значение для понимания принципов измерений, и современными технологиями, определяющими вектор развития отрасли. Освоение представленного материала способствует не только формированию профессиональных компетенций, но и развитию пространственного мышления, аналитических способностей и ответственного отношения к точности выполняемых работ – качеств, составляющих основу инженерной культуры современного специалиста агропромышленного и лесного комплекса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адер, А.В. Инженерная геодезия и геоинформатика: Учебное пособие / А. В. Адер. – Москва: ФГБУ ДПО "Учебно–методический центр по образованию на железнодорожном транспорте", 2024. – 256 с. – EDN CBNDFV.
2. Акулинина, М.А. Геодезия с основами землеустройства : методические указания по проведению лабораторных занятий для обучающихся по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия / М.А. Акулинина, О.А. Матвеева, В.И. Кузнецов; ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2022. – 44 с. – EDN CWULYT.
3. Баранова, Д.В. Землеустройство, геодезия и мелиорация: учебное пособие для обучающихся по направлению подготовки 35.03.04 Агрономия / Д. В. Баранова, А. О. Белоусов. – Санкт–Петербург: Санкт–Петербургский государственный аграрный университет, 2025. – 85 с. – ISBN 978–5–85983–498–3. – EDN NXGSNU.
4. Брыжко, О.Г. Геодезия : Методические указания для выполнения лабораторных работ / О.Г. Брыжко, Т.Е. Плотникова; Пермский государственный аграрно–технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова. Том Часть 1. – Пермь: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Пермский государственный аграрно–технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова", 2023. – 64 с. – EDN KXQSAJ.
5. Букин, С.Н. Геодезия: учебное пособие по направлению подготовки 21.03.02 "Землеустройство и кадастры": в 3 ч. / С.Н. Букин, Е.П. Тюкленкова, Е.С. Денисова. Том Ч.1. – Пенза: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2022. – 192 с. – EDN AMGBUG.
6. Геодезия с основами землеустройства: учебное пособие / составители Н.В. Ермолаева, А.Н. Александрова. – пос. Караваево: КГСХА, 2023 – Часть 1 : Геодезия – 2023. – 84 с. – Текст: электронный // Лань: электронно–библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/416780> (дата обращения: 09.01.2025).
7. Геодезия. Практикум для дистанционной работы студентов : учебное пособие для вузов / Ю.Н. Корнилов, А.Ю. Романчиков, А.А. Боголюбова, Н.С. Павлов. – 2–е изд., испр. и доп. – Санкт–Петербург: Лань, 2024. – ISBN 978–5–507–48136–1. – Текст : электронный // Лань: электронно–библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/392378> (дата обращения: 07.01.2025).
8. Горбунова, В.А. Геодезия: лабораторный практикум : учебное пособие / В.А. Горбунова, В.П. Хамянок. – Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – ISBN 978–5–00137–430–5. – Текст : электронный // Лань: электронно–библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/399743> (дата обращения: 06.01.2025)
9. Дужников, А.П. Геодезия : Программа учебной практики для студентов, обучающихся по направлению подготовки 250100 – Лесное дело, профиль «Лесное хозяйство», квалификация – бакалавр / А.П. Дужников, А.В. Лянденбургская. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2012. – 37 с. – EDN YAUPAL.

10. Инструкция по межеванию земель. Утверждена Комитетом РФ по земельным ресурсам и землеустройству от 08.04.1996 г.

11. Козодоев, В.В. Геодезия: Учебник для студентов среднего профессионального образования, обучающихся по специальности «Лесное и лесопарковое хозяйство» / В.В. Козодоев. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Издательство "КноРус", 2023. – 376 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978–5–406–11144–4. – EDN HZIAAL.

12. Кузнецов, В.И. Инженерная геодезия : Методические указания по проведению практических занятий для обучающихся по направлению подготовки 08.03.01 Строительство / В.И. Кузнецов, Т.В. Репенко, О.А. Матвеева. – Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2025. – 44 с. – EDN FVGIZK.

13. Чернигова, Д.Р. Геодезия (общий курс): учебное пособие для студентов очного, заочного и заочного с применением дистанционных образовательных технологий обучения, обучающихся по направлению подготовки 35.03.03 Агрохимия и агропочвоведение / Д.Р. Чернигова, М.А. Оширова; Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского. – Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2019. – 163 с. – EDN XJWANG.

14. Щербакова, Е.В. Геодезия: Рабочая тетрадь / Е.В. Щербакова. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2024. – 60 с. – ISBN 978–5–7038–6308–4. – EDN VOCRQR.

*Учебное издание*

Николай Николаевич Солодков

## ГЕОДЕЗИЯ

практикум

Компьютерная верстка – Н.Н. Солодков  
Корректор – Л.Н. Каменская

---

Подписано в печать  
Бумага офсетная  
Тираж 20

Формат 60×84 1/16  
Усл.печ.л. 3,12  
Заказ №

---

РИО ПГАУ  
440014, Пенза, ул. Ботаническая, 30