

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
Факультет географии и геоинформатики
Кафедра геодезии и космоаэрокартографии

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

_____ А.П. Романкевич

«10» ноября 2020 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

_____ Д.М. Курлович

«26» ноября 2020 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель учебно-методической
комиссии факультета

_____ Е.Г. Кольмакова

«26» ноября 2020 г.

Топография с основами геодезии

Электронный учебно-методический комплекс
с креативным компонентом

для специальностей:

- 1-31 02 01 «География (по направлениям)»,
- 1-31 02 02 «Гидрометеорология»,
- 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»,
- 1-33 01 02 «Геоэкология»,
- 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»,
- 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)»

Регистрационный № 2.4.2-12/116

Составители:

Романкевич Александр Петрович, кандидат географических наук, доцент;

Жумарь Павел Владимирович, кандидат географических наук;

Толпинский Андрей Сергеевич.

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
07.12.2020 г., протокол № 2.

Минск 2020

УДК 528(075.8)
Т 583

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ.
Протокол № 2 от 07.12.2020 г.

Решение о депонировании вынес:
Совет факультета географии и геоинформатики
Протокол № 3 от 26 ноября 2020 г.

С о с т а в и т е л и:

Романкевич Александр Петрович, кандидат географических наук, кафедра геодезии и космоаэрокартографии БГУ;

Жумарь Павел Владимирович, кандидат географических наук, кафедра геодезии и космоаэрокартографии БГУ;

Толпинский Андрей Сергеевич, кафедра геодезии и космоаэрокартографии БГУ.

Под общей редакцией А. П. Романкевича

Рецензенты:

кафедра «Геодезия и аэрокосмические геотехнологии» Белорусского национального технического университета (заведующий кафедрой Рак И.Е., кандидат технических наук, доцент);

Левша Ф.А., заместитель директора государственного предприятия «Белгеодезия», кандидат технических наук

Топография с основами геодезии : электронный учебно-методический комплекс с креативным компонентом для специальностей: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 02 «Гидрометеорология», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» / БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. геодезии и космоаэрокартографии ; сост.: А. П. Романкевич, П. В. Жумарь, А. С. Толпинский ; [под общ. ред. А. П. Романкевича]. – Минск : БГУ, 2020. – 181 с. : ил. – Библиогр.: с. 170–171.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) с креативным компонентом «Топография с основами геодезии» предназначен для студентов географических специальностей. Содержание ЭУМК предполагает изучение основных вопросов, составляющих фундамент топографо-геодезического метода географических исследований: создание и использование топографических карт и планов, виды геодезических измерений и оценка их точности. В ЭУМК представлены сведения об основных приборах, применяемых в топографо-геодезическом производстве.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	6
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	8
1.1. ВВЕДЕНИЕ.....	8
1.1.1. Предмет и задачи топографии и геодезии.....	8
1.1.2. Краткий очерк развития топографии и геодезии.....	10
1.1.3. Единицы мер в топографии и геодезии	14
1.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.....	15
1.2.1. Форма и размеры Земли	15
1.2.2. Методы определения формы и размеров Земли	17
1.2.3. Методы проецирования земной поверхности.....	19
1.2.4. Размеры участков земной поверхности, принимаемые за плоскость.....	20
1.2.5. Системы координат, применяемые в топографии и геодезии.....	21
1.2.6. Ориентирование направлений в топографии и геодезии.....	25
1.2.7. Связь между полярной и прямоугольной системами координат.....	28
1.3. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ И КАРТЫ.....	29
1.3.1. Понятие о плане и карте. Основные свойства и элементы топографических карт	29
1.3.2. Проекции топографических карт. Зональная система плоских прямоугольных координат	31
1.3.3. Масштабы планов и карт.....	33
1.3.4. Разграфка и номенклатура карт.....	36
1.3.5. Понятие о картографической генерализации.....	39
1.3.6. Условные знаки топографических карт.....	41
1.3.7. Рельеф земной поверхности и его изображение на топографических картах	43
1.3.8. Определение плановых координат и измерение ориентирующих направлений на топографических картах	50
1.3.9. Анализ топографических карт. Географическое описание местности.....	52
1.4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ	54
1.4.1. Понятие об измерениях	54
1.4.2. Классификация ошибок измерений	54
1.4.3. Свойства случайных ошибок.....	55
1.4.4. Оценка точности результатов равноточных измерений. Арифметическая середина.....	56
1.4.5. Оценка точности результатов неравноточных измерений	58
1.5. ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ	60
1.5.1. Теодолиты и их виды. Устройство оптических теодолитов.....	61
1.5.2. Поверки теодолитов.....	65
1.5.3. Установка теодолита и измерение горизонтальных углов	67
1.5.4. Измерение вертикальных углов.....	71

1.5.5. Измерение магнитных азимутов	71
1.6. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ.....	72
1.6.1. Непосредственное измерение расстояний.....	72
1.6.2. Определение неприступных расстояний	74
1.6.3. Измерение расстояний оптическими дальномерами.....	75
1.6.4. Понятие об электромагнитных измерениях расстояний.....	78
1.7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ СЕТИ	79
1.7.1. Виды геодезических опорных сетей	79
1.7.2. Плановая съёмочная геодезическая сеть	82
1.7.3. Математическая обработка теодолитного хода	83
1.7.4. Вычисление координат отдельных точек	87
1.7.5. Понятие о спутниковых системах позиционирования.....	88
1.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. НИВЕЛИРОВАНИЕ	91
1.8.1. Геометрическое нивелирование	91
1.8.2. Нивелиры и их устройство	92
1.8.3. Поверки и юстировки нивелиров	94
1.8.4. Нивелирование трассы	95
1.8.5. Обработка результатов геометрического нивелирования	97
1.8.6. Тригонометрическое нивелирование	100
1.8.7. Физические способы нивелирования	102
1.9. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ	103
1.9.1. Классификация съёмок	103
1.9.2. Способы съёмки ситуации и рельефа	104
1.9.3. Тахеометрическая съёмка	105
1.9.4. Производство тахеометрической съёмки теодолитом.	107
1.9.5. Современная технология производства топографической съёмки.....	113
1.10. ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ.....	116
1.10.1. Общие сведения об аэрофотосъёмке	116
1.10.2. Комбинированная съёмка	118
1.10.3. Дешифрирование фотопланов и аэрофотоснимков	120
1.10.4. Понятие о стереотопографической съёмке	122
1.10.5. Наземная фототопографическая (фототеодолитная) съёмка	123
1.11.ОРИЕНТИРОВАНИЕ НА МЕСТНОСТИ	123
1.11.1. Ориентирование по карте.....	125
1.11.2. Определение сторон горизонта по небесным светилам и местным предметам.....	126
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	128
2.1. Измерения на топографических картах	128
2.1.1. Масштабы. Измерение прямых и кривых линий на топографических картах	128

2.1.2. Определение прямоугольных и географических координат точек на топографических картах	132
2.1.3. Полярная система координат. Азимуты, дирекционные углы и взаимосвязь между ними	136
2.1.4. Изображение рельефа на топографических картах. Задачи, решаемые на картах с горизонталями	139
2.1.5. Определение номенклатуры и масштабов топографических карт	149
2.2. Математическая обработка топографо-геодезических измерений. составление топографического плана	160
2.2.1. Математическая обработка замкнутого теодолитного хода	160
2.2.2. Математическая обработка данных тахеометрической съемки	161
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ	165
3.1. Вопросы к экзамену по дисциплине «Топографии с основами геодезии»	165
3.1.1. Теоретические вопросы	165
3.1.2. Практические вопросы	167
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ	168
4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине	168
4.2. Рекомендуемая литература	170
4.3. Электронные ресурсы	171
Приложение 1. Словарь топографо-геодезических терминов	172

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) с креативным компонентом по учебной дисциплине «Топография с основами геодезии» предназначен для реализации требований образовательных программ, образовательных стандартов и учебных планов по специальностям: 1 - 31 02 01 «География» (по направлениям) ОСВО 1-31 02 01-2013 и УВО G 31-151/уч. 2013 г.; 1 - 31 02 02 «Гидрометеорология» ОСВО 1-31 02 02-2013 и УВО G 31-148/уч. 2013 г.; 1 - 31 02 03 «Космоаэрокартография» ОСВО 1-31 02 03-2013 и УВО G 31-227/уч. 2018 г.; 1 - 33 01 02 «Геоэкология» ОСВО 1-33 01 02-2013 и УВО Н 33-011/уч. 2013 г., 1 – 51 01 01 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых» ОСВО 1-51 01 01-2013 и УВО I 51-004/уч. 2013 г. и 1 - 56 02 02 «Геоинформационные системы» (по направлениям) ОСВО 1 - 56 02 02 -2015 и УВО G 31-148/уч. 2013 г.

Данный ЭУМК предназначен для обеспечения выполнения требований упомянутых образовательных стандартов и учебных планов. Целью ЭУМК является улучшение систематизации знаний студентов по учебной дисциплине «Топография с основами геодезии», контроля учебного процесса, доступа студентов к учебным материалам и ориентирования по пути их освоения.

Основной областью применения ЭУМК предполагаются лекционные, лабораторные, практические и другие занятия по дисциплине «Топография с основами геодезии», а также самоподготовка к текущему и итоговому контролю знаний по предмету с креативным компонентом. Может быть использован также при подготовке курсовых работ и прохождении учебной топографической практики. На это нацелен весь функционал ЭУМК.

Весь учебный материал организован по разделам таким образом, чтобы знаниями по учебной дисциплине «Топография с основами геодезии» студент мог овладеть самостоятельно. Он включает четыре основных раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный. Теоретический раздел ЭУМК содержит курс лекций по дисциплине, необходимых для изучения ее теоретического содержания.

Практический раздел ЭУМК включает методические материалы к выполнению практических и лабораторных работ в двух частях. В первой части приведены методические указания по решению задач по топографической карте. Во второй части изложены указания к выполнению математической обработки материалов топографических съемок и составлению топографического плана.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы к контролю знаний и к аттестации. Данный раздел включает вопросы к экзамену по предмету.

Вспомогательный раздел ЭУМК содержит учебно-методическую карту программы по учебной дисциплине «Топография с основами геодезии», списки

основной и дополнительной литературы, а также словарь топографо-геодезических терминов.

ЭУМК с креативным компонентом по учебной дисциплине «Топография с основами геодезии» предназначен для преподавателей, студентов, аспирантов, магистрантов, изучающих географические науки.

Дисциплина «Топография с основами геодезии» раскрывает теоретические, методические и технологические основы геодезических измерений, топографических съемок, ориентирования на местности и другие вопросы. В дисциплине «Топография с основами геодезии» также изложены исторические этапы развития; объект, принципы и методы геодезии; элементы теории ошибок; основные понятия о топографических картах и планах, особенности их содержания; необходимые сведения о системах координат, применяемых в геодезии и топографии; устройство основных геодезических инструментов.

В результате изучения данной дисциплины студент должен уметь извлекать качественную и количественную информацию об объектах местности по картам, проводить геодезические измерения на местности и топографические съемки в крупных масштабах, выполнять камеральную обработку результатов полевых изысканий. В дальнейшем полученные знания, умения и навыки формируют основу для осмысленного использования карт в учебной деятельности и служат базой для последующего изучения географических дисциплин.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Курс лекций «Топография с основами геодезии» составлен для студентов специальностей 1-31 02 01 «География» (по направлениям); 1-31 02 02 «Гидрометеорология»; 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»; 1-33 01 02 «Геоэкология» и 1-56 02 02 «Геоинформационные системы» (по направлениям) в соответствии с действующими учебными программами и Государственным стандартом образования Республики Беларусь.

Материал, содержащийся в пособии, отвечает на основные вопросы, составляющие фундамент топографо-геодезического метода географических исследований. Полученные знания по данному курсу лекций служат основой для изучения других географических дисциплин: картографии, геоморфологии, почвоведения, ландшафтоведения, геоэкологии и др.

В пособии изложен материал по основным разделам топографии и геодезии, представлены сведения об основных приборах, применяемых в топографо-геодезическом производстве, а также кратко рассмотрены современные методы координатных определений объектов на местности.

При изложении материала сохранена последовательность читаемого теоретического курса. Материал курса предусмотрен на возможность самостоятельного изучения данной дисциплины.

1.1. ВВЕДЕНИЕ

1.1.1. Предмет и задачи топографии и геодезии

Топография (от греч. *topos* – место, местность и *grapho* – пишу), научно-техническая дисциплина, изучающая земную поверхность и размещенные на ней объекты в геометрическом отношении, с целью изображения их на топографических картах, планах и профилях. Главной задачей топографии является – создание топографических карт и планов. Основной метод изучения земной поверхности – *топографическая съемка*. Топографическая съемка – это комплекс (совокупность) полевых измерений на местности и камеральных работ для создания топографических карт земной поверхности в заданном масштабе.

Термин «топография» часто принимают эквивалентным термину «геодезия», что в переводе с греческого означает землеразделение (*geodaisia*, *ge* – земля и *daizo* – делю на части, разделяю). С современной точки зрения, геодезия является наукой о методах изучения формы и размеров Земли, изображения ее поверхности на картах, а также о методах специальных измерений необходимых для решения инженерных, экономических и других задач. В процессе своего развития геодезия разделилась на ряд связанных между собой самостоятельных научных дисциплин – высшую геодезию,

топографию, космическую геодезию, фототопографию и инженерную геодезию.

К задачам *высшей геодезии* относятся определение фигуры и размеров Земли, изучение гравитационного поля Земли, определение на Земле взаимного положения точек, составляющих государственную геодезическую сеть (ГГС), необходимую для изучения земной поверхности и точного ее картографирования на плоскости с учетом возникающих при этом искажений.

В 1960-х гг. начал интенсивно развиваться новый раздел высшей геодезии – *космическая (спутниковая) геодезия*. Задачами данной дисциплины являются исследование основных параметров и внешнего гравитационного поля Земли и других планет Солнечной системы, а также определение координат пунктов земной поверхности в геоцентрической системе координат.

Фототопография (аэрофототопография) занимается изучением методов и средств создания топографических карт и планов по фотоснимкам поверхности Земли. Аэрофототопография тесно связана с фотограмметрией. *Фотограмметрия* – это научная и инженерно-техническая дисциплина, занимающаяся определением формы, размеров и положения различных объектов местности путем измерения их изображения на фотоснимках.

Инженерная геодезия, имеющая прикладное значение, представляет комплекс геодезических работ, выполняемых при изысканиях, строительстве и эксплуатации различных сооружений, а также при монтаже оборудования, при наблюдениях за вертикальными и горизонтальными смещениями инженерных сооружений.

В своей теории и практическом применении топография использует достижения целого ряда наук: математики, физики, электроники и др. Большое значение топография имеет для изучения географических дисциплин картографии, геоморфологии, почвоведения, геологии, ландшафтоведения и др.

В задачу *картографии* входят вопросы теории и способов изображения на плоскости частей земной поверхности (отдельных государств, материков, земного шара), а также разработка методов и процессов создания и использования различных карт.

Значение топографии для науки и практики трудно переоценить. Особенно велика роль топографии при картографировании природной среды. Описания местности не могут заменить топографических карт и планов, на которых наглядно передаются все подробности местности. Топографические карты являются необходимыми при проведении полевых экспедиционных работ и представляются незаменимыми при выполнении картометрических исследований. Созданные топографические карты являются основным материалом для составления общегеографических карт.

Большая роль принадлежит топографии и геодезии в народном хозяйстве. Геодезические измерения предшествуют многим основным видам деятельности в развитии народного хозяйства страны. Геодезические измерения

производятся на поверхности Земли и в ее недрах, в приземных слоях атмосферы, в океанах и морях.

Геодезические изыскания выполняются на стадии проектирования, строительства и реконструкции населенных пунктов, железных и шоссейных дорог, тоннелей, мостов, магистральных нефте- и газопроводов, и других объектов, а также для наблюдений за сдвигом и осадкой крупных сооружений.

Огромное значение геодезические работы имеют в сельском хозяйстве, с которым геодезия связана с древних времен. Проведение землеустроительных работ, направленных на рациональное использование земельных ресурсов, учет сельскохозяйственных земель и их качества, строительство гидромелиоративных и гидротехнических сооружений – все это тесно связано с геодезическими измерениями.

Геологические изыскания начинаются и заканчиваются с использованием геодезических материалов и измерений. Строительство метро, шахт и карьеров невозможно без проведения геодезических работ, которые выполняют горные геодезисты – *маркшейдеры*.

Особая роль принадлежит геодезии в вопросах обороноспособности государства. Топографические карты используются для изучения местности, при разработке военных операций и отображения на них боевой обстановки.

1.1.2. Краткий очерк развития топографии и геодезии

Истоки зарождения геодезии проследить исторически трудно. Вероятно, они относятся к тому времени, когда люди начали пользоваться землей для выращивания сельскохозяйственных культур. Поэтому возникла необходимость в делении земли, установлении площади ее отдельных участков. Позже методы геодезии потребовались для строительства оросительных и осушительных систем, разного рода инженерных сооружений.

Считается, что возникновение геодезии связано с деятельностью человека в плодородных долинах рек Нила, Тигра и Евфрата. В Египте сохранились древнейшие инженерные сооружения, строительство которых было невозможно без хорошо разработанных геодезических методов измерений. В 6 тысячелетии до н. э. был построен канал, соединяющий р. Нил с Красным морем. В 5 тысячелетии до н. э. проводились большие ирригационные работы на р. Нил и мероприятия по осушению болот и регулированию водных ресурсов. В это же время в Египте были построены грандиозные сооружения (пирамида Хуву с квадратным основанием, сторона которого равна 227,5 м и высотой 137,2 м, а также пирамида Хофры и др.). Возведение подобных сооружений несомненно было связано с геодезическими работами.

Однако геодезия, как наука, с разработкой соответствующих теоретических обоснований и методов оформилась несколько позже в Древней Греции и получила дальнейшее развитие в Древнем Риме.

В V в. до н. э. греческий ученый Парменид высказал предположение о шарообразности Земли. Доказательства этой гипотезы привел в своих сочинениях Аристотель (384–322 гг. до н. э.). Он же ввел термин «геодезия» и относил эту науку к отрасли знаний связанной с астрономией и географией.

Выдающийся астроном и географ, глава Александрийской библиотеки Эратосфен (276–194 гг. до н. э.) в своем труде «Географика» подробно рассмотрел вопрос о фигуре Земли, привел данные о размерах и форме ее обитаемой части – ойкумены, и показал последнюю на карте. Ему же принадлежит и наиболее близкое к действительности определение длины земного меридиана.

Развитие современных методов при выполнении геодезических работ относится к XVII в. Большим шагом вперед явилось разработка голландским ученым В. Снеллиусом метода триангуляции, благодаря которому стало возможным проводить на земной поверхности линейные измерения огромной протяженности, что позволило определять длины дуг параллелей и меридианов Земли. Во второй половине XVII в. появились первые геодезические приборы с оптической трубой – нивелиры. Теодолит с оптической трубой был изобретен лишь в конце XVIII в. английским механиком Рамсденом.

До конца XVII в. при определении размеров Земли исходным считалось, что Земля – шар. Ньютон (1643–1727) на основе открытого им закона всемирного тяготения теоретически обосновал неизбежность сплюснутости Земли у полюсов, если она когда-то была в огненно-жидком состоянии. Для проверки этой теории французская академия наук произвела геодезические измерения в Перу в 1735–1742 гг. по дуге пересекающей экватор и в 1736–1737 гг. в Лапландии на широте около 66°. Эти исследования подтвердили теорию Ньютона.

В конце XVIII в. французские ученые Ж. Деламбр и П. Мешен измерили дугу меридиана от Барселоны до Дюнкерка. На основе этих измерений были получены одни из первых точных данных о размерах земного эллипсоида и принята мера длинные линий – *метр*, как одна десятиmillionная часть четверти дуги Парижского меридиана.

Большой вклад в развитие топографии и геодезии внесли немецкие ученые К. Гаусс (теория ошибок измерений, общая теория изображения сферической поверхности на плоскости с сохранением равноугольности) и Ф. Бессель (определение параметров земного эллипсоида).

В России геодезия и топография получили широкое развитие при Петре I. В 1701 г. в Москве была построена первая в России школа математических и навигационных наук, в задачу которой входила подготовка навигаторов и геодезистов. В 1715 г. в Санкт-Петербурге была открыта морская академия с классом геодезии. В 1721 г. была разработана первая в России Инструкция по выполнению топографических съемок, на основе которой были составлены карты 164 уездов Европейской части России и 26 уездов Сибири. Большим

значением для развития геодезии было открытие в 1739 г. Географического департамента. Вскоре были изданы первые учебники по геодезии «Практическая геометрия» С. Назарова и «Первые основания геодезии» С. К. Котельникова.

В 1779 г. в Москве была основана Межевая школа, впоследствии – Межевой институт – высшее учебное заведение по подготовке геодезистов. К концу XVIII в. на территории России были определены координаты 67 астрономических пунктов. В 1797 г. было создано Депо карт, преобразованное в 1812 г. в Военно-топографическое депо, а затем в 1822 г. – в Корпус военных топографов. Наряду с Корпусом военных топографов геодезические работы выполняли Переселенческое управление, Межевое ведомство, Главное гидрографическое управление, Горное ведомство, Министерство путей сообщения, Русское географическое общество.

Геодезические работы по определению формы и размеров Земли в России были начаты в 1816 г. геодезистами академиком Петербургской Академии наук, директором Пулковской обсерватории В. Я. Струве (1793–1864) и почетным членом Петербургской Академии наук, генералом К. И. Теннером (1783–1860). Градусное измерение дуги меридиана протяженностью 25° 20' от устья р. Дунай до Ледовитого океана (г. Фугленс, Норвегия). Пункты наблюдения располагались и на территории Беларуси.

Большой вклад в развитие геодезии в России в XIX в. внес профессор А. П. Болотов, который в 1845 г. издал учебник «Курс высшей и низшей геодезии». Развитию геодезической теории и практики в то время содействовали научные труды ученых-геодезистов А. А. Тилло, В. В. Витковского, Ф. А. Слудского, А. Н. Савича, Д. Д. Геденова и др.

Достоверные сведения о проведении топографо-геодезических работ на территории Беларуси относятся к XVI в., когда она являлась основой Великого княжества Литовского. С середины XVI в. до середины XVIII в. большой объем геодезических работ выполнен при землеустройстве во время проведения «Валочнай памеры» для достоверного учета земель. Работы выполнялись на основе специальных инструкций – «Уставов», в которых содержались рекомендации мерщикам с примерами расчетов согласно разработанным схемам. О достаточно высоком уровне развития топографии и геодезии в то время свидетельствует карта Великого княжества Литовского (масштаб 1:1 260 000), составленная под руководством Н. Х. Радивилла в 1613 г. Картометрические измерения показали, что при ее составлении использовались достаточно точные карты и планы более крупных масштабов. Позже, в 1655 г. была издана карта Виленского и Троцкого воеводств.

Начало научно обоснованных топографо-геодезических работ на территории Беларуси можно отнести к 1753 г., когда была создана Виленская астрономическая обсерватория. Именно с созданием первых триангуляционных сетей на территории Виленской губернии в 1816–1821 гг. началось

картографирование западной части Российской империи. Для этого на территории Гродненской и Минской губерний были построены ряды триангуляции (часть дуги Струве). Значительный вклад в создание триангуляции внесли белорусы И. Ходько и Н. Глушневич. Результатом проведенных топографических съемок на новой геодезической основе явилось создание на всю территорию Беларуси карт масштабов 1:420 000 (десятиверстка) и 1:126 000 (трехверстка), а на значительную площадь – карт масштабов 1:84 000 (двухверстка) и 1:42 000 (одинверстка).

В 1863–1873 гг. на территории Беларуси проводилось градусное измерение длины дуги параллели 52° северной широты под руководством И. И. Жилинского. В 1913–1916 гг. по линии Петербург – Витебск – Могилев – Гомель – Киев – Одесса был проложен нивелирный ход высокой точности с целью определения разности высот уровней Балтийского и Черного морей.

15 марта 1919 г. был подписан декрет о создании Государственной картографо-геодезической службы – Высшего геодезического управления, реорганизованного впоследствии в Главное управление геодезии и картографии (ГУГК) при СМ СССР.

В конце 1920-х гг. Ф. Н. Красовский разработал программу развития ГГС. Созданная по этой программе единая астрономо-геодезическая сеть не имела аналогов в мировой практике по стройности построения и точности. В 1940 г. под руководством Ф. Н. Красовского и А. А. Изотова были вычислены новые размеры Земли, принятые для геодезических и картографических работ на территории СССР. Таким образом, была создана единая государственная опорная геодезическая сеть, частью которой является существующая государственная геодезическая сеть Республики Беларусь.

Начало геодезического образования в Беларуси относится к 1859 г., когда в Горе-Горецком земледельческом институте были открыты землемерно-таксаторские классы. В настоящее время подготовку специалистов осуществляют Борисовский политехникум – техникум-топографов и Полоцкий политехнический университет, готовящий инженеров-геодезистов.

В настоящее время на всю территорию Республики Беларусь созданы топографические карты масштаба 1:10 000, а на территорию городов и городских поселков – топографические планы масштабов 1:5000 и 1:2000, в том числе, на застроенные территории городов – топопланы масштабов 1:1000 и 1:500.

Все топографо-геодезические работы государственного значения выполняются производственными подразделениями «Белгеодезия», «Белаэрокосмогеодезия» и другими, входящими в структуру Комитета по земельным ресурсам, геодезии и картографии при Совете Министров Республики Беларусь.

1.1.3. Единицы мер в топографии и геодезии

Совокупность единиц физических величин, принятых в государстве для измерений называется *системой мер*.

При производстве геодезических измерений единицей угла служит *градус*, равный 1/360 части окружности или 1/90 части прямого угла ($1^\circ = 60'$, $1' = 60''$). Пример: $11^\circ 07' 56''$.

Наряду с градусной системой мер в некоторых странах употребляется *десятичная* или *децимальная* система, в которой прямой угол делят на 100 частей, называемых *градами* (*гонами*). Град делится на 100 минут или *сантиград*, а минута – на 100 секунд. Пример: $46^g 68^s 98^{ss}$ или $46,6898^g$.

Значение угла может быть выражено в радианной мере. *Радиян* ρ – центральный угол, соответствующий длине дуге окружности, равной ее радиусу. Величина радиана – $\rho = 57^\circ 17' 44,8''$ или $\rho^\circ \approx 57,3$; $\rho' \approx 3438$; $\rho'' \approx 206\,265$, где ρ° , ρ' , ρ'' – число градусов, минут, секунд в радиане.

Единица длины – *метр* (м). За метр принята длина “архивного метра” платинового жезла, хранящегося в международном бюро мер и весов во Франции. Длина жезла была принята равной одной десятиллионной части четверти Парижского меридиана. В 1889 г. была изготовлена 31 копия «архивного метра», две из которых были переданы в Россию. Для создания надежно воспроизводимого эталона метра в 1960 г. было решено выражать его через длину световых волн. В 1983 г. принято новое определение метра, согласно которому метр равен расстоянию, проходящему в вакууме плоской электромагнитной волной за $1/299\,792\,458$ доли секунды. Кратные единицы метра – $1\text{ км} = 1000\text{ м}$; $1\text{ дм} = 0,1\text{ м}$; $1\text{ см} = 0,01\text{ м}$ и $1\text{ мм} = 0,001\text{ м}$.

Единица площади – *квадратный метр* (м^2). Кратные единицы – $1\text{ км}^2 = 1\,000\,000\text{ м}^2$; $1\text{ см}^2 = 0,0001\text{ м}^2$; $10\,000\text{ м}^2 = 1\text{ га}$; $1\text{ км}^2 = 100\text{ га}$.

Единица времени – *секунда* (с). Секунда равна $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего перехода между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома Цезия-133. $1^{\text{м}}(\text{мин}) = 60^{\text{с}}$; $1^{\text{ч}}(\text{час}) = 3600^{\text{с}}$.

Единица температуры – *градус* по шкале Цельсия ($^\circ\text{C}$).

Единицей массы служит *килограмм* (кг). Копия представляет платиново-иридиевую гирю – цилиндр диаметром и высотой 39 мм.

Единица силы – *ньютон* (Н). 1Н равен силе, сообщаемой телу массой 1кг ускорение 1 м/сек^2 в направлении действия силы.

Единицей измерения давления служит *паскаль* (Па). Паскаль равен давлению, вызываемому силой 1Н равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью 1 м^2 . $1\text{ Па} = 9,87 \times 10^{-6}\text{ атм.}$ или $7,60 \times 10^{-3}\text{ мм.рт.ст.}$ Давление, равное 1013 г Па на уровне моря на широте 45° принято считать нормальным.

1.2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.2.1. Форма и размеры Земли

Физическая поверхность Земли представляет собой сочетание бесконечно большого числа неровностей. Она состоит из океанов, морей и материков с островами. Поверхность океанов в их спокойном состоянии ровная, а суша, составляющая только 29 % от общей площади Земли, представляет собой сложные сочетания гор, возвышенностей, равнин и низменностей. Поэтому поверхность Земли не имеет математического выражения, хотя для решения задач науки и практики требуется знать пространственное положение ее точек. Устанавливать их удобно относительно вспомогательной поверхности, близкой к реальной (физической) поверхности Земли. Такую поверхность называют *поверхностью относимости*, за которую принимается *основная уровенная* поверхность Земли, в каждой точке которой нормаль совпадает с направлением отвесной линии (с направлением силы тяжести). Это поверхность воды океанов и открытых морей, находящаяся в спокойном состоянии и мысленно продолженная под материками так, что к ней отвесные линии перпендикулярны во всех точках на Земле. Выбор поверхности воды океанов и морей за уровенную поверхность Земли, объясняется тем, что поверхность открытых водных пространств занимает 71 % общей площади Земли.

В 1873 г. немецкий физик И. Б. Листинг назвал эту поверхность *поверхностью геоида*. Однако и фигура геоида сложна и строго неопределима, поскольку зависит от малоизученного распределения масс внутри Земли. Поэтому поверхность геоида не соответствует поверхности ни одной правильной математической фигуры, что не позволяет проводить расчеты, связанные с обработкой геодезических измерений на земной поверхности.

По предложению ученого М. С. Молоденского вместо геоида в качестве промежуточной поверхности относимости используется *квазигеоид*, выполняющий роль «уровня моря». Положение его поверхности рассчитывается на основе гравиметрических измерений (см. 2.2). Поверхности квазигеоида и геоида совпадают с поверхностью Мирового океана и различаются по высоте на суше не более чем на 2,5 м.

Геоид и квазигеоид по форме близко подходят к правильной математической фигуре – эллипсоиду вращения. Поэтому в качестве основной уровенной поверхности при обработке геодезических измерений, выполняемых на земной поверхности принята поверхность эллипсоида вращения, представляющего собой фигуру, полученную в результате вращения эллипса вокруг его малой оси (земной) эллипсоид.

Угол между отвесной линией pq к поверхности геоида в данной точке и нормалью mn к поверхности эллипсоида называется *уклонением отвесной*

линии ε (Рисунок 1). В среднем, значение ε составляет 3–4", а в местах аномалий достигает десятков секунд.

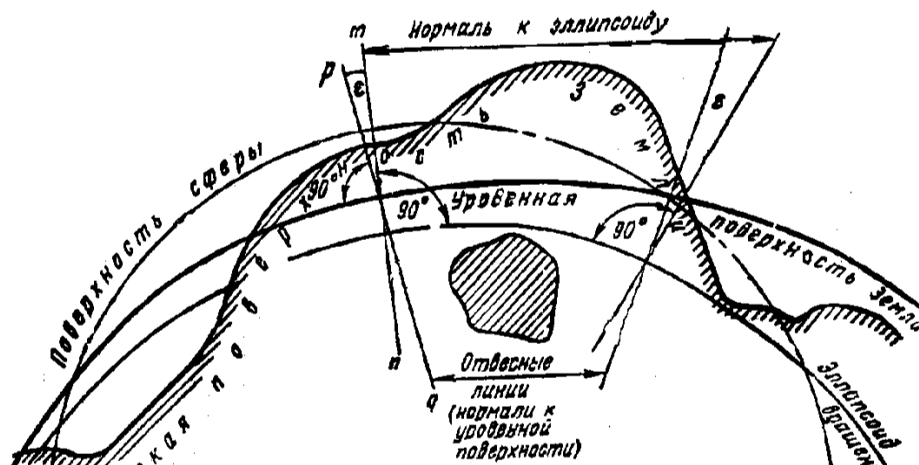


Рисунок 1 – Уклонение отвесных линий

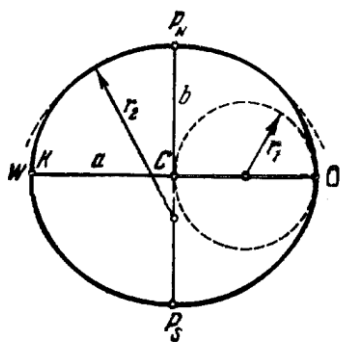


Рисунок 2 –
Параметры земного
эллипсоида

Земной эллипсоид характеризуется следующими основными элементами (Рисунок 2): малой полуосью (полярный радиус) $b = \frac{P_N P_S}{2}$, которая совпадает с осью вращения Земли; большой полуосью (экваториальный радиус) $a = \frac{WQ}{2}$, которая перпендикулярна оси вращения Земли и полярным сжатием $\alpha = \frac{a-b}{a}$.

Элементы земного эллипсоида, рассчитанные Деламбром (1800), Бесселем (1841), Хейфордом (1909) и другими учеными неодинаковы, так как вычислены по геодезическим измерениям разных по протяженности дуг меридианов и параллелей.

Земной эллипсоид, принятый для обработки геодезических измерений и установления единой государственной системы координат называется *референц-эллипсоидом*.

На территории СССР пользовались эллипсоидом Ф. В. Бесселя до 1946 г. Однако этот эллипсоид был рассчитан в основном по данным Западной Европы. На Дальнем Востоке его поверхность сильно уклонялась от поверхности Земли.

Более точные результаты размеров земного эллипсоида были получены в 1940 г. Ф. Н. Красовским и А. А. Изотовым по результатам астрономо-геодезических работ, выполненных на территории СССР, Западной Европы и США. Размеры земного эллипсоида, получившего название «референц-эллипсоида Красовского», были приняты для геодезических и

картографических работ на всей территории СССР. Отклонения поверхности референц-эллипсоида Красовского от поверхности геоида не превышают 150 м. Точкой ориентирования референц-эллипсоида Красовского является центр круглого зала Пулковской обсерватории, широта B_0 и долгота L_0 которого определены из астрономических наблюдений и приняты исходными, а поверхность эллипсоида совмещена со средним уровнем воды в Финском заливе и отмечена на Кронштадском футштоке.

В настоящее время основные геометрические параметры общеземного эллипсоида определяются более точными методами с использованием искусственных спутников Земли. Для сравнения в таблице 1 приведены размеры земного эллипсоида, определенные Бесселем, Красовским и в глобальной геоцентрической системе координат WGS – 84 (World Geodetic System 1984).

Таблица 1 – Размеры земного эллипсоида.

Автор	Годы	Размеры земного эллипсоида		
		a , м	b , м	α
Бессель	1841	6 377 397	6 356 079	1:299,15
Красовский	1940	6 378 245	6 356 863	1:298,3
WGS - 84	1984	6 378 137	6 356 752	1: 298,257

При картографических работах (составление карт мелких масштабов) Землю достаточно принимать за шар, объем которого равен объему земного сфероида. Исходя из размеров эллипсоида Красовского $R = 6\,371\,110$ м.

1.2.2. Методы определения формы и размеров Земли

Астрономо-геодезический метод. Определение формы и размеров Земли при помощи этого метода основано на использовании градусных измерений, суть которых сводится к определению линейной величины дуг меридианов и параллелей на разных широтах.

Первое известное в истории определение длины земного меридиана, выполненное в античное время в Египте, принадлежит Эратосфену. По его определениям длина меридианной окружности, равнялась 39 500 км, то есть очень близко к действительной величине меридиана 40 009 км. Ряд допущений, сделанных Эратосфеном, и несовершенный метод линейных измерений (расстояние определялось по длине караванного пути, измеренное в египетских стадиях (1 стадия может быть приравнена к 157,5 м) привели к приближенным результатам. Однако значение выполненных работ заключается в том, что Эратосфен впервые применил геодезический метод определения размеров Земли и получил довольно удовлетворительные для того времени результаты.

Высокая точность измерения значительных по протяженности расстояний обеспечивается методом *триангуляции*, который был разработан в 1615 г. голландским ученым В. Снеллиусом. Триангуляция (от лат. triangulum –

треугольник) – способ определения положения опорных геодезических пунктов $A, B, C, \dots$ на местности путем построения сети примыкающих друг к другу треугольников, в которых измеряются все углы, а с помощью базиса ab определяется длина выходной стороны AB в их ряду, длины же других сторон вычисляют по координатам этих пунктов (Рисунок 3).

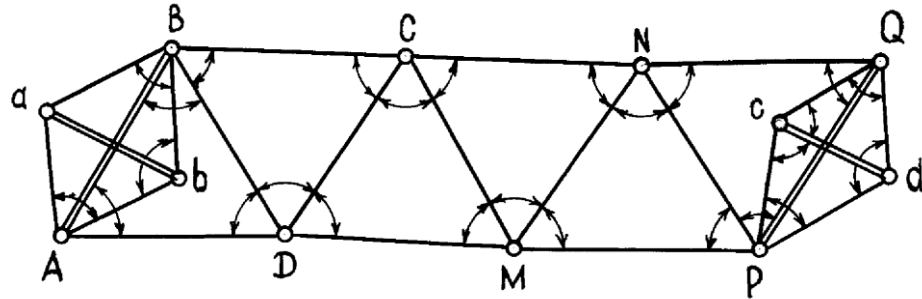


Рисунок 3 – Схема построения сети триангуляции.

Триангуляция являлась основным способом создания опорной геодезической сети и градусных измерений до развития и становления космического метода. Триангуляционные работы по определению длины дуг меридианов и параллелей проводились учеными разных стран (см. п. 1.1.2 и 1.2.1).

Геофизический (гравиметрический) метод. Геофизика – это наука, изучающая физические свойства Земли в целом и процессы, происходящие в ее геосферах. Этот метод основан на измерении величин, характеризующих земное поле силы тяжести, и их распределение на поверхности Земли. Измерения потенциала силы тяжести, выполняемые на поверхности Земли, позволяют вычислять сжатие Земли с большей точностью, чем астрономо-геодезическим методом.

Преимуществом этого метода является то, что его можно использовать на акваториях морей и океанов, где возможности астрономо-геодезического метода ограничены. С именем французского ученого А. Клеро (1713–1765) связано применение гравиметрического метода. В 1743 г. предполагая, что Земля состоит из сфероидальных слоев с общим центром, плотность которых возрастает к центру, он получил формулу для вычисления ускорения силы тяжести в любой точке Земли:

$$g_{\varphi} = g_{\varphi} (1 + \frac{g_n - g_{\varphi}}{g_{\varphi}} \sin^2 \varphi),$$

где g_{φ} ; g_{φ} ; g_n – ускорение силы тяжести, соответственно, на определяемой широте φ , на экваторе и на полюсе. Если в имеющуюся формулу подставить числовые значения g_{φ} и g_n , полученные путем измерений, то формула примет вид: $g_{\varphi} = 978,030 (1 + 0,005302 \sin^2 \varphi)$.

Развитие *космического метода* относится к периоду освоения космического пространства с помощью ИСЗ. Этот метод основан на наблюдениях за ИСЗ и определении координат в заданный момент времени.

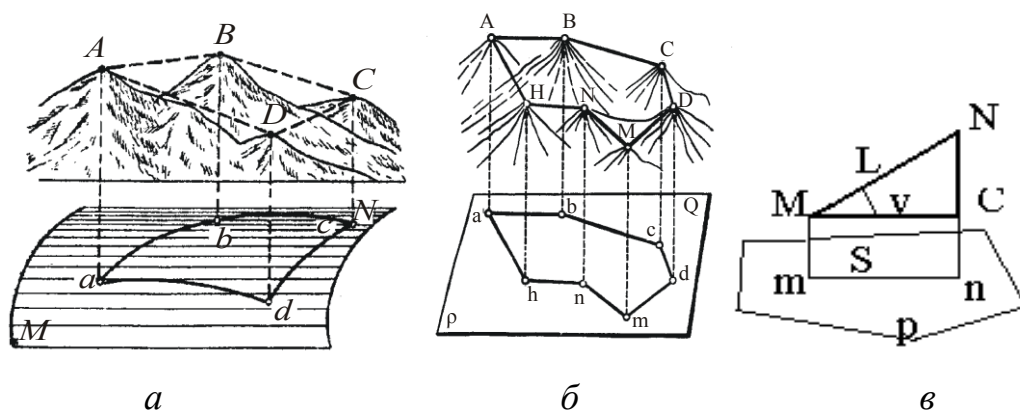
Выявление отклонений реальных орбит ИСЗ от предвычисленных, вызванных неравномерным распределением масс в земной коре, позволяет уточнить представление о гравитационном поле Земли, а, следовательно, о ее форме и размерах (см. п. 1.7.5).

1.2.3. Методы проецирования земной поверхности

Для составления топографических карт и планов точки земной поверхности проецируют на поверхность референц-эллипсоида или на плоскость. Проецирование на поверхность референц-эллипсоида выполняется вдоль отвесных линий. Четырехугольник $abcd$, полученный проецированием на сферическую поверхность эллипсоида, называют горизонтальной проекцией четырехугольника $ABCD$ местности (Рисунок 4а).

При проецировании небольших по площади участков местности, основную уровенную поверхность можно принимать за плоскость. В таком случае отвесные линии можно считать параллельными между собой, и горизонтальная проекция практически преобразуется в ортогональную. Согласно рисунку 4б отрезки ab , bc , cd ,... являются ортогональными проекциями соответствующих линий AB , BC , CD ,..., углы abc , bcd ,... – ортогональными проекциями соответствующих углов ABC , BCD ,..., а плоский многоугольник $abcd$ – ортогональной проекцией пространственного многоугольника $ABCD$. Положение точек и линий местности AB , BC ,... в ортогональной проекции определяется длинами горизонтальных проложений ab , bc ,... и горизонтальными углами между ними.

Длина ортогональной проекции линии местности MN на горизонтальную плоскость p называется *горизонтальным проложением S* этой линии (Рисунок 4в) и вычисляется из прямоугольного треугольника MNC по формуле $S = L \times \cos v$.



**Рисунок 4 – а) Горизонтальная проекция на поверхность эллипсоида;
б) Ортогональная проекция на плоскость;
в) Горизонтальное проложение линии на плоскости.**

Угол ν между линией местности MN и ее ортогональной проекцией на горизонтальную плоскость $S = mn$, измеряют непосредственно и называют углом наклона линии. Ортогональные проекции линий на плоскость при $\nu \neq 0$ всегда меньше соответствующих им отрезков на физической поверхности Земли.

1.2.4. Размеры участков земной поверхности, принимаемые за плоскость

Рассмотрим, для каких по размерам участков местности можно применять ортогональное проецирование, т. е. при которых кривизна Земли может не учитываться в процессе создания карты или плана. На рисунке 5 изображена часть поверхности Земли в виде дуги BCD радиуса R и ее проекция PQ на плоскость PCQ , где $PC = CQ$.

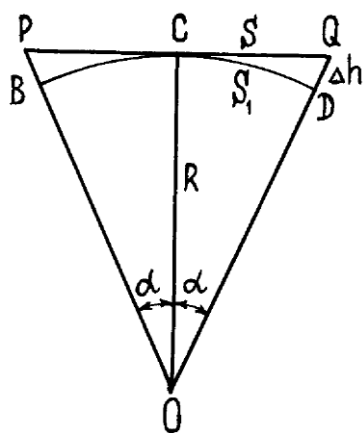


Рисунок 5 – Схема участка земли, принимаемого за плоскость.

Для простоты рассуждений рассмотрим правую половину изображения проекции. Из рисунка видно, что с удалением от точки C разница между длиной линии на сферической поверхности $CD = S_1$ и ее проекцией на плоскость $CQ = S$ возрастает, а расстояние OD увеличивается на величину Δh , характеризующую изменение высоты точки местности. Проекция кривой уровенной поверхности CD на горизонтальную плоскость CQ приводит к получению разностей $\Delta S = CQ -$

CD и $\Delta h = OQ - OD$, которые возникают из-за влияния кривизны при проецировании сферы на плоскость.

Определим разность между длиной касательной S и длиной дуги S_1 . Выразим угол α в радианах, тогда согласно рисунку 5 получим, что $S = R \times \operatorname{tg} \alpha$, а $S_1 = R \times \alpha$. Откуда следует, что

$$\Delta S = R(\operatorname{tg} \alpha - \alpha). \quad (2.1)$$

Центральный угол α по своей величине незначителен. Поэтому при разложении $\operatorname{tg} \alpha$ в убывающий ряд можно ограничиться вторым членом ряда и пренебречь последующими из-за их незначительности. Тогда $\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \dots$.

Подставим это значение в формулу 2.1. В результате получим, что

$$\Delta S = R \frac{\alpha^3}{3}. \quad (2.2)$$

Из формулы $S_1 = R \times \alpha$ получим, что $\alpha^3 = \frac{S_1^3}{R^3}$ и заменим α в формуле 2.2.

Окончательно найдем, что

$$\Delta S = \frac{S_1^3}{3R^2}. \quad (2.3)$$

Из рис. 1.2.7 видно, что точка D находится на уровенной поверхности и ее высота равна нулю. Определим величину отрезка, характеризующего отклонение точки Q от уровенной поверхности. Для этого рассмотрим прямоугольный треугольник OCQ , откуда $(R + \Delta h)^2 = S^2 + R^2$. Упростив данное равенство, имеем $\Delta h = \frac{S^2}{2R + \Delta h}$. Ввиду малого значения Δh в сравнении с $2R$ окончательно получим, что

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R}. \quad (2.4)$$

Сравнивая формулы 2.3 и 2.4 видно, что значение Δh существенно больше ΔS . Если условно принять радиус Земли постоянным, то можно вычислить расхождения ΔS между длинами дуг на уровенной поверхности и их проекциями на плоскость, а также отклонения высот точек Δh от их положения на поверхности сферы из-за кривизны Земли (Таблица 2).

Таблица 2 – Расхождения между длинами дуг на уровенной поверхности, их проекциями на плоскость и отклонения высот точек от их положения на поверхности сферы.

S_1 , км	ΔS , м	Δh , м
1	0,00	0,08
5	0,00	1,96
10	0,01	7,85
20	0,07	31,39
50	1,02	196,20

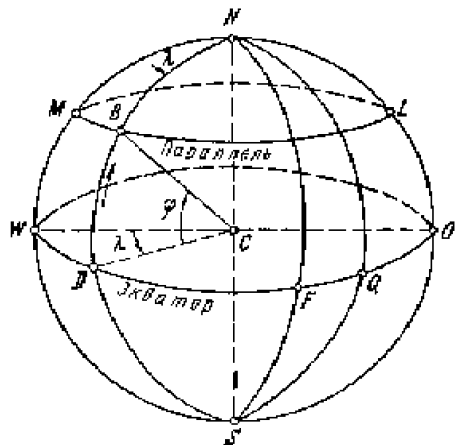
Значение величины ΔS возрастает незначительно. При дуге 11 км ΔS составляет лишь 1:1 000 000 ее длины. Относительная погрешность измерения расстояний современными приборами составляет порядка 1 : 1 000 000. Поэтому принято считать, что участок радиусом 11 км можно принимать за плоскость, а при определении превышений между точками местности необходимо вводить поправку Δh .

1.2.5. Системы координат, применяемые в топографии и геодезии

Координаты – это величины, определяющие положение любой точки на поверхности или в пространстве в принятой системе координат. Система

координат устанавливает начальные (исходные) точки, линии или плоскости для отсчета необходимых величин – начало отсчета координат и единицы их исчисления. В топографии и геодезии наибольшее применение получили системы географических, прямоугольных, полярных и биполярных координат.

Географические координаты (Рисунок 6) применяются для определения



**Рисунок 6 –
Географические
координаты.**

положения точек поверхности Земли на эллипсоиде (шаре). В этой системе координат исходными являются плоскость начального меридиана и плоскость экватора. *Меридианом* называют линию сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через данную точку и ось вращения Земли. *Параллелью* называют линию сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через данную точку и перпендикулярную земной оси. Параллель, плоскость которой проходит через центр эллипсоида, называется *экватором*. Через каждую точку, лежащую на поверхности земного шара, можно провести только один меридиан и только одну параллель.

Географические координаты – это угловые величины: долгота λ и широта φ .

Географической долготой λ называется двугранный угол, заключенный между плоскостью данного меридиана (проходящего через точку B) и плоскостью начального меридиана. За начальный (нулевой) меридиан принят меридиан, проходящий через центр главного зала Гринвичской обсерватории в пределах г. Лондона. Для точки B долгота определяется углом $\lambda = WCD$. Счет долгот ведут от начального меридиана в обе стороны – на восток и на запад. В связи с этим различают *западные и восточные* долготы, которые изменяются от 0° до 180° .

Географической широтой φ называется угол, составленный плоскостью экватора и отвесной линией, проходящей через данную точку. Если Землю принимать за шар, то для точки B (Рисунок 6) широта φ определяется углом DCB . Широты, отсчитываемые от экватора к северу, называются *северными*, а к югу – *южными*, они изменяются от 0° на экваторе до 90° на полюсах.

Географические координаты могут быть получены на основании астрономических наблюдений или геодезических измерений. В первом случае их называют *астрономическими*, а во втором – *геодезическими* (L – долгота, B – широта). При астрономических наблюдениях проецирование точек на поверхность относимости осуществляется отвесными линиями, при геодезических измерениях – нормальными. Поэтому величины астрономических и геодезических координат отличаются на величину отклонения отвесной линии.

Использование разными государствами различных референц-эллипсоидов приводит к различиям координат одних и тех же пунктов, вычисленных относительно разных исходных поверхностей. Практически это выражается в общем смещении картографического изображения относительно меридианов и параллелей на картах крупного и среднего масштабов.

Прямоугольными координатами (Рисунок 7) называются линейные величины – *абсцисса* и *ордината*, определяющие положение точки на плоскости относительно исходных направлений.

В геодезии и топографии принята правая система прямоугольных координат. Это отличает ее от левой системы координат, используемой в математике. Исходными направлениями служат две взаимно перпендикулярные линии с началом отсчета в точке их пересечения O .

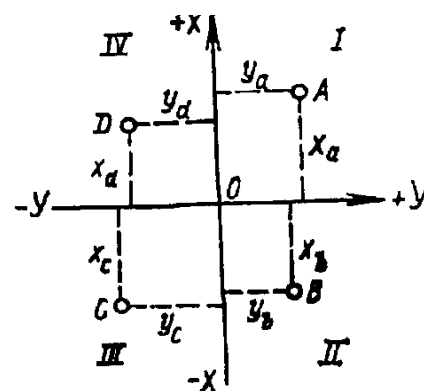


Рисунок 7 – Прямоугольные координаты.

Прямая XX (ось абсцисс) совмещается с направлением меридиана, проходящего через начало координат, или с направлением, параллельным некоторому меридиану. Прямая YY (ось ординат) проходит через точку O перпендикулярную оси абсцисс. В такой системе положение точки на плоскости определяется кратчайшим расстоянием до нее от осей координат. Положение точки A определяется длиной перпендикуляров X_a и Y_a . Отрезок X_a называется абсциссой точки A , а Y_a – ординатой этой точки. Прямоугольные координаты обычно выражаются в метрах. Осями абсцисс и ординат участок местности в точке O делится на четыре четверти (Рисунок 7). Название четвертей определяется принятыми обозначениями стран света. Четверти нумеруются по направлению хода часовой стрелки: I – СВ; II – ЮВ; III – ЮЗ; IV – СЗ.

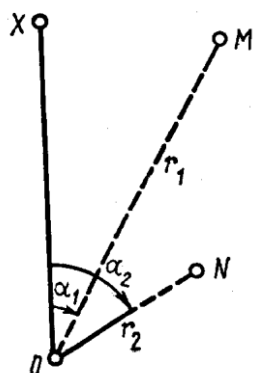
В таблице 3 показаны знаки абсцисс X и ординат Y для точек, находящихся в разных четвертях и даны их названия.

Абсциссы точек, расположенные вверх от начала координат считаются положительными, а вниз от нее – отрицательными, ординаты точек, расположенные вправо – положительными, влево – отрицательными. Система плоских прямоугольных координат применяется на ограниченных участках земной поверхности, которые могут быть приняты за плоские.

Таблица 3 – Знаки абсцисс X и ординат Y для точек, находящихся в разных четвертях системы координат.

Угол направления, градус	Четверть	Знаки координат	
		X	Y

0 – 90	I – СВ	+	+
90 – 180	II – ЮВ	–	+
180 – 270	III – ЮЗ	–	–
270 – 360	IV – СЗ	+	–



**Рисунок 8 –
Полярная
система
координат.**

Координаты, началом отсчета которых является какая-либо точка местности, называются *полярными*. В данной системе координат производится измерение углов ориентирования. На горизонтальной плоскости (Рисунок 8) через произвольно выбранную точку O , называемую полюсом, проводят прямую OX – полярную ось. Тогда положение любой точки, например, M будет определяться радиусом – вектором r_1 и углом направления α_1 , а точки N – соответственно r_2 и α_2 . Углы α_1 и α_2 измеряют от полярной оси по ходу часовой стрелки до радиуса-вектора. Полярная ось может располагаться произвольно или совмещаться с направлением какого-либо меридиана, проходящего через полюс O .

Система *биполярных координат* (Рисунок 9) представляет собой два выбранных неподвижных полюса O_1 и O_2 , соединенные прямой – полярной осью. Данная система координат позволяет определить положение точки M относительно полярной оси на плоскости при помощи двух углов β_1 и β_2 , двух радиусов-векторов r_1 и r_2 или их комбинаций. Если известны прямоугольные координаты точек O_1 и O_2 , то положение точки M можно вычислить аналитическим способом (Рисунок 9).

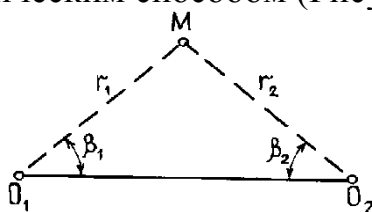


Рисунок 9 – Биполярная система координат.

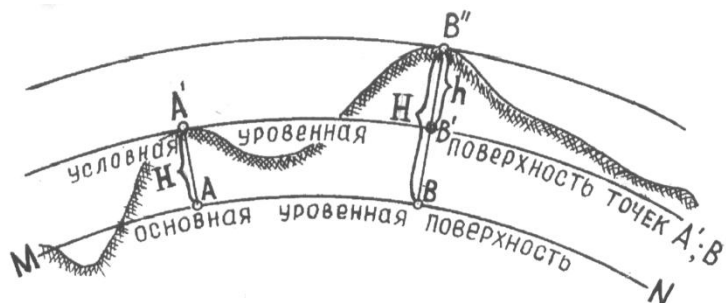


Рисунок 10 – Определение высоты точки.

Высоты точек земной поверхности. Для определения положения точек физической поверхности Земли недостаточно знать только плановые

координаты X , Y или λ , φ , необходима третья координата – высота точки H . Высотой точки H (Рисунок 10) называется расстояние по отвесному направлению от данной точки (A' ; B'') до принятой основной уровенной поверхности MN . Числовое значение высоты точки называется *отметкой*. Высоты, отсчитываемые от основной уровенной поверхности MN , называют *абсолютными высотами* (AA' ; BB''), а определяемые относительно произвольно выбранной уровенной поверхности – *условными высотами* ($B'B''$). Разность высот двух точек или расстояние по отвесному направлению между уровенными поверхностями, проходящими через две любые точки Земли называется *относительной высотой* ($B'B''$) или *превышением* этих точек h .

В Республике Беларусь принята Балтийская система высот 1977 г. Счет высот ведется от уровенной поверхности, совпадающей со средним уровнем воды в Финском заливе, от нуля Кронштадтского футштока.

1.2.6. Ориентирование направлений в топографии и геодезии

Ориентировать линию местности – значит определить ее направление относительно другого направления принятого за исходное. В топографии и геодезии исходными направлениями для ориентирования приняты *географический меридиан*, *магнитный меридиан* и *осевой меридиан геодезической зоны*, которые на топографических картах соответственно обозначаются: – линией со звездочкой ($\star$); – линией со стрелкой ($\uparrow$) и линией с угольником на конце (V).

Направление географического меридиана получают из астрономических наблюдений, а направление магнитного меридиана определяет свободно подвешенная и уравновешенная магнитная стрелка. Магнитная ось стрелки в каждой точке земной поверхности совпадает с направлением магнитного меридиана этой точки.

Географическим азимутом A направления, называется горизонтальный угол A , измеренный по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана, проходящего через данную точку до ориентируемой линии (Рисунок 11). По абсолютному значению азимуты изменяются от 0 до 360° . На рисунке горизонтальные углы A_1 , A_2 , A_3 , A_4 будут географическими азимутами ориентируемых направлений Ol ; $O2$; $O3$; $O4$. Точка O – начало ориентируемых направлений; а линия CO – географический меридиан точки O .

Магнитным азимутом направления называется горизонтальный угол A_m между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии, отсчитываемый по ходу часовой стрелки (Рисунок 12). Вследствие несовпадения географических и магнитных полюсов магнитный и географический меридианы в данной точке земной поверхности образуют между собой угол δ , называемый *склонением* магнитной стрелки (Рисунок 12).

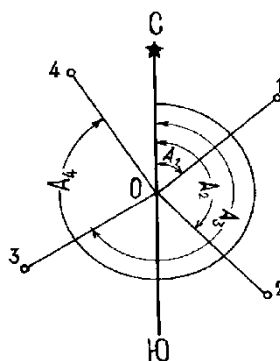


Рисунок 11 – Географический азимут.

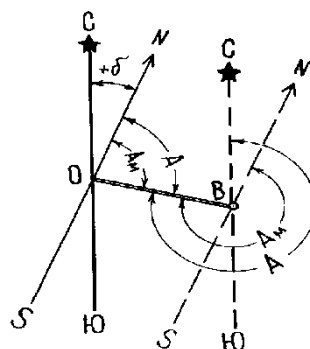


Рисунок 12 – Магнитное склонение и его связь с истинным и магнитным азимутами.

Магнитное склонение может быть *восточным* – положительным, если северное направление магнитного меридиана находится к востоку от географического и *западным* – отрицательным, если северное направление магнитного меридиана проходит к западу от географического. Зависимость между географическим и магнитным азимутами выражается формулой $A = A_m + \delta$.

Склонение магнитной стрелки изменяется в зависимости от места и времени. Различают: суточные, годовые и вековые изменения склонения. Кроме того, величина склонения изменяется под влиянием магнитных бурь, связанных с полярным сиянием, солнечной активности, землетрясений, в районах магнитных аномалий и т. д. Суточные колебания склонения магнитной стрелки не превышают 5–15'. Вследствие этого, ориентирование по магнитному азимуту проводится лишь в тех случаях, когда не требуется большая точность.

В топографии и геодезии применяется также ориентирование направлений относительно северного направления оси абсцисс в системе прямоугольных координат. Угол, отсчитываемый от северного направления оси абсцисс или линии параллельной ему до данного направления, по ходу часовой стрелки называется дирекционным углом α (Рисунок 13). Дирекционный угол изменяется от 0^0 до 360^0 .

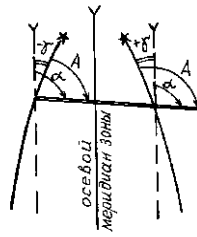


Рисунок 13 – Сближение меридианов, дирекционный угол и его связь с азимутом.

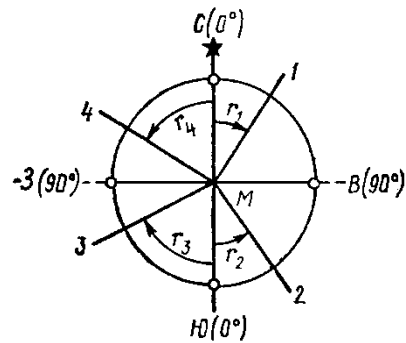


Рисунок 14 – Румбы.

Угол между географическим меридианом данной точки и северным направлением оси абсцисс (вертикальной линией координатной сетки) называется *сближением меридианов* γ (Рисунок 13). Сближение меридианов бывает восточным со знаком плюс и западным со знаком минус. При восточном сближении меридианов, линии параллельные осевому меридиану отклоняются к востоку от географического меридиана, проходящего через эту точку, а при западном – к западу. Зависимость между географическим азимутом и дирекционным углом выражается формулой $A = \alpha + \gamma$.

Для того чтобы перейти от дирекционного угла к магнитному азимуту необходимо знать две величины – склонение магнитной стрелки и сближение меридианов. Данные об этих величинах в виде графика и текста помещаются под южной рамкой топографической карты. Магнитный азимут равен разности дирекционного угла и поправки направления $A_m = \alpha - П$. Поправка направления $П$ – это угол между магнитным меридианом и северным направлением оси абсцисс. Поправка вычисляется по формуле $П = (+\delta) - (+\gamma)$.

Иногда ориентирование линии выражается острыми углами – *румбами* r . Румбом называют острый угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана (северного или южного) до данной линии (Рисунок 14). Румбы имеют значения от 0° до 90° и сопровождаются названием четверти, в которой проходит линия. Румбы переводят в азимуты и дирекционные углы и наоборот (Таблица 4).

Таблица 4 – Связь между азимутами и румбами.

Четверть	Название четверти	Связь между азимутами и румбами	
I	СВ	$A_1 = r_1$	$r_1 = A_1$
II	ЮВ	$A_2 = 180^\circ - r_2$	$r_2 = 180^\circ - A_2$
III	ЮЗ	$A_3 = 180^\circ + r_3$	$r_3 = A_3 - 180^\circ$
IV	СЗ	$A_4 = 360^\circ - r_4$	$r_4 = 360^\circ - A_4$

Зависимость между азимутами или дирекционными углами и румбами линий, расположенных в разных четвертях, устанавливают по формулам.

1.2.7. Связь между полярной и прямоугольной системами координат

В геодезии угловые измерения выполняются в полярной системе координат, а нанесение на карту пунктов и объектов местности более точно производится по их прямоугольным координатам. Перевычисление полярных координат к прямоугольным и наоборот производится по формулам *прямой и обратной* геодезических задач (Рисунок 15).

Прямая геодезическая задача состоит в том, что по известным координатам точки $A (X_A; Y_A)$, горизонтальному проложению S линии AB и дирекционному углу α , вычисляют приращения координат Δx ; Δy и координаты точки $B (X_B; Y_B)$. Приращения координат Δx и Δy называются разности координат конечной B и начальной A точек линии AB . Значения приращений определяются из прямоугольного треугольника ABC по заданным S и α : $\Delta x = S \cos \alpha$; $\Delta y = S \sin \alpha$. В зависимости от названия четверти прямоугольной системы координат приращения Δx и Δy имеют определенные знаки (Таблица 4).

Координаты конечной точки B вычисляются по формулам: $X_B = X_A + \Delta x$; $Y_B = Y_A + \Delta y$.

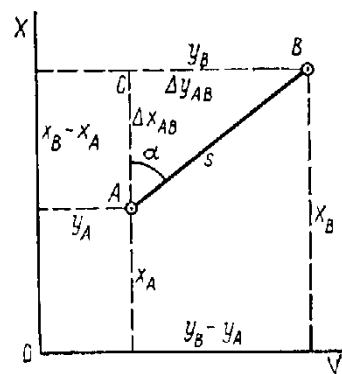
Обратная геодезическая задача заключается в том, что по известным координатам начальной точки $A (X_A ; Y_A)$ и конечной точки $B (X_B$ и $Y_B)$ определяют горизонтальное проложение S и дирекционный угол α линии AB (Рисунок 15).

Вначале вычисляется румб направления по катетам прямоугольного треугольника:

$$\operatorname{tgr} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \text{ Откуда следует, что } r = \operatorname{arctg} \frac{\Delta Y}{\Delta X}.$$

В соответствии со знаками приращений координат Δx и Δy (Таблица 4) определяют название четверти румба, а затем вычисляют дирекционный угол или

азимут согласно таблице 4.



Горизонтальное проложение S определяется по формулам:

$$S = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2} \text{ или } S = \frac{\Delta X}{\cos a} = \frac{X_B - X_A}{\cos a}; S = \frac{\Delta Y}{\sin a} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin a}.$$

1.3. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ И КАРТЫ

1.3.1. Понятие о плане и карте. Основные свойства и элементы топографических карт

Планом называется изображение в подобном и уменьшенном виде проекции участка местности на горизонтальную плоскость. Планы, на которых показаны только контуры элементов местности без изображения рельефа участка, называются *контурными*. Если на планах наряду с ситуацией показан рельеф местности, то такие планы называются *топографическими*.

При изображении на бумаге значительных по площади территорий необходимо учитывать кривизну Земли (см. п. 1.2.4). Поэтому при составлении карт на большие территории контуры местности вначале проецируют не на горизонтальную плоскость, а на сферическую поверхность земного эллипсоида или шара. Полученную таким образом проекцию местности также нельзя перенести на плоскость (бумагу) в подобном и уменьшенном виде т. к. сферическую поверхность невозможно развернуть на плоскости без складок или разрывов. Поэтому для перехода от сферической поверхности всей или значительной части земной поверхности используют картографические проекции, которые можно получить аналитическим, графоаналитическим, геометрическим способами и перспективным проецированием.

Следовательно, *картой* называется уменьшенное обобщенное изображение на плоскости всей Земли или ее части с учетом кривизны уровенной поверхности.

По содержанию географические карты принято разделять на *общегеографические* и *тематические*.

На общегеографических картах предметом изображения являются *физико-географические* (рельеф, почвенный, растительный покров, гидрография и др.) и *социально-экономические* (населенные пункты, дорожная сеть, объекты хозяйственного назначения и т. п.) элементы.

Основой тематических карт служат общегеографические карты, на которых один из элементов общегеографической карты изображают с особой полнотой и подробностью (рельеф, гидрография, населенные пункты и т. д.), в то время как другие элементы отображают менее подробно или не показывают совсем, но дополнительно наносят специальные элементы (климат, экономические сведения и т. п.).

Общегеографические карты в зависимости от масштаба подразделяют на обзорные (мельче масштаба 1:1 000 000), обзорно-топографические (1:1 000 000 – 1:500 000) и топографические (1:200 000 – 1:10 000).

В свою очередь топографические карты подразделяются на мелкомасштабные (1:100 000 – 1:200 000); среднемасштабные (1:25 000 – 1:50 000) и крупномасштабные (1:5 000 – 1:10 000). Картографические изображения масштаба 1:5 000 относят к картам, если при их создании использована картографическая проекция, в других случаях их относят к топографическим планам. Топографические планы издаются в масштабах 1:5000; 1:2000; 1:1000 и 1:500.

Основные свойства и элементы топографических карт. Топографические карты, как и все общегеографические карты отличаются от других изображений земной поверхности (глобусов, космических и аэрофотоснимков и т. п.) тремя свойствами: 1) использованием математически определенного способа изображения земной поверхности на плоскости, для чего применяются картографические проекции; 2) использованием картографических условных знаков (легенда) для показа объектов местности с их количественными и качественными характеристиками, а также для изображения рельефа; 3) использованием картографической генерализации при отборе и обобщении изображаемых объектов местности.

К элементам карты относится само картографическое изображение, математическая основа, легенда и вспомогательное оснащение.

Основной частью карты является *картографическое изображение*, передающее содержание карты, т. е. совокупность сведений о показанных на карте объектах, их размещении, свойствах и взаимосвязях.

Все картографические изображения строятся на математической основе, которая включает картографическую проекцию и геодезическую основу (параметры земного эллипсоида, геодезическую опорную сеть). С математической основой непосредственно связаны компоновка и система разграфки карт.

Картографическая проекция – это математически определенный способ отображения поверхности эллипсоида или шара на плоскости. Картографические проекции включают координатные сетки – картографическую и прямоугольную или километровую сетки, относительно которых показываются положения и очертания объектов, контуры и т. д. *Картографическая сетка* – это изображение параллелей и меридианов на карте. *Километровая сетка* – это координатная сетка в системе плоских прямоугольных координат, линии которой проведены на карте через интервалы, соответствующие определенному числу километров. Точки пересечения линий координатной сетки на карте называются *узловыми*.

В зависимости от характера искажений различают следующие картографические проекции:

1) *равноугольные*, в которых на бесконечно малом участке карты отсутствуют искажения углов, вследствие чего в данных проекциях не искажаются формы бесконечно малых фигур и масштаб длины в любой точке

остается одинаковым по всем направлениям, хотя изменяется от точки к точке. Значительные искажения имеют площади, особенно на картах, охватывающих большие территории;

равновеликие, в которых на карте отсутствуют искажения площадей, но на картах с большим охватом территории возникают значительные искажения углов и форм;

3) *произвольные*, в которых на карте в любых соотношениях имеются искажения углов и площадей.

Следует отметить, что на всех картографических проекциях имеются искажения длины линий и масштаб длины может сохраняться по отдельным направлениям (линиям).

Важной частью карты является *легенда* – система использованных на карте условных знаков и текстовых пояснений, раскрывающих содержание. Для топографических карт составлены специальные таблицы условных знаков, обязательные к применению на всех картах соответствующего масштаба.

Вспомогательное оснащение карты включает картометрические графики и различные справочные сведения.

1.3.2. Проекции топографических карт. Зональная система плоских прямоугольных координат

На выбор картографических проекций влияют многие факторы. Для топографических карт важнейшим требованием является минимальность искажений, и в первую очередь, линейных, то есть сохранение масштаба длин по всей карте. Поскольку топографические карты широко используются для определения ориентирующих углов, то необходимым условием является сохранение по всей карте равноугольного изображения. Для уменьшения линейных искажений земной эллипсоид делится на части – геодезические зоны, которые образованы меридианами через 6° по долготе, начиная от Гринвичского. Число зон составляет 60 и нумерация их ведется к востоку.

На территории Республики Беларусь и других стран СНГ все топографические карты составляются в равноугольной проекции Гаусса-Крюгера. Немецкий ученый К. Ф. Гаусс в 1825–1830 гг. для обработки Ганноверской триангуляции применил разработанную им равноугольную проекцию. Детальный вывод рабочих формул этой проекции в 1912 г. выполнил немецкий геодезист Л. И. Крюгер. Поэтому она получила название Гаусса-Крюгера и ее вычисляют аналитически.

С методической точки зрения получение этой проекции можно условно представить следующим образом. Для этого поместим земной шар в цилиндр так, чтобы ось вращения его была перпендикулярна оси цилиндра PP_1 , а линия касания являлась меридианом NOS (Рисунок 16), который примем за осевой (средний) меридиан геодезической зоны. Он изобразится на цилиндрической поверхности в виде прямой без изменения длины. Остальная поверхность

геодезической зоны (например, *NFSD*) проецируется на поверхность цилиндра так, чтобы каждая бесконечно малая фигура, например, окружность, сохранила свою форму, изменяя только радиус.

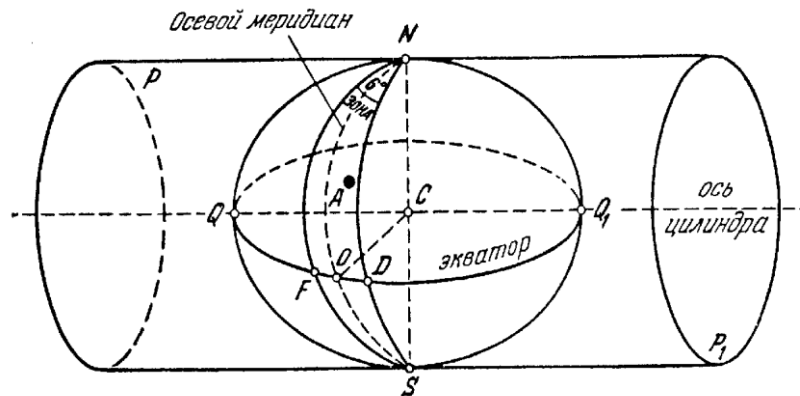


Рисунок 16 – Получение равноугольной проекции Гаусса-Крюгера.

В проекции Гаусса–Крюгера картографическая сетка по изображению меридианов и параллелей подобна картографической сетке поперечно-цилиндрической проекции: осевой меридиан и экватор являются прямыми, другие меридианы и параллели – кривыми линиями, пересекающимися под прямым углом.

Масштаб в проекции Гаусса–Крюгера сохраняется по осевому меридиану геодезической зоны. По мере удаления от него длины линий искажаются в сторону увеличения. Поправки ΔS можно вычислить по приблизительной формуле

$$\Delta S = d - S = \frac{SY_m^2}{2R_m^2}, \quad (3.1)$$

где d и S – соответственно длины линий на плоскости и сфероиде;

Y_m – средняя ордината линии; R_m – средний радиус кривизны сфероида.

Относительное искажение длин линий будет определяться по формуле: $f_s =$

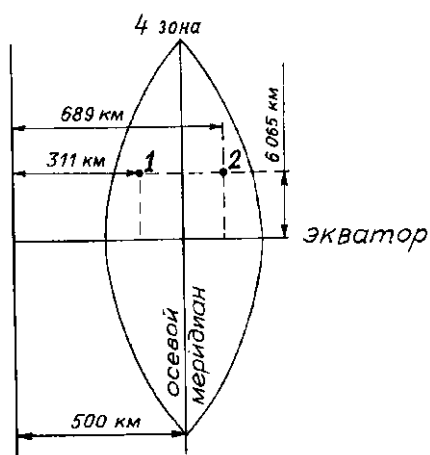
$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{Y_m^2}{2R_m^2} \text{ и достигнет для средних широт на краю геодезической зоны}$$

$$\text{значения } f_s \approx \frac{1}{1500}.$$

Каждая из 60 зон изображается на плоскости независимо от остальных зон и имеет самостоятельную систему прямоугольных координат. Начало координат находится в точке пересечения экватора с осевым меридианом зоны. Положение точки на плоскости определяется плоскими прямоугольными координатами X и Y .

В каждой зоне координаты X и Y могут иметь положительные и отрицательные значения. Положительное значение имеют абсциссы, располагающиеся к северу от экватора, а отрицательное – к югу от экватора.

Ординаты (в каждой зоне), отсчитываемые от осевого меридиана к востоку являются *положительными*, а к западу – *отрицательными*. В данной системе координат абсциссы всех точек расположенных на территории Республики Беларусь в каждой зоне имеют положительные значения. Во избежание



**Рисунок 17 –
Преобразование
ординат в проекции
Гаусса-Крюгера.**

отрицательного значения ординат и для удобства их вычисления, к началу ординат каждой геодезической зоны добавляют 500 км, т. е. начало координат будет: $X_0 = 0$; $Y_0 = 500$ км. Тогда ординаты, расположенные к западу от осевого меридиана, будут иметь значения меньше 500 км, а расположенные к востоку – значения больше 500 км. Такие ординаты называются *преобразованными*. Чтобы определить в какой зоне находится данная точка, впереди преобразованной ординаты указывается номер зоны.

Например, согласно рисунку 17 точка 2 имеет ординату $y_2 = 4689$ км. Следовательно, она расположена в четвертой зоне на расстоянии 189 км к востоку от осевого меридиана зоны ($689 - 500 = 189$). Точка 1 имеет ординату $y_1 = 4311$ км и находится в этой же зоне на расстоянии 189 км к западу от осевого меридиана зоны ($311 - 500 = -189$). Вычисленные плоские прямоугольные координаты в проекции Гаусса-Крюгера для эллипсоида Красовского получили название «Система координат 1942 года» или СК-42.

1.3.3. Масштабы планов и карт

Масштабом плана называется отношение длины линии на плане к соответствующей длине горизонтального проложения этой линии на местности.

Как известно, планы составляются для небольших по площади территорий и поэтому их масштаб можно считать величиной постоянной. На картах следует учитывать искажения длины линий из-за кривизны Земли. Например, для проекции Гаусса-Крюгера поправки вычисляются по формуле 3.1. и при необходимости вводятся в измеренные линии.

Масштаб на планах и картах выражается в численной, именованной и графической формах.

Численный масштаб выражается простой дробью, в числителе которой единица, а в знаменателе число, показывающее во сколько раз горизонтальное проложение линии местности уменьшено при нанесении на план (карту). Масштабы могут быть любыми. Но чаще используются их стандартные величины: 1:500; 1:1000; 1:2000; 1:5000; 1:10 000; 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000; 1:200 000; 1:300 000; 1:500 000; 1:1000 000. Например, масштаб карты 1:10 000

указывает, что горизонтальное проложение линии уменьшено на карте в 10 000 раз, т. е. 1 см на плане соответствует 10 000 см на горизонтальной проекции местности. Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем крупнее считается масштаб, и наоборот. Численный масштаб величина безразмерная; она не зависит от системы линейных мер, т. е. им можно пользоваться, проводя измерения в любых линейных мерах.

Именованный масштаб представляет краткое словесное выражение численного масштаба и указывает, какая величина горизонтального проложения местности соответствует 1 см на плане (карте). Например, «в 1 сантиметре 100 метров».

Линейный масштаб представляет собой графическое выражение численного и именованного масштабов в виде линии, разделенной на равные отрезки – основания (Рисунок 18). Левый из них ab делится на 10 равных частей (десятые доли). Сотые доли оцениваются «на глаз». На рисунке 18 показан линейный масштаб с основанием $ab = bc = cd \dots$, соответствующий численному масштабу 1:10 000.

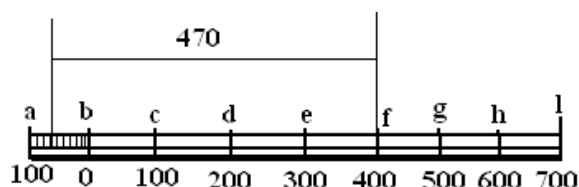


Рисунок 18 – Линейный масштаб.

Основание линейного масштаба выбирается таким образом, чтобы выражало целое число метров горизонтального проложения линии. В нашем примере оно равно 1 см.

Для более точного измерения линий на плане или карте пользуются *поперечным масштабом* (Рисунок 19). Для построения поперечного масштаба, на прямой ME откладывают отрезки $AM = AB = BC = CD = DE$, принимаемые за основание масштаба. В точках $M, A, B, \dots, E$ восстанавливают перпендикуляры и на крайние из них наносят 10 равных между собой отрезков $Me = Ee = ef = \dots$. Через полученные точки e, f, p, g проводят прямые, параллельные ME . Нижнее и верхнее основание масштаба MA и NQ разбивают на 10 равных частей. Точки деления соединяют между собой параллельными наклонными линиями в следующем порядке: точку A с точкой P , точку N с точкой F и так далее.

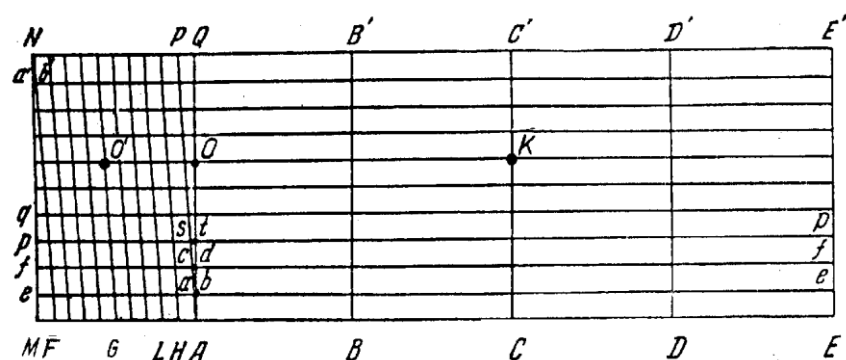


Рисунок 19 – Поперечный масштаб.

Прямая AP и параллельные ей линии называются *трансверсалими*. Отрезок ab называют наименьшим делением поперечного масштаба. По построению малые отрезки AN , MF , PQ и др. будут равны 0,1 основания масштаба MA , а наименьшее деление ab будет равно 0,1 отрезков AN , MF , PQ и т. д. или 0,01 основания масштаба MA .

Пример: По поперечному масштабу с основанием равным 2 см определим расстояние $O'K$ (Рисунок 19). При численном масштабе 1:10000 основанию в 2 см на плане будет соответствовать 200 м на местности, малые отрезки будут равны 20 м, а наименьшие – 2 м. Таким образом, $OK = 200 \text{ м} \times 2 = 400 \text{ м}$; малых делений – 5, тогда $AG = 20 \text{ м} \times 5 = 100 \text{ м}$ и измеряемая линия $O'K$ находится на шестой горизонтальной линии, т. е., $2 \text{ м} \times 6 = 12 \text{ м}$. Таким образом, измеряемая линия $O'K$ равняется 512 м.

При измерениях длины линий на картах, измеряемая линия берется в раствор циркуля-измерителя и переносится на поперечный масштаб. Необходимо, чтобы правая ножка измерителя находилась на одном из перпендикуляров (справа от основания MA), а левая – на пересечении трансверсали и горизонтальной линии основания MA , при этом обе ножки измерителя должны располагаться на одной горизонтальной линии $O'K$. Пользуясь поперечным масштабом измеряют длины прямых линий.

Измерение *кривых* линий производится двумя способами: при помощи курвиметра и циркулем-измерителем.

При первом способе колесико курвиметра прокатывают по измеряемой линии на карте. Стрелка прибора показывает отмеренное колесиком расстояние в сантиметрах (или дюймах). Пользуясь масштабом, определяют расстояние на местности. При измерении длин сильно извилистых линий сложно точно вести колесико по мелким изгибам, в связи с этим точность измерений курвиметром невысока.

При измерении длины кривых линий более точные результаты получают пользуясь вторым способом – применяя циркуль-измеритель с микрометрическим винтом. Измерения выполняют малыми растворами измерителя (1–4 мм). Перед измерениями определяют цену раствора

измерителя, т. е. измеряют линию, длина которой известна (обычно расстояние между километровыми сетками).

Точность масштаба. Предельные размеры предметов, которые можно различать на плане (карте) определяются графической точностью масштаба. Свойство человеческого зрения позволяет различать точку величиной порядка 0,1 мм. Это связано с критическим углом человеческого зрения, равным 1'. Поэтому расстояние на местности, соответствующее 0,1 мм плана, называют предельной *точностью масштаба* и ее величина t в метрах зависит от масштаба карты, т. е. $t = 0,0001 M$, где M – знаменатель масштаба карты. Например, для карты масштаба 1:10 000 предельная точность равна $t = 0,0001 \times 10\,000 = 1$ м, а для карты масштаба 1: 50 000 – $t = 5$ м. Средняя ошибка измерения длин линий на карте составляет 0,3–0,4 мм или 0,0003–0,0004 M .

1.3.4. Разграфка и номенклатура карт

Номенклатурой называется буквенное и цифровое обозначение отдельных листов карт по определенной системе.

В Республике Беларусь для топографических карт принята международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000. Листы каждой карты масштаба 1:1 000 000 ограничены отрезками дуг меридианов через 6° по долготе и параллелей через 4° по широте. С севера на юг они объединены в шестиградусные колонны, разграфляя таким образом поверхность Земли на 60 колонн. Колонны нумеруются арабскими цифрами от 1 до 60, счет которым ведут с запада на восток, начиная от меридиана 180°. Колонны соответствуют разграфке на шестиградусные зоны, счет которых ведется от меридиана 0°. Поэтому в восточном полушарии номер зоны равен номеру колонны, уменьшенному на 30, т. е. тридцать первой колонне соответствует первая зона.

Для получения рядов (поясов) начиная от экватора, в северном и южном полушариях проводят параллели через 4° по широте. Таким образом, в каждом полушарии будет 22 четырехградусных ряда и один двухградусный. Ряды обозначают заглавными буквами латинского алфавита от *A* до *V*, начиная от экватора. Лист каждой топографической карты получают в виде трапеции.

Номенклатурное обозначение каждого листа карты масштаба 1:1 000 000 складывается из буквенного обозначения ряда и номера колонны. Например, лист карты (трапеции) в пределах которого находится г. Минск обозначен *N – 35*. Схема разграфки и номенклатуры листов карт масштаба 1:1 000 000 дана на рисунке 20.

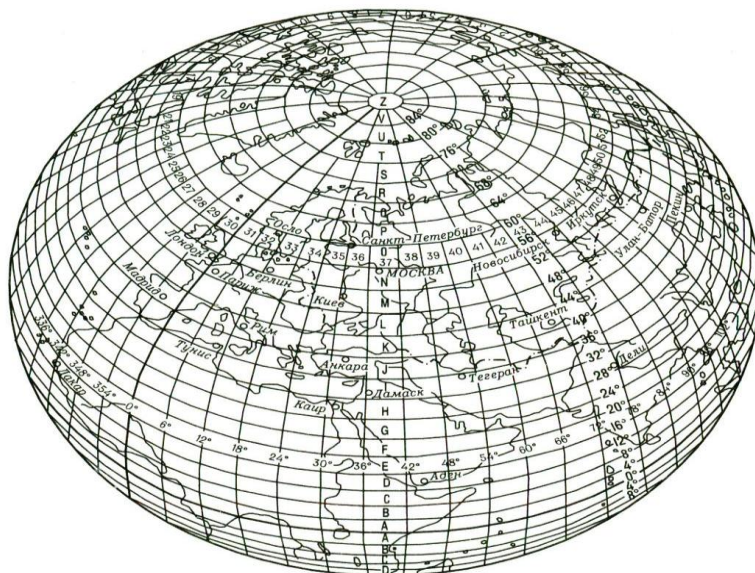


Рисунок 20 –Разграфка и номенклатура листов карт масштаба 1:1 000 000.

В основу номенклатуры топографических карт более крупных масштабов положены листы карт масштаба 1:1 000 000 (Рисунок 20).

Для получения границ листов карт масштаба 1: 500 000 лист карты масштаба 1:1000 000 разграфляют на 4 части, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита *А, Б, В, Г* (Рисунок 21). Границами листов карты этого масштаба будут параллели, проведенные с интервалом в 2 и меридианы с интервалом в 3°. Их номенклатурное обозначение будет, например, N-35-Б.

Рамки листов карты масштаба 1 : 200 000 получают разграфкой листа карты 1 : 1 000 000 на 36 частей (6 листов по широте и 6 – по долготe), обозначаемых римскими цифрами от I до XXXVI, помещаемыми после номенклатуры миллионного листа. Например: N-35-XV (Рисунок 21).

Рамки листов карты масштаба 1: 100 000 получают разграфкой параллелями и меридианами листа миллионной карты на 144 части (трапеции) – получают 12 рядов карт вдоль параллелей по широте и 12 листов в каждом – по долготe. Каждый лист нумеруется арабскими цифрами от 1 до 144 (Рисунок 21), его номенклатурное обозначение будет, например, N-35-115.

За основу разграфки и номенклатуры более крупных масштабов принимается лист карты масштаба 1: 100 000. (Рисунок 21) Трапеция масштаба 1: 50 000 получается разграфкой листа карты 1: 100 000 на 4 части, каждую из которых обозначают заглавными буквами русского алфавита *А, Б, В, Г*, которые приписывают к номенклатуре трапеции масштаба 1:100 000. Например: N – 35 – 115 – А.

Трапецию масштаба 1:25 000 получают разграфкой карты масштаба 1:50 000 на 4 части и обозначают строчными буквами русского алфавита *а, б, в,*

2, прибавляемыми к номенклатуре листа масштаба 1:50 000: *N-35-115-B-2* (Рисунок 21).

Рамки листов карты масштаба 1:10 000 образуются разграфкой трапеции масштаба 1:25 000 на 4 части, каждая из которых обозначается арабскими цифрами от 1 до 4, прибавляемыми к номенклатуре листа карты масштаба 1:25 000. Например: *N-35-115-B-2-3* (Рисунок 21).

Рамки трапеции масштаба 1: 5000 получают путем разграфки трапеции масштаба 1: 100 000 на 256 частей (16 рядов по 16 листов), таким образом, составляющую $\frac{1}{4}$ часть листа масштаба 1: 10 000 и обозначается арабскими цифрами от 1 до 256, прибавляемыми к номенклатуре листа масштаба 1:100 000, при этом порядковый номер листа масштаба 1: 5000 указывают в скобках. Например: *N – 35 – 115 – (144)*.

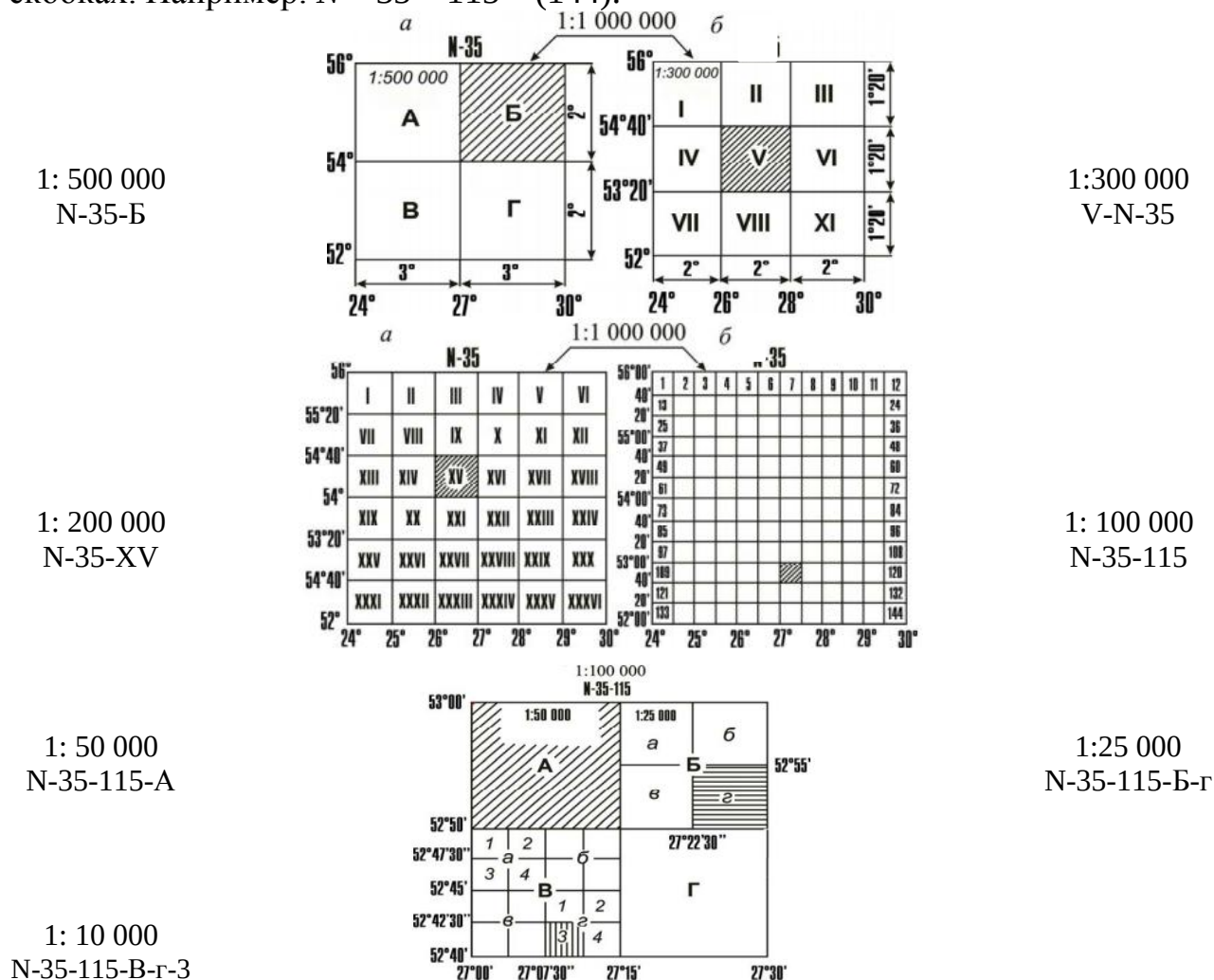


Рисунок 21 – Схема разграфки карт масштаба 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000 и 1:5 000

Рамки листов карты масштаба 1:2000 образуется путем разграфки карты масштаба 1:5000 на 9 частей и обозначают строчными буквами русского

алфавита от *а* до *и* (без буквы *ё*), прибавляемыми к номенклатуре листа карты масштаба 1:5000: N – 35 – 12 – (144 – и).

По номенклатуре можно определить масштаб листа карты. В таблице 5 приведены размеры трапеций в зависимости от номенклатуры и масштаба.

Таблица 5 – Связь между номенклатурой, масштабом и размерами листа топокарты

Номенклатура	Масштаб	Размер листа, ° ' "	
		по долготе	по широте
N-35	1:1 000 000	6°	4°
N-35-Г	1:500 000	3°	2°
N-35-XII	1:200 000	1°	0° 40'
N-35-12	1:100 000	0° 30'	0° 20'
N-35-12-Г	1:50 000	0° 15'	0° 10'
N-35-12-Б-Г	1:25 000	0° 07'30''	0° 05'
N-35-12-Б-б-2	1:10 000	0° 03'45''	0° 02'30''
N-35-12-(16)	1:5 000	0° 01'52,5''	0° 01'15''
N-35-12-(16-в)	1:2 000	0° 00'37,5''	0° 00'25''

При создании топопланов в масштабах 1:5000; 1:2000; 1:1000 и 1:500 на участки площадью до 20 км² применяется квадратная разграфка листов на основе трапеции пятидесятичного масштаба с размерами рамок 40×40 см.

1.3.5. Понятие о картографической генерализации

Картографическая генерализация (от лат. generalis – главный, общий) – это процесс отбора и целенаправленного обобщения содержания географических карт при их составлении.

Суть генерализации состоит в передаче на карте основных, типичных черт объектов, их характерных особенностей и взаимосвязей, соответственно назначению, масштаба и тематики. Генерализация усиливает познавательную ценность карт, сохраняя и подчеркивая существенное и устраняя второстепенные детали. Генерализация имеется на всех географических картах, но ее эффект особенно проявляется при сравнении карт разных масштабов на одну и ту же местность – с уменьшением масштаба уменьшается количество изображаемых объектов. Свои особенности картографическая генерализация имеет на тематических картах, которые по содержанию более разнообразны, чем общегеографические.

Основными факторами, которые определяют степень генерализации на топографических картах являются масштаб, географические особенности территории и назначение.

Влияние масштаба – основного фактора, проявляется в том, что при переходе от более крупного изображения к мелкому сокращаются размеры

изображаемой территории (например, 1 км^2 в масштабе 1:10 000 составляет 1 дм^2 , а в масштабе 1:1 000 000 – 1 мм^2). Очевидно, что изобразить в более мелком масштабе все детали и подробности, имеющиеся на исходной карте, невозможно, поэтому необходимо провести их отбор и обобщение. Однако объекты, важные для крупномасштабных карт теряют свое значение на картах мелкого масштаба и, следовательно, подлежат исключению. Так, если на крупномасштабных картах можно изучать индивидуальные особенности рек, то на мелкомасштабных – особенности речных систем. От масштаба зависит степень обобщения количественных и качественных характеристик изображенных на карте объектов. Изменение масштаба приводит к некоторому изменению вида условных знаков изображаемых объектов.

Влияние географических особенностей территории проявляется в сохранении на картах важных и типичных объектов для данной местности. Так, если на топографических картах умеренного пояса колодцы показываются редко, то для пустынной и полупустынной зон, они являются весьма важными объектами. То же самое можно сказать в отношении дорожной сети.

Назначение топографических карт не оказывает значительного влияния на генерализацию, так как они имеют многоцелевое использование и создаются на основе единых инструкций, где указываются нормы отбора и степень генерализации для карт разного масштаба. Однако при съемках для конкретных целей могут вноситься определенные коррективы. Например, на планах для целей осушительных мелиораций, показывают больше высотных отметок; а на учебных картах – меньшее количество объектов.

Основными видами картографической генерализации являются обобщение геометрических контуров, качественной и количественной характеристики, отбор картографируемых объектов и явлений и переход от отдельных объектов к их сборным обозначениям.

Обобщение геометрических контуров – это не механическое упрощение рисунка, а сохранение и выделение существенных признаков и деталей, которые могут быть даже преувеличены и сдвинуты. Например, на средне- и мелкомасштабных картах, чтобы сохранить формы микрорельефа обращаются к сдвигу горизонталей (их затягивают вверх по тальвегам). Также сохраняют характерные извилины на реках, при этом их часто преувеличивают.

Обобщение количественной характеристики проявляется в укрупнении интервалов. Хорошим примером этого является генерализация рельефа – увеличение высоты сечения: на картах масштаба 1: 10 000 – 2,5 м, 1: 25 000 – 5 м, 1: 50 000 – 10 м и т.д.

Ограничение качественной характеристики заключается в сокращении количества условных знаков и в исключении низших ступеней классификации, например, на картах масштаба 1: 10 000 дают ограды, границы городских земель и т. п. На мелкомасштабных картах их уже не показывают.

Отбор картографируемых объектов имеет целью ограничить содержание карты только главными типичными объектами, опускаются менее существенные и мелкие детали. Например, на картах масштабов 1: 10 000 – 1: 100 000 не изображаются водоемы площадью менее чем 1мм², поляны в лесу менее 4 мм².

Переход от отдельных объектов к их сборным обозначениям проявляется в замене значков отдельных объектов обозначениями обобщенного понятия: на крупномасштабных картах населенные пункты показывают отдельными строениями, на среднемасштабных – кварталами и объединением кварталов, а на мелкомасштабных – пунсонами. Второй пример, ликвидация границ при обобщении луговой и кустарниковой растительности.

1.3.6. Условные знаки топографических карт

Условные знаки – это обозначения, применяемые на географических картах для изображения различных объектов местности и определения их качественных и количественных характеристик. Условные знаки для карт представляют систему графических, цветовых, буквенных и цифровых обозначений.

Графические знаки – это разнообразные графические построения в виде фигур (или значков) и линий, отличающихся по форме, размерам, количеству составляющих элементов.

Цветовые обозначения применяются для придания картам большей наглядности и читаемости. При изображении содержания карт употребляют следующие цвета: *объекты гидрографии* показывают голубым цветом, *растительность* (лесные массивы и сады) – зеленым, *шоссейные дороги и огнеупорные здания* – оранжевым и красным, *улучшенные дороги и неогнеупорные здания и постройки* – желтым, естественные формы рельефа – коричневым (искусственные – черным цветом). Все остальные элементы карты показывают черным цветом (контурная часть, различные сооружения, названия населенных пунктов).

Буквенные обозначения используются для подписи географических названий объектов. Определенную смысловую нагрузку имеют шрифты и их размер. С помощью буквенных обозначений указывается дополнительная характеристика объектов, которая сопровождается соответствующим пояснением в виде принятых сокращений (кирпичный завод, мукомольная фабрика, школа, больница и др.).

Цифровые обозначения используются для указания различных количественных характеристик. Например: отметок высот точек земной поверхности, характеристик дорог, мостов, туннелей, лесных массивов и др.

Основные требования, предъявляемые к условным знакам – это простота рисунка, наглядность и запоминаемость, позволяющие уяснить смысл обозначений.

Все элементы местности по пространственной протяженности разделяют на две группы: *местные предметы* или *ситуация* и формы поверхности Земли или *рельеф местности*. Каждая из групп изображается на картах принятыми условными знаками. Местные предметы или ситуация отображаются на картах посредством разнообразных геометрических построений в виде фигур, линий и их сочетаний, дополненных буквенно-цифровыми и цветовыми обозначениями.

Таблица 6 – Центр условного знака

За центр знака принимается	Рисунок (внемасштабные условные знаки)	Пояснение
Геометрический центр фигуры		Знаки, геометрических фигур
Середина основания знака		Знаки, имеющие форму фигуры с широким основанием
Вершина прямого угла		Знаки, имеющие форму фигуры с прямым углом
Геометрический центр нижней фигуры		Знаки, составленные из нескольких геометрических фигур
Геометрическая ось знака		Знаки, имеющие свою ось (дороги, шоссе и др.)

Условные знаки, изображающие ситуацию местности подразделяются на *контурные* или *площадные*; *внемасштабные* и *линейные*.

Площадные, или контурные условные знаки показывают предметы местности в масштабе карты с соблюдением действительных размеров и формы. Границы знаков совпадают с внешним контуром изображаемого объекта. Площадь внутри контуров заполняют соответствующими значками (луг, лес, сад, болото, кустарник и др.).

Внемасштабными условными знаками изображают предметы местности, размеры которых не выражаются в масштабе данной карты (геодезические знаки, колодцы, водонапорные башни и др.).

Линейные условные знаки изображают линейно вытянутые объекты. Причем длина объектов выражается в масштабе карты, а ширина может быть преувеличена. Положение таких объектов на местности определяется направлением осевой линии. Примером являются: шоссе и железные дороги, линии электропередач, трубопроводы и др.

Примеры определения местоположения объектов, изображенных внемасштабными условными знаками, а также, что именно принимается за центр внемасштабного условного знака представлены в таблице 6.

Всего для крупномасштабных карт применяется около 350 графических условных знаков и более 400 сокращенных пояснительных подписей. Однако для работы с картами на конкретной территории достаточно знать несколько десятков знаков. Условные знаки для топокарт издаются в виде сводных таблиц, которые содержат знаки и пояснения к ним, раскрывающие их значения. Для удобства пользования все знаки в таблицах распределены на группы по родственным признакам.

1.3.7. Рельеф земной поверхности и его изображение на топографических картах

Рельеф – это совокупность всех неровностей земной поверхности, различных по своей форме и размерам. Рельеф является основным компонентом ландшафта и оказывает непосредственное влияние на климат, почвообразовательные процессы, распространение флоры и фауны, характер подземных и поверхностных вод и др.

Рельеф классифицируют по размерам форм и отношению форм рельефа к горизонтальной поверхности.

По размерам различают следующие формы рельефа: макро-, мезо-, микро- и нанорельеф.

Макрорельеф – крупные формы рельефа с колебаниями высот до нескольких сотен и тысяч метров (горные хребты, горные впадины, вулканические конусы и т. д.).

Мезорельеф – средние формы рельефа с амплитудами высот до нескольких десятков метров (холмы, балки, лощины).

Микрорельеф – малые формы рельефа, колебания высот не превышают нескольких метров (прирусловые валы, степные блюдца, небольшие котловины и т. д.).

Нанорельеф – мелкие формы рельефа, амплитуды высот не превышают нескольких десятков сантиметров. Это – борозды, промоины, незначительные бугры и западины, кочки, мочажины и т. п.

По отношению к горизонтальной поверхности формы рельефа подразделяются на *положительные*, имеющие выпуклую поверхность и возвышающиеся над окружающей местностью, и *отрицательные* с вогнутой поверхностью, образующие понижения местности.

Основные положительные формы рельефа. Холм – отдельная небольшая возвышенность до 200 м высотой над окружающей местностью со сравнительно пологими склонами и слабо выраженным подножием. Увал – пологая и вытянутая возвышенность с относительной высотой до 200 м, с плоской или слегка выпуклой вершинной поверхностью и неясно выраженным

подножием. *Гора* – возвышенность с высотой более 200 м с ясно выраженными крутыми склонами, где отчетливо различается вершина, склоны и подошва. Острая вершина называется пиком. *Хребет* – горная возвышенность большого протяжения, с крутыми склонами в обе стороны. *Седловина* – понижение между двумя соседними горными вершинами или возвышенностями. *Плато* – плоская возвышенность, ограниченная отчетливыми крутыми склонами – уступами.

Основные отрицательные формы рельефа. *Долина* – вытянутая в длину вогнутая форма рельефа с ясно выраженными склонами, имеющая уклон в одном направлении. Различают дно (ложе) и склоны долины. Площадки, вытянутые вдоль долины по склонам и разделенные уступами, называются *террасами*. *Овраг* – резко выраженное углубление на равнине с крутыми или обрывистыми склонами и временно действующими водотоками. Овраги имеют уклон в одном направлении и не пересекаются между собой. *Балка (лог)* – линейно-вытянутое углубление длиной до нескольких десятков километров, имеющее пологие, часто задернованные склоны и плоское дно. Балка представляет позднюю стадию развития оврагов. *Лощина* – небольшое углубление с пологими слабовыраженными склонами, постепенно переходящими в равнину и имеющую уклон в одном направлении. *Котловина* – замкнутое со всех сторон, вогнутое понижение местности, различных форм и размеров. Небольшие котловины с незначительной глубиной и плоским дном называются *блюдцами или западинами*.

Формы рельефа характеризуются основными орографическими линиями, которые дают представление о степени его расчлененности и составляющие структуру неровностей местности, так называемые – скелетные линии рельефа. К ним относятся: водораздел, тальвег, бровка, подошва. *Водораздел* – линия или полоса местности, разделяющая поверхностный сток противоположных склонов возвышенности. *Тальвег* – линия, соединяющая наиболее низкие точки дна долины. *Бровка* – линия перегиба склона, ниже которой он становится более крутым. *Подошва* – линия перегиба склона, ниже которой он становится более пологим. Подошвой называют также подножия гор, холмов, обрывов.

Изображение рельефа на топокартах должно быть наглядным, отражать количественные характеристики неровностей местности (абсолютные высоты, превышения точек, крутизну склонов и др.). Рельеф на топокартах изображается горизонталями в сочетании с отметками высот и условными обозначениями форм, которые нельзя изобразить горизонталями. Способ изображения рельефа горизонталями позволяет геометрически наиболее точно передать форму рельефа и отразить его особенности. *Горизонтالي* – это кривые линии, соединяющие на карте точки с одинаковыми высотами. Горизонтали представляют проекции сечения местности уровнями поверхностями через определенные высоты (Рисунок 22).

Заданное расстояние между соседними секущими уровнями поверхностями называется *высотой сечения рельефа h_0* . Расстояние на карте между смежными горизонталями называется *заложением s* . Высота сечения

рельефа зависит от масштаба карты и характера рельефа местности. Нормальной высотой сечения принято считать высоту, равную 0,02 см в масштабе карты. В зависимости от условий рельефа местности для различных масштабов карт установлены стандартные нормальные высоты сечения рельефа. Так, в пределах *равнинных* территорий для топокарт масштаба 1:10 000 – 2,5 м; 1:25 000 – 5 м; 1:50 000 – 10 м; 1:100 000 – 20 м. Для *высокогорных* территорий высота сечения рельефа берется в 2 раза больше нормальной, а для *плоскоравнинных* – в 2 раза меньше.

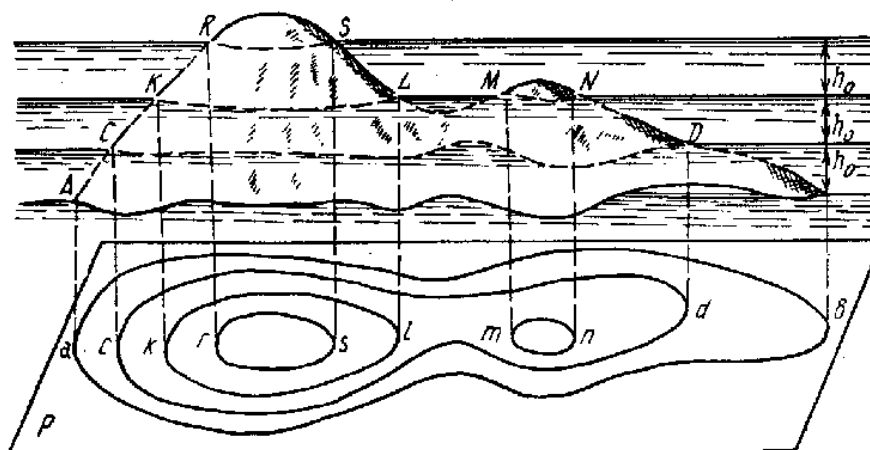


Рисунок 22 – Рельеф земной поверхности и его изображение на топографических картах

Горизонтали нормального сечения проводят сплошными линиями коричневого цвета толщиной 0,12–0,15 мм и называют основными или *сплошными* горизонталями. Для улучшения читаемости рельефа каждая пятая горизонталь (для масштаба 1:10 000 – каждая десятая), вычерчивается утолщенной линией 0,2 – 0,25 мм. Такие горизонтали называются *утолщенными*. Для отражения форм рельефа, не выражающихся основными горизонталями применяются *дополнительные и вспомогательные* горизонтали. Дополнительные, или полугоризонтали проводятся в половине основного сечения прерывистыми линиями длиной штрихов 5 мм, а вспомогательные или четвертьгоризонтали – в $\frac{1}{4}$ высоты сечения длиной штрихов – 2 мм. Формы рельефа, не выражающиеся горизонталями, изображаются специальными условными знаками. Это – обрывы, оползни, осыпи, овраги, промоины, воронки, курганы и др. Изображение элементов местности горизонталями представлено на рисунке 23

Горизонтали имеют следующие свойства:

1. Все точки, лежащие на одной горизонтали, имеют одинаковые отметки высот, кратные принятой высоте сечения рельефа.
2. Горизонтали – непрерывные замкнутые линии. Если горизонталь не замыкается внутри карты, то может обрываться только у рамки карты.

3. Горизонтالي никогда не пересекаются, т. к. относятся к разным по высоте плоскостям.
4. Горизонтали одного и того же склона имеют внешнее сходство в рисунке.
5. Расстояние между горизонталями характеризует крутизну склона (ската).

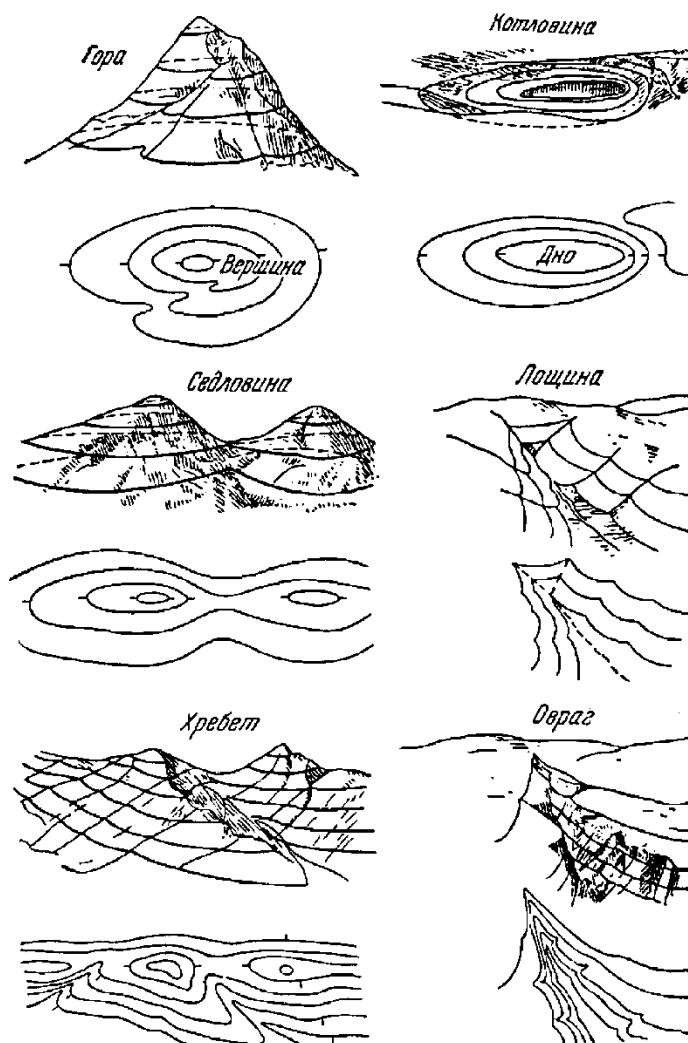


Рисунок 23 – Изображение элементов местности горизонталями

Для улучшения читаемости рельефа, на карте подписываются абсолютные отметки вершин, седловин, тальвегов, перегибов склонов, а также относительные высоты обрывов, курганов, уступов террас, которые отсчитываются от подошв и бровок.

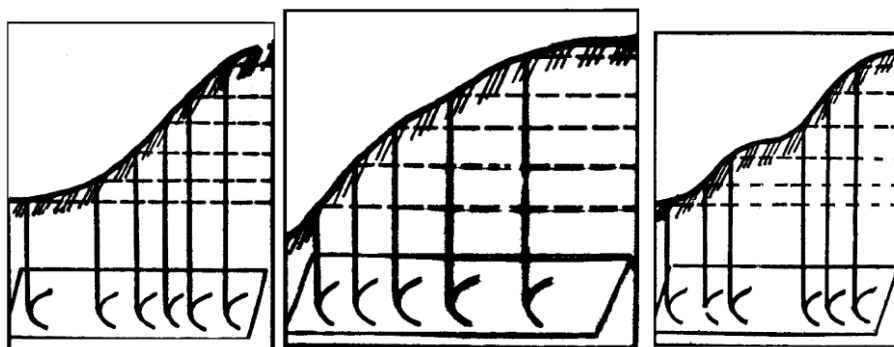
Для определения абсолютных высот местности некоторые горизонтали имеют подписи высот. Подпись высот помещается в разрывах линий горизонталей, причем верх цифр всегда направлен в сторону повышения склона.

Направление ската на топографических картах определяется указателями – бергштрихами, а также отметками горизонталей, отметками высот, расположением водоемов. *Бергштрихи* – это короткие штрихи (черточки) длиной около 0,8 мм перпендикулярные к горизонталям и направлены всегда свободным концом в сторону понижения склона. Бергштрихи помещаются на сгибах горизонталей, у вершин, седловин, на склонах, на дне котловин, т. е. в местах затруднительных для чтения.

Основными элементами, характеризующими склон, являются: *крутизна*, которая определяется углом наклона линии к горизонтальной плоскости; *направление*, соответствующее кратчайшему и наиболее крутому скату; *высота* – превышение вершины над подошвой; *заложение* – расстояние на карте между двумя горизонталями.

Крутизна склона определяется углом наклона ν или уклоном i . Уклоном прямой AB называется отношение высоты сечения h_0 к заложению s , т. е. уклон – это тангенс угла наклона ν и определяется по формуле $i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h_0}{s}$.

Уклон – безразмерная величина (отношение). На практике уклон выражают в натуральных значениях отношения $i = h/s$, в промиллях или в процентах. Например: $i \text{ ‰} = 0,045$, это означает, что на 1 м длины приходится превышение равное 45 мм, или 4,5 %.



**Рисунок 24 –Формы склона
(слева направо: вогнутый, выпуклый, волнистый)**

По взаимному расположению горизонталей на склоне можно определить его крутизну и форму (Рисунок 24). Чем круче склон, тем меньше расстояния между горизонталями и наоборот. Если склон ровный, то горизонтали располагаются на равном расстоянии друг от друга; при вогнутом склоне (Рисунок 24) – учащаются к вершине, при выпуклом (Рисунок 24) – учащаются к подошве, а при волнистом (Рисунок 24) – учащаются или разреживаются в зависимости от количества перегибов склона.

В зависимости от крутизны склоны подразделяют на пологие ($\nu < 5^\circ$); покатые (ν от 5 до 20°); крутые (ν от 20 до 45°) и обрывистые ($\nu > 45^\circ$). Крутизна склона на карте определяется по масштабу (графику) заложений, помещенному под южной стороной рамки карты, который строится по

формуле: $s = h_0 \operatorname{ctg} \nu / M$, где s – расстояние между горизонталями; h_0 – высота сечения рельефа; M – знаменатель масштаба карты.

По карте с горизонталями решают следующие задачи.

1. *Определить высоту сечения рельефа*, если известны: отметка точки, высота горизонтали и количество промежутков между горизонталями. Для решения задачи (Рисунок 25) необходимо определить разность между отметкой точки и значением высоты подписанной горизонтали и разделить на количество промежутков между горизонталями: $h_0 = \frac{167,2 - 150}{3} = \frac{17}{3} = 5,66$. Зная стандартные высоты сечения рельефа, находим, что в нашем примере высота сечения рельефа для данной карты равняется 5 м.

2. *Определить высоту горизонтали на карте*. Данную задачу можно решить двумя способами. Первый способ – находят ближайшую подпись горизонтали, подсчитывают количество промежутков между горизонталями и по высоте сечения рельефа и направлению склона определяют высоту искомой горизонтали. Второй способ – по ближайшей к горизонтали отметке точки, подписанной на карте. При этом высота горизонтали – это ближайшее число в сторону увеличения или уменьшения относительно этой отметки и кратное высоте сечения рельефа.

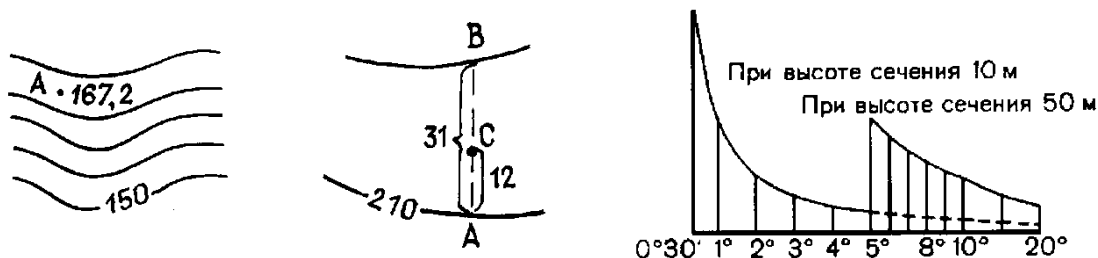


Рисунок 25 – Определение отметки точки по горизонталям и масштаб заложений

3. *Определить абсолютную отметку точки местности*, если: 1) точка местности находится на горизонтали; 2) точка находится в промежутке между горизонталями. В первом случае, когда точка местности находится на горизонтали, то ее абсолютная высота равна отметке этой горизонтали (см. первое свойство горизонталей). Во втором случае, если точка находится в промежутке между горизонталями, то необходимо узнать высоту ближайшей к ней нижней горизонтали $H_{н.г.}$ и прибавить превышение Δh данной точки над горизонталью, т. е. $H = H_{н.г.} + \Delta h$.

Превышение точки над горизонталью (Рисунок 25) определяется отношением расстояния от нижней горизонтали 210 м (точка A) до определяемой высоты точки C ($AC = \Delta h$) к расстоянию между горизонталями AB, умноженным на высоту сечения $h_0 = 5$ м. Из пропорции $\frac{AC}{AB} = \frac{\Delta h}{h_0}$ следует,

что $\Delta h = \frac{AC \cdot h_0}{AB} = \frac{12 \cdot 5}{31} \approx 1,9 \text{ м}$, тогда $H_C = 210 + 1,9 = 211,9 \text{ м}$. Превышение точки

можно определить на глаз. Для этого устанавливают, какую долю составляет отрезок от горизонтали до точки, от всего расстояния между горизонталями и к высоте горизонтали, в зависимости от направления склона прибавляют или вычитают превышение точки над горизонталью.

4. *Определить превышение (относительную высоту) между пунктами.* Для решения этой задачи необходимо определить абсолютные высоты пунктов и вычислить их разность.

5. *Определить крутизну на участке между двумя соседними горизонталями.* Решение данной задачи можно выполнить двумя способами: по масштабу (графику) заложений и по приближенной формуле.

При первом способе в раствор циркуля-измерителя берется расстояние между двумя смежными горизонталями по линии наибольшей крутизны, т. е. по кратчайшему расстоянию между ними и, приложив иглы циркуля к графику заложений, определить угол наклона. График заложений (Рисунок 25) помещается под южной стороной рамки листа топографической карты. В случае очень близкого расположения горизонталей друг к другу, когда затруднительно взять расстояние между ними, крутизну склона определяют между утолщенными горизонталями, пользуясь при этом графиком заложений между утолщенными горизонталями (правый график заложений).

Приближенная формула для определения величина угла ν , характеризующего крутизну склона, следующая: $\nu^\circ = \frac{60^\circ h}{s}$; где h – превышение (высота сечения рельефа); s – заложение в метрах на местности. Эту формулу можно использовать для определения среднего угла наклона для двух точек, лежащих на одном склоне.

6. *Построить профиль местности по направлению, заданному на топографической карте.* Горизонтальный масштаб профиля обычно выбирается равным масштабу карты, а вертикальный, для наглядности отображения рельефа – в 5-10 раз крупнее горизонтального.

Для построения профиля местности на топографической карте вдоль заданного направления прикладывают полоску бумаги, на которой отмечают все пересечения горизонталей и гидрографических объектов местности с линией профиля (Рисунок 26).

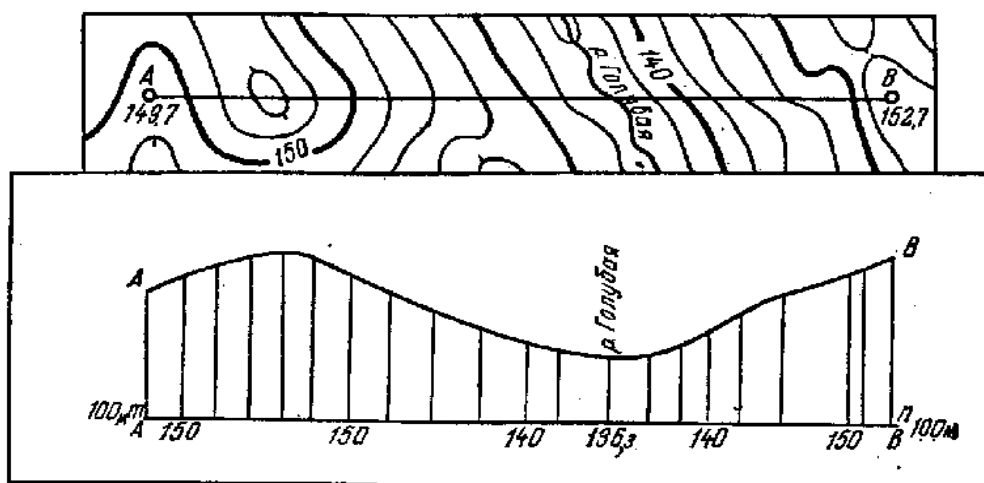


Рисунок 26 – Построение гипсометрического профиля

У всех точек пересечения подписывают высоты, определенные с топографической карты. Построение профиля выполняют на миллиметровой бумаге. Для этого прочерчивают прямую горизонтальную линию – основание профиля. Линию основания профиля АВ принимают за условный горизонт, таким образом, чтобы она располагалась на 2–3 см ниже минимальной высоты профиля. Затем с полоски бумаги на основание профиля переносят все отмеченные точки. В полученных точках восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают высоты горизонталей, согласно выбранному вертикальному масштабу. При этом следует учитывать, что от всех значений высот точек профиля необходимо вычитать отметку условного горизонта.

Отложенные, таким образом, высоты соединяют плавной кривой линией, получая в результате линию профиля местности.

1.3.8. Определение плановых координат и измерение ориентирующих направлений на топографических картах

Для определения плановых координат точек прямоугольных X, Y и географических (геодезических) B, L на топографических картах имеется километровая и градусная сетки.

В системе географических координат внутренние рамки топографических карт представляют собой отрезки дуг меридианов и параллелей. В вершинах, образуемых ими трапеций, подписаны координаты B и L . Параллельно внутренней рамке построена минутная рамка в виде чередующихся черных и белых полос. Минутные отрезки разделены на 6 частей, т. е. их угловая величина составляет $10''$.

Для нахождения географических координат, необходимо выделить на карте одноминутную трапецию, последовательно соединив для этого, одноименные значения минутных интервалов северной и южной, западной и

восточной рамок карты. Таким образом, получаем одноминутную трапецию в которой определяем географические координаты объекта (см.).

Географические координаты точек можно получить без построения минутных рамок с использованием прямоугольного треугольника путем проецирования, например, точки F (Рисунок 28). Для этого один из катетов прикладывают к минутной рамке так, чтобы второй катет треугольника находился на этой точке. Таким образом, точка F проецируется на соответствующие рамки широт и долгот. Географические координаты точки F будут иметь значения: $B_F = 54^\circ 41' 28''$ и $L_F = 18^\circ 05' 15''$ (рис. 1.3. 19).

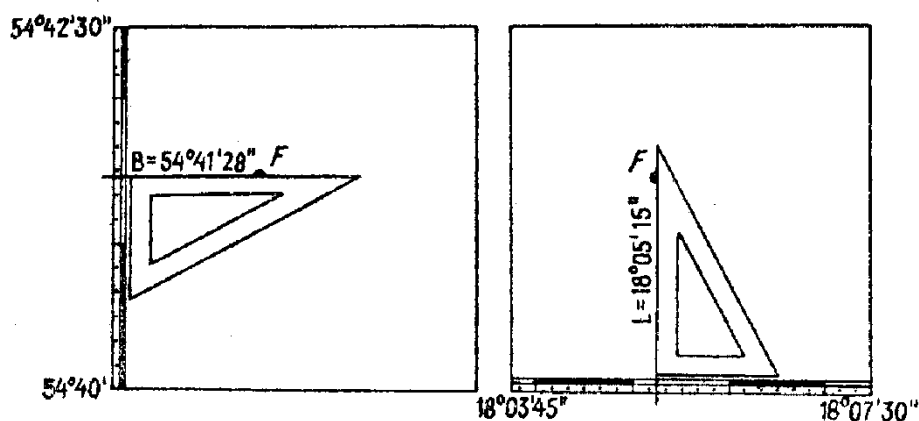


Рисунок 28 – Определение географических координат точки

Аналогично проецирование точки на рамки трапеции можно выполнить путем измерения циркулем кратчайшего расстояния от точки до внутренней рамки карты. Затем этот отрезок переносится на соответствующие минутные рамки, где определяют широту и долготу точки.

Для определения прямоугольных координат X , Y на все топографические карты наносят километровую сетку, параллельную осям зональной системы координат (абсцисс и ординат) через расстояния кратные целому числу километров. Полученную сеть квадратов называют километровой сеткой. Линии километровой сетки подписываются между внутренней и минутными рамками, т. е. указаны абсциссы и условные ординаты линий сетки. Километровые линии, ближние к углам внутренней рамки подписываются полностью (первые две цифры – меньшего размера), а остальные сокращенно – только двумя последними цифрами $^{60}65$; $^{60}68$; $^{43}11$; $^{43}14$ и 66 ; 67 ; 12 ; 13 (рис. 1.3.18). Прямоугольные координаты для точки 4 находят определением в метрах по поперечному масштабу значений Δx и Δy , которые прибавляют соответственно к значению абсцисс и ординат, выраженных в километрах. Тогда, $\Delta x = 454$ м, $\Delta y = 412$ м, а координаты точки 4 будут равны:

$$X_4 = 6\,065\,000 + 454 = 6\,065\,454 \text{ м};$$

$$Y_4 = 4\,013\,000 + 412 = 4\,013\,412 \text{ м}.$$

Измерение на топографических картах ориентирующих углов. Дирекционные углы и географические азимуты на топографических картах измеряются геодезическим транспортиром или при помощи тахеометрического круга. Для измерения углов ориентирования прямого отрезка 5–6 продлим его до пересечения с внутренней (минутной) рамкой карты. С помощью транспортира, центр которого совмещен с точкой пересечения, а нулевой диаметр транспортира – с внутренней рамкой отсчитаем географический азимут A_{5-6} .

При измерении дирекционного угла α_{5-6} нулевой диаметр транспортира совмещают с вертикальной линией километровой сетки в точке 5' или в точке 5.

Величину географического A и магнитного A_m азимутов можно определить по измеренному значению дирекционного угла α , пользуясь схемой расположения меридианов.

Дирекционный угол α также можно определить по прямоугольным координатам объектов путем решения обратной геодезической задачи.

Величина ориентирующих направлений измеряется с точностью до 10-15'. Однако необходимо отметить, что в связи с неизбежными погрешностями прочерчивания географического меридиана и определяемого направления уменьшается точность измерения углов направления.

1.3.9. Анализ топографических карт. Географическое описание местности

Анализ топографических карт проводится с целью изучения территории исследования, ее особенностей, закономерностей размещения, взаимосвязи объектов и явлений, динамики их развития и др. Анализ позволяет правильно выбрать карту определенного масштаба в зависимости от направления предполагаемого использования (для ознакомления с местностью, для ориентирования на местности, в качестве основы для составления гипсометрических, почвенных, ландшафтных карт, для научного анализа природных и социально-экономических явлений и др.)

Выбор карт сопровождается оценкой степени пригодности их для конкретных работ по точности и подробности сведений, которые предполагается получить с помощью карт. При этом необходимо учитывать, что укрупнение масштаба карт ведет к увеличению числа листов карт, уменьшая обзорность территории, но повышая точность информации. Время издания карт определяет их соответствие современному состоянию территории. Динамика географических явлений выявляется путем сопоставления разновременных карт на одну и ту же территорию.

Применяются следующие способы анализа карт: визуальный, графический, графоаналитический и математико-статистический.

Визуальный способ основан на зрительном восприятии изображения местности, сопоставлении графически показанных элементов местности по

форме, размерам, структуре т. д. Он предполагает преимущественно качественную характеристику объектов и явлений, но часто сопровождается глазомерной оценкой расстояний, площадей, высот и их соотношений.

Графический анализ заключается в исследовании построений выполненных по картам. Такими построениями являются профили, разрезы, блок-диаграммы и пр. При помощи приемов графического анализа выявляются закономерности пространственного размещения явлений.

Графоаналитический анализ подразделяется на картометрический и морфометрический. Картометрические приемы состоят в измерении на картах длины линий, определении координат, площадей, объемов, углов, глубин и др. Морфометрические приемы позволяют определять среднюю высоту, толщину, мощность явления, горизонтальное и вертикальное расчленение поверхности, уклоны и градиенты поверхности, извилистость линий, контуров и др. Численные показатели распространенности объектов, связи между ними, степени влияния разных факторов позволяют устанавливать *методы математико-статистического анализа*. С применением методов математического моделирования создаются пространственные математические модели местности. Географическое описание местности составляется после предварительного изучения карты и сопровождается измерениями и вычислениями на основе сравнения длин, углов, площадей с линейным масштабом, шкалой заложений и т. п. Основной принцип описания – от общего к частному. Описание строится по следующей схеме:

- 1) *данные о карте* (номенклатура, масштаб, год издания);
- 2) *описание границы участка местности* (географические и прямоугольные координаты);
- 3) *характеристика рельефа* (тип рельефа, формы рельефа и занимаемые ими площадь и протяженность, отметки абсолютных и относительных высот, главные водоразделы, форма и крутизна склонов, наличие оврагов, обрывов, промоин с указанием их протяженности и глубины, антропогенные формы рельефа – карьеры, насыпи, выемки, курганы и т. п.);
- 4) *гидрографическая сеть* – названия объектов, протяженность, ширина, глубина, направление и скорость течения рек, уклон, характер берегов, грунт дна; характеристика поймы (размеры, наличие старых русел, пойменных озер и глубина болот); наличие гидротехнических сооружений, а также мостов, паромов, бродов и их характеристики; описание мелиоративной сети, ее густота; наличие родников и колодцев;
- 5) *растительный покров и грунты* – тип, состав пород, занимаемая площадь, характер размещения. При наличии лесных массивов – их характеристика, ширина просек, наличие вырубок;
- 6) *населенные пункты* – название, тип, численность населения, административное значение, структура и планировка, преобладающая застройка (огнестойкая или неогнестойкая), объекты промышленности;

7) *пути сообщения* – железные и шоссейные дороги. Для железных дорог – количество путей, вид тяги, название станций, вокзалов. Для шоссейных и других дорог – характер покрытия и ширина.

1.4. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ

1.4.1. Понятие об измерениях

Измерение – это процесс сравнения измеряемой величины с величиной, принятой за единицу сравнения, в результате которого получается именованное число, называемое *результатом измерения*.

Различают: *прямые*, или *непосредственные* и *косвенные* измерения.

Непосредственными называют такие измерения, когда определяемые величины получают прямо из измерений, в результате непосредственного сравнения их с единицей измерений. Примеры непосредственных измерений – определение расстояний мерной лентой, измерение угла теодолитом.

Косвенными являются такие измерения, при которых определяемые величины получают как функции непосредственно измеренных величин. Косвенный метод предполагает вычисление значения искомой величины. Например, превышение при тригонометрическом нивелировании является функцией расстояния и угла наклона, измеренных непосредственно на местности.

Результаты измерений разделяют на *равноточные* и *неравноточные*.

Равноточными называют результаты измерения однородных величин, полученные при многократных измерениях в сходных условиях (одним наблюдателем одним и тем же прибором, одним методом и при одних и тех же условиях окружающей среды).

При нарушении даже одного из перечисленных условий результаты измерений относят к *неравноточным*.

При математической обработке результатов топографо-геодезических измерений определенное значение имеют понятия о *необходимом* и *избыточном* числе измерений. В общем случае для решения любой топографической задачи необходимо измерить некоторое минимальное число величин, обеспечивающее решение задачи. Эти измерения называют *числом необходимых измерений* t . Разность k при вычитании числа необходимых измерений t из числа всех измеренных величин n , называют *числом избыточных величин* $k = n - t$. Избыточные измерения величины позволяют обнаружить ошибки в результатах измерений и вычислений и повысить точность определяемых величин.

1.4.2. Классификация ошибок измерений

Результаты измерений отличаются от истинного значения измеряемой величины. Разность между результатом измерения l и истинным значением

измеряемой величины x называется абсолютной ошибкой (погрешностью) результата измерения Δ .

$$\Delta = l - x.$$

По характеру действия и свойствам ошибки подразделяются на: *грубые, систематические и случайные*.

Грубые ошибки, или промахи происходят в результате невнимательности исполнителя работ. К грубым относятся ошибки, которые превышают допустимую величину. Для исключения грубых ошибок выполняются повторные измерения.

Систематические ошибки возникают по определенным причинам и характеризуются постоянством своей величины и знака (+ или –). Делятся на постоянные (неизменные по знаку и величине) и *переменные* (изменяющие величину по определенному закону). Причинами их появления могут быть инструментальные ошибки (неточности в юстировке измерительных приборов, нарушение геометрических условий приборов и др.) и условия среды (изменение температуры прибора).

Величина и знак систематических ошибок устанавливается путем *компарирования* прибора, т. е. сравнения показаний рабочего прибора с показаниями прибора, принятого в качестве эталона. Систематические ошибки должны быть обнаружены, изучены и исключены из результатов измерений путем введения *поправок* или использования соответствующей методики измерений.

Под *случайными* понимаются ошибки, знак и размер которых не имеют закономерности своего появления, их возникновение не подчиняется определенным математическим законам, т. е. носят случайный характер. Они подчиняются статистическим закономерностям массовых случайных величин. Поэтому от случайных ошибок нет возможности полностью освободить результаты измерений.

1.4.3. Свойства случайных ошибок

Если одну и ту же величину, истинное значение x которой известно, многократно определить с равной точностью, то получим *ряд* измерений $l_1, l_2, \dots, l_n$. Каждое измерение будет иметь свою случайную ошибку $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$, т. е. $l_1 - x = \Delta_1; l_2 - x = \Delta_2; \dots; l_n - x = \Delta_n$.

Полученный ряд случайных ошибок обладает определенными статистическими свойствами:

1. *Свойство симметричности*, т. е. равные по абсолютной величине, но разные по знаку ошибки встречаются в рядах результатов измерений одинаково часто.

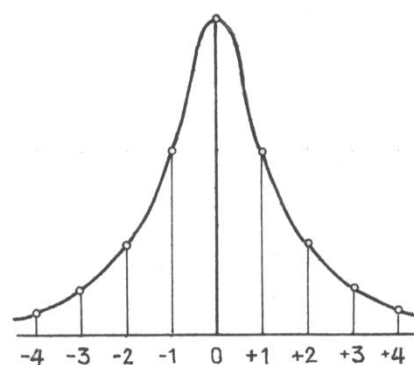
2. *Свойство унимодальности* или *сосредоточения*, т. е. малые по абсолютному значению ошибки встречаются чаще чем большие.

3. *Свойство ограниченности*, т. е. абсолютное значение случайных ошибок результатов измерений не может быть больше некоторого известного предела (предельной погрешности) $\Delta_i \leq \Delta_{\text{пред}}$. Величина предельной погрешности устанавливается инструментами.

4. *Свойство компенсации*, т. е. среднее арифметическое из всех случайных ошибок ряда измерений при неограниченном увеличении числа измерений, стремится к нулю $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{n} = 0$, где Δ – случайные ошибки, n – количество измерений.

Если суммы обозначить квадратными скобками [] (символ сумм Гаусса), то можно записать $\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta}{n} = 0$.

Если на оси ординат (Рисунок 29) отложить величины случайных ошибок, а на оси абсцисс – число ошибок ряда измерений и через полученные точки провести кривую линию, то получим *график распределения случайных ошибок*, который характеризует указанные свойства. Из графика случайных ошибок следует, что *большее число случайных ошибок* расположено в пределах их значений от -1 до $+1$.



**Рисунок 29 –
График случайных
ошибок**

Приведем пример, подтверждающий свойства случайных ошибок. В результате 10-кратного измерения расстояния мерной лентой получили следующие случайные ошибки (Таблица 7).

Таблица 7 – Связь количества измерений и величины ошибки

Измерения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ошибки, см	-1	+2	-1	+1	+2	-2	-3	+4	-1	+6

Из данного ряда результатов измерений можно отметить, что ошибок по абсолютному значению от 0 до 2 см – семь, от 3 до 4 см – две, свыше 4 см – одна. Среднее арифметическое из десяти ошибок равняется 0,7 см.

1.4.4. Оценка точности результатов равноточных измерений.

Арифметическая середина

Если имеется ряд результатов равноточных измерений $l_1; l_2; \dots; l_n$ одной и той же величины, то за окончательное значение принимают среднюю арифметическую величину L из всех результатов.

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

Если истинное значение измеряемой величины x , то абсолютные ошибки будут равны:

$$\Delta_1 = l_1 - x;$$

$$\Delta_2 = l_2 - x;$$

.....;

$$\Delta_n = l_n - x,$$

$$\overline{[\Delta]} = [l] - nx.$$

Из суммы равенств получим, что $x = \frac{\sum l}{n} - \frac{\sum \Delta}{n}$.

В соответствии со свойством 4 случайных ошибок, с увеличением числа измерений величина $\frac{\sum \Delta}{n} \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$.

Следовательно, при бесконечно большом числе измерений, среднее арифметическое L будет стремиться к истинному значению измеряемой величины x .

Величина $\frac{\sum l}{n}$ при конечном числе измерений будет *вероятнейшим значением* определяемой величины, называемой *арифметической серединой*. Разность между результатом измерения и средним арифметическим называют *уклоном от арифметической середины* или *вероятнейшими ошибками* v , т. е. $l_1 - L = v_1$.

Сумма вероятнейших ошибок равняется нулю $\sum v = 0$, если величина среднего арифметического не имела округлений.

В топографии и геодезии в качестве критериев точности измерений в основном применяют *среднюю квадратическую ошибку* и *относительную ошибку*.

Среднюю квадратическую ошибку отдельного результата измерения m вычисляют по формуле Гаусса: $m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum \Delta^2}$.

Формулу Гаусса можно использовать, когда известно истинное значение измеренной величины, а для оценки точности величин, истинное значение которых неизвестно, применяется формула Бесселя $m = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum v^2}$, где v – вероятнейшая ошибка.

Среднюю квадратическую ошибку арифметической середины M выражают через среднюю квадратическую ошибку m отдельного измерения, т. е. $M = \frac{m}{\sqrt{n}}$.

Таким образом, средняя квадратическая ошибка арифметической середины из результатов равноточных измерений в $\sqrt{n}$ раз меньше средней квадратической ошибки результата отдельного измерения. Для уменьшения

ошибки измерения, например, в 2 раза, количество измерений необходимо увеличить в 4 раза.

Применительно к конкретным условиям указывают критерий отбраковки результатов измерений. В качестве такого критерия служит *предельная ошибка*. Для наиболее значимых измерений применяются повышенные требования к точности и величину предельной ошибки принимают равной $2m$, т. е. $\Delta_{\text{пр.}} = 2m$ (удвоенное значение средней квадратической ошибки. Для менее значимых измерений принимается величина предельной ошибки равная $3m$, т. е. $\Delta_{\text{пр.}} = 3m$ (утроенное значение средней квадратической ошибки).

Пример, если при угловых измерениях $m = 5''$, то «по правилу $2m$ » отбраковываются все результаты, значения которых по абсолютной величине больше $10''$, а применительно к «правилу $3m$ » отбраковываются – больше $15''$.

Для суждения о точности многих измерений недостаточно определения величины абсолютной ошибки, необходимо еще знать значение самой измеряемой величины. Так, для получения представления о точности линейных, площадных и других измерений применяется *относительная ошибка*.

Относительная ошибка – это отвлеченное число, выражающее отношение абсолютной ошибки к результату измерения. Относительную ошибку принято выражать простой дробью, числитель которой равен единице.

$$f_{\text{отн.}} = \frac{m}{L} = \frac{1}{L/m} \text{ – для отдельного результата измерений}$$

$$f_{\text{отн.}} = \frac{M}{L} = \frac{1}{L/M} \text{ – для арифметической середины.}$$

Значение знаменателя принято округлять до двух значимых цифр. Чем больше знаменатель, тем выше точность выполненных работ.

Рассмотрим пример. Измерены две линии: одна длиной 220 м со средней квадратической ошибкой $\pm 0,17$ м, другая – длиной 390 м со средней квадратической ошибкой $\pm 0,23$ м, т. е. $L_1 = 220$ м, $m_1 = \pm 0,17$ м, $L_2 = 390$ м, $m_2 = \pm 0,23$ м. Какая из линий измерена точнее?

Подставив результаты измерений и вычислений в вышеприведенные формулы, получим, что относительная ошибка в первом случае будет равна $\frac{1}{1300}$

, а во втором – $\frac{1}{1700}$. Следовательно, вторая линия измерена точнее, несмотря на большую величину абсолютной ошибки.

1.4.5. Оценка точности результатов неравноточных измерений

При неравноточных измерениях нельзя принимать в обработку среднее арифметическое из результата ряда наблюдений, т. к. необходимо учитывать

достоверность каждого результата. Более точные измерения должны оказывать большее влияние на окончательный результат.

Для обработки результатов *неравноточных* измерений вводят понятие о математическом *весе измерения*. Вес определяет степень надежности результатов измерений. Чем точнее результат измерений, тем больше его вес. Точность результата измерения характеризуется его средней квадратической ошибкой. Следовательно, чем меньше средняя квадратическая ошибка результата измерения и чем больше его вес, тем надежнее результат.

Таким образом, *вес* результата измерения p – это величина обратно пропорциональная квадрату средней квадратической ошибки, характеризующей результат данного измерения.

Если ряд *неравноточных* измерений $l_1; l_2; \dots; l_n$, а их средние квадратические ошибки имеют значения $m_1; m_2; \dots; m_n$, то соответствующие им веса, будут $p_1 = \frac{c}{m_1^2}; p_2 = \frac{c}{m_2^2}; \dots; p_n = \frac{c}{m_n^2}$, где c – некоторая постоянная величина, число произвольное, но одно и то же при определении значений всех весов.

Обозначим вес среднего арифметического, полученного из n измерений P , а вес одного измерения – p , тогда $\frac{P}{p} = \frac{c}{M^2} : \frac{c}{m^2} = n$.

Следовательно, вес арифметической середины в n раз больше веса каждого отдельного результата измерения.

Пусть некоторая величина X измерена n раз в различных условиях. При этом получены результаты l_1 с весом p_1 , l_2 с весом p_2 , и т. д. соответственно. Тогда наиболее вероятным значением будет *среднее весовое* или *общее арифметическое среднее* (общая арифметическая середина), вычисляемое по

формуле
$$L_0 = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i p_i}{\sum_{i=1}^n p_i}.$$

Общей арифметической серединой или *весовым средним* *неравноточных* измерений называется сумма произведений результата каждого измерения на его вес, разделенная на сумму весов.

Истинные значения измеряемых величин, как правило, неизвестны, поэтому при оценке точности результатов *неравноточных* измерений используют вероятнейшие ошибки.

Средняя квадратическая ошибка *единицы веса* μ определяется по формуле $\mu = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n p_i v_i^2}$, где v – вероятнейшая ошибка (уклонение от общей арифметической середины) $v = l - L_0$; n – число измерений.

Средняя квадратическая ошибка *веса* *среднего* или *общей арифметической средней* M_0 вычисляется по формуле $M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{P}}$, где P – сумма весов.

1.5. ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ

Угловые измерения являются одним из основных элементов при выполнении геодезических работ. При создании плановых геодезических сетей и производстве топографических съемок выполняются измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Рассмотрим рисунок 30. Пусть ABC угол на местности, стороны которого не лежат в горизонтальной плоскости. Горизонтальной проекцией этого угла будет угол aBc , полученный проецированием сторон BA и BC на горизонтальную плоскость P . Следовательно, горизонтальный угол aBc – линейный угол, являющийся мерой двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями $aBB'A'$ и $cBB'C'$, проходящими соответственно через стороны BA и BC данного угла. Мерой того же двугранного угла будет являться любой другой линейный угол $a'b'c'$, вершина которого находится на ребре BB' двугранного угла, а стороны в горизонтальной плоскости. Поэтому горизонтальный угол ABC можно измерить с помощью круга, разделенного на градусы и доли градуса, плоскость которого горизонтальна, а центр совмещен с ребром BB' двугранного угла и находится на некоторой удобной для наблюдения высоте b' относительно точки B . Если деления на круге оцифрованы по ходу часовой стрелки, то угол ABC можно определить как разность отсчетов по кругу, т.е. $a' - c'$. Такой круг в геодезии называется *лимбом*.

Для того, чтобы отметить на лимбе отсчеты a' и c' , необходимо иметь вертикальную плоскость, вращающуюся в центре лимба вокруг вертикальной оси BB' . Такая плоскость называется *визирной плоскостью*.

Изложенный принцип измерения горизонтального угла положен в основу устройства угломерного прибора, называемого *теодолитом*.

Данный теодолит относится к угломерным прибором технического класса точности. Он состоит из подставки, горизонтального круга, алидады, колонки, вертикального круга, зрительной трубы, отсчетного устройства и уровней.

Для выполнения угломерных работ теодолит устанавливается на штатив. Крепление теодолита к штативу осуществляется при помощи станового винта 10.

Подставка (трегер) – нижняя часть теодолита снабжена тремя подъемными винтами и предназначена для горизонтирования прибора. В подставке находится ось горизонтального круга теодолита.

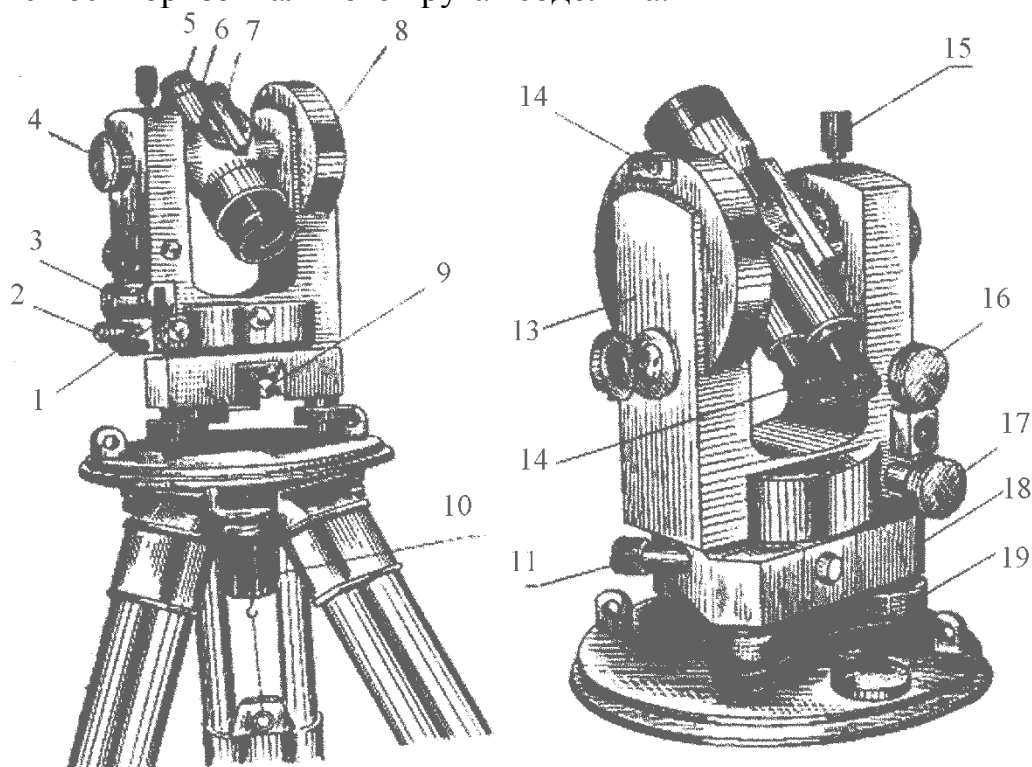


Рисунок 31 – Устройство теодолита 2Т30П

1 – исправительный винт уровня; 2 – закрепительный винт алидады горизонтального круга; 3 – цилиндрический уровень; 4 – кремальерный винт; 5 – окулярное кольцо зрительной трубы; 6 – колпачок, под которым расположены исправительные винты сетки нитей; 7 – зрительная труба; 8 – вертикальный круг; 9 – закрепительный винт горизонтального круга; 10 – становой винт; 11 – наводящий винт горизонтального круга; 12 – отсчетное устройство (микроскоп);

13 – колонка; 14 – паз для установки ориентир-буссоли; 15, 16 – закрепительный и наводящий винты зрительной трубы; 17 – наводящий винт алидады горизонтального круга; 18 – подставка; 19 – подъемный винт.

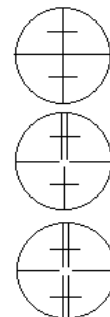
Горизонтальный круг с круговой угломерной шкалой называют лимбом. На шкале через 1° нанесены штрихи, которые подписаны по часовой стрелке от 0° до 360° . Лимб наглухо скреплен с его вертикальной трубчатой осью, которая входит во втулку подставки 18. Для вращения в горизонтальной плоскости лимб имеет закрепительный 9 и наводящий 11 винты.

Алидада представляет собой круг, вертикальная ось которой входит в полую ось лимба и таким образом она соединена с ним соосно. Алидада имеет закрепительный 2 и наводящий 17 винты, что позволяет вращать ее в горизонтальной плоскости относительно неподвижного лимба. С алидадой наглухо скреплены колонки 13 и цилиндрический уровень 3. Колонку вместе с алидадой часто называют алидадной частью теодолита.

В колонках теодолита находится его горизонтальная ось, которая наглухо скреплена с вертикальным кругом. Вертикальный круг предназначен для измерения углов наклона и поэтому в отличие от горизонтального имеет секторную оцифровку, т. е. для положения «круг лево» (КЛ) будет иметь знак «+» для положительных углов наклона и знак «-» — для отрицательных. При положении «круг право» (КП) знаки при цифрах будут обратными: оцифровка положительных углов наклона имеет знак «-», а отрицательных — знак «+». Правильный знак угла наклона соответствует положению КЛ. Положение КЛ означает, что вертикальный круг относительно наблюдателя находится слева от зрительной трубы, а при положении КП — справа. Положение вертикального круга меняют переводом зрительной трубы через зенит.

Зрительная труба 7 также наглухо закреплена на горизонтальной оси прибора и предназначена для визирования на объекты. Она состоит из смонтированных в общем корпусе объектива, фокусирующей линзы, окуляра и расположенной перед ним визирной сетки (Рисунок 32), которая выгравирована на стеклянной пластинке.

Основные штрихи сетки взаимно перпендикулярны, они предназначены для наведения зрительной трубы на объект в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 1.5.3.). Кроме основных штрихов, имеются крайние горизонтальные дальномерные штрихи, предназначенные для определения расстояний по рейке. Для повышения точности визирования половину вертикальной линии сетки нитей наносят в виде близко расположенных параллельных штрихов, называемых *биссектором*.



**Рисунок 32 –
Сетка нитей**

Воображаемая линия, проходящая через центр сетки нитей и оптический центр объектива, называется визирной осью зрительной трубы, а ее продолжение до наблюдаемой точки, образует линию визирования.

При наведении зрительной трубы на предмет, наблюдателю необходимо одновременно отчетливо видеть штрихи сетки нитей и наблюдаемый предмет. Отчетливой и резкой видимости сетки нитей по глазу наблюдателя добиваются вращением окулярного кольца 5, а отчетливая видимость предмета достигается путем перемещения фокусирующей линзы кремальерным винтом 4. Для вращения вертикальной плоскости зрительная труба имеет закрепительный 15 и наводящий 16 винты. Таким образом, этими винтами и винтами алидады или лимба зрительную трубу можно наводить на любую точку в пространстве.

Оптические качества зрительной трубы характеризуются увеличением и полем зрения. Увеличение зрительной трубы ν равно отношению угла α , под которым виден предмет в трубу, к углу β , под которым он виден невооруженным глазом $\nu = \frac{\alpha}{\beta}$. Зрительная труба теодолита Т 30 имеет

увеличение $20^{\times}$. Поле зрения – угол, ограниченный конической поверхностью и видимый через неподвижно установленную трубу (поле зрения Т 30 равно 2°).

Уровни предназначены для приведения осей или плоскостей геодезических приборов в отвесное или горизонтальное положение. Они бывают цилиндрическими или круглыми. Теодолит Т 30 и его модификации имеют один цилиндрический уровень (Рисунок 33), представляющий собой стеклянную ампулу в оправе, заполненную легкоподвижной жидкостью (сернистый эфир или этиловый спирт). Внутренняя поверхность ампулы отшлифована и представляет собой дугу постоянного радиуса, а на внешней поверхности нанесены штрихи через 2 мм. «Нуль – пункт» уровня – это средний пункт шкалы. Касательная к пузырьку уровня, когда он находится в нуль-пункте, называется осью цилиндрического уровня. Центральный угол τ , стягивающий одно деление дуги ампулы, называется ценой деления. Цена деления равна $\tau'' = \left(\frac{l}{R}\right) \cdot \rho''$. Таким образом, чем больше радиус кривизны ампулы, тем точнее уровень.

Оптические теодолиты имеют отсчетные устройства (Рисунок 34) в виде штрихового а (Т 30) или шкалового б микроскопов (Т 15; 2 Т 30; 2 Т 30 П).

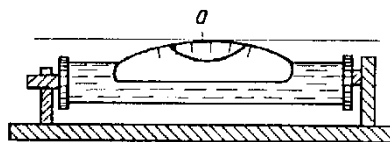


Рисунок 33 – Цилиндрический уровень

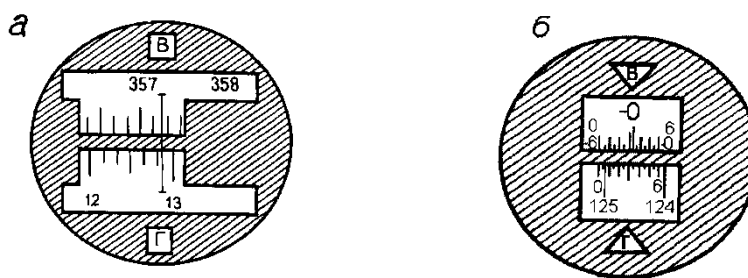


Рисунок 34 – Отсчётное устройство

В поле зрения отсчетных приспособлений одновременно с помощью оптической системы передаются изображения штрихов лимба горизонтального круга, отмеченные внизу буквой «Г» ($\triangle$) и изображения штрихов

вертикального круга, отмеченные буквой «В» (∇_B). В штриховых микроскопах отсчет берется по неподвижному штриху. Цена одного деления угломерных кругов теодолита Т 30 равна $10'$, десятые доли оцениваются на глаз. Согласно рис. 5.5 а отсчет по горизонтальному кругу (ГК) равен $12^\circ 52'$, а по вертикальному кругу (ВК) – $357^\circ 17'$.

У теодолита 2 Т 30 П вместо неподвижного штриха в микроскоп вмонтированы неподвижные шкалы для горизонтального и вертикального кругов, длина которых соответствует дуге цены деления лимбов – 1° . Шкалы разделены штрихами через $5'$ на двенадцать отрезков. Отсчет градусов берется по тому штриху лимба, который находится в пределах шкалы, а минуты определяются по штрихам шкалы слева направо до этого штриха на глаз с точностью до $1'$. Согласно рисунку 34 отсчет по ГК равен $125^\circ 06'$.

Шкала для вертикального круга имеет два ряда цифр, в зависимости от угла наклона визирной оси по отношению к плоскости горизонта. При положительных углах наклона отсчет определяется аналогично, как и по ГК. При отрицательных углах наклона (Рисунок 34), когда в пределах шкалы находится штрих вертикального круга со знаком « - » значение минут отсчитывают до этого штриха по шкале справа налево. Согласно рис. 1.5.5б отсчет по ВК равен минус $0^\circ 27'$.

1.5.2. Поверки теодолитов

Перед проведением полевых угловых измерений необходимо выполнить проверки теодолита, т. е. установить соответствие прибора основным геометрическим условиям, положенных в основу их конструкций. Если геометрические условия не выполняются, то производится *юстировка* (регулировка) прибора.

Перед началом проверок необходимо провести общий осмотр теодолита. При этом:

1. Оптическая система зрительной трубы должна давать отчетливые изображения.
2. Вращение вертикальной оси теодолита и горизонтальной оси трубы должно совершаться легко и плавно, без заеданий.
3. Все винты (подъемные, наводящие, закрепительные) должны быть исправными, а уровни должны иметь необходимую чувствительность.

К теодолиту предъявляется ряд требований, связанных с взаимным положением его основных осей. Основные оси теодолита (Рисунок 35):

II_1 – вертикальная ось (ось вращения алидады горизонтального круга);

HH_1 – горизонтальная ось (ось вращения зрительной трубы);

UU_1 – ось уровня горизонтального круга (касательная к внутренней поверхности ампулы в нуль-пункте);

VV_1 – визирная ось (прямая, проходящая через оптический центр объектива и перекрестие основных штрихов сетки нитей).

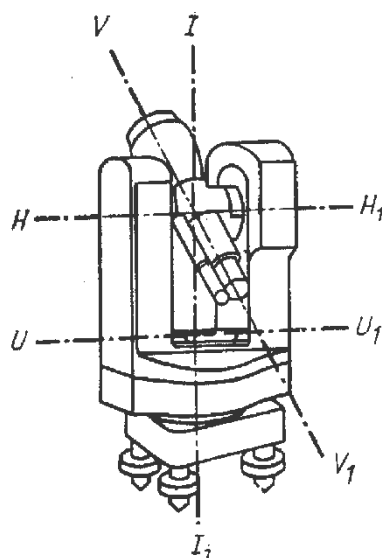


Рисунок 35 – Основные оси теодолита

Поверки выполняются в следующем порядке:

1. *Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора.*

Цилиндрический уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов, и вращая их в противоположные стороны приводят пузырек уровня на середину, т. е. в положение нуль-пункта. Затем поворачивают алидаду на 180° . Если пузырек уровня отклонится с нуль-пункта, то исправительными винтами уровня перемещают его в сторону нуль-пункта на половину дуги отклонения. Поверку повторяют до тех пор, пока пузырек уровня не будет отклоняться от положения «нуль-пункт» более чем на одно деление уровня.

Остальные поверки выполняют после приведения вертикальной оси в отвесное положение. Для этого исправленный уровень устанавливают по направлению третьего подъемного винта, т. е. поворачивают алидаду на 90° , и вращая этот винт приводят пузырек в нуль-пункт.

2. *Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к ее горизонтальной оси вращения.* Отклонение перпендикулярности вызывает коллимационную ошибку c . Зрительную трубу визируют дважды на удаленный хорошо видимый предмет и снимают отсчеты по горизонтальному кругу при двух положениях КЛ и КП. Величину коллимационной ошибки вычисляют по формуле:
$$c = \frac{КЛ - КП \pm 180^\circ}{2}.$$

Колебание значений c для теодолита Т30 и его модификаций не должно превышать $1'$. В противном случае, для устранения ошибки вычисляется правильный отсчет:
$$a_{\text{прав.}} = \frac{КЛ + КП \pm 180^\circ}{2},$$
 который устанавливается наводящим

винтом алидады. При этом сетка нитей сместится с наведенного предмета. С помощью боковых исправительных винтов перемещают сетку нитей до совмещения с точкой визирования. После исправления коллимационной ошибки поверку необходимо повторить.

3. Вертикальный штрих сетки нитей (или биссектор) должен находиться в коллимационной плоскости трубы.

Наводят зрительную трубу на хорошо видимую точку. Наводящим винтом вращают трубу вокруг горизонтальной оси вверх и вниз и следят за изображением наблюдаемой точки. Если вертикальный штрих сетки нитей не отклоняется от изображения точки, то условие поверки считается выполненным. В противном случае отпускают закрепительные винты окулярной части и поворачивают ее, пока вертикальный штрих не займет нужное положение сетки нитей, путем поворота. Эту поверку можно выполнять по подвешенному нитяному отвесу. После этого необходимо повторить вторую поверку.

4. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита.

Теодолит устанавливается в 10–15 м от стены здания и вертикальная ось приводится в отвесное положение. Визируют теодолит на высоко выбранную в стене точку. Опуская зрительную трубу вниз, проецируют эту точку до уровня высоты прибора, т. е. отмечают ее проекцию на стене. Переводят трубу через зенит и при втором положении теодолита наводят на ту же точку, опускают трубу и снова отмечают на стене проекцию перекрестия сетки нитей. Отмеченные проекции точек должны совпасть или не выходить из пределов биссектора. В этом случае условие поверки считается выполненным. В противном случае наклон оси необходимо юстировать в мастерской.

1.5.3. Установка теодолита и измерение горизонтальных углов

Для измерения горизонтальных углов на пункте теодолит приводят в рабочее положение, т. е. центрируют и горизонтируют. Кроме этого, устанавливают зрительную трубу по глазу и по предмету.

Центрирование теодолита – это установка вертикальной оси прибора над вершиной измеряемого угла. Выполняется при помощи оптического или нитяного отвеса.

Для этого теодолит на глаз устанавливается над вершиной угла так, чтобы верхняя площадка штатива была приблизительно горизонтальной. Затем, с контролем по отвесу, осторожно заглубляют ножки штатива, пока острие грузика отвеса не окажется над вершиной угла.

Под *горизонтированием* понимается приведение вертикальной оси прибора в отвесное положение. Для этого выверенный уровень поворотом алидады устанавливают по направлению двух подъемных винтов и вращая их в противоположные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Потом

уровень поворачивают на 90° и третьим подъемным винтом приводят пузырек к середине. После этого при любом положении алидады пузырек уровня не должен уклоняться от нуля-пункта более чем на одно деление.

Зрительную трубу фокусируют на отчетливую видимость сетки нитей вращением окуляра, а на объект – вращением фокусирующего (кремальерного) винта зрительной трубы.

Горизонтальные углы на местности обычно измеряют двумя способами: способом приемов (способ отдельного угла) и способом круговых приемов (способ В. Я. Струве).

Способ приемов применяется в том случае, когда в точке определяется только один угол между двумя направлениями (Таблица 8). Для исключения влияния коллимационной ошибки и наклона оси вращения зрительной трубы каждый угол измеряют при двух положениях теодолита КП и КЛ. Два полуприема составляют один полный прием.

Таблица 8 – Способ приёмов

Номер		Отсчеты по горизонтальному кругу			Угол			Среднее из углов		
Стан ции	точки наблюд ения	Град	мин	с	гра д	мин	с	град	мин	с
II	1	223	45	45	105	33	15	105	33	07,5
	3	118	12	30						
	1	82	19	30	105	33	00			
	3	336	46	30						

Первый полуприем:

1. В вершине измеряемого угла теодолит устанавливается в рабочее положение, направление сторон измеряемого угла обозначается вешками, устанавливаемыми в створах измеряемых линий.

2. Закрепляют горизонтальный круг и перемещая алидаду визируют на нижнюю часть правой (задней) вешки. Точное наведение выполняется наводящими винтами алидады и зрительной трубы. Снимают отсчет по отсчетному устройству и записывают в журнал для измерения углов.

3. Открепив алидаду горизонтального круга, зрительную трубу визируют на нижнюю часть левой (передней) вехи, уточняют и записывают отсчет.

Измеренный угол между двумя направлениями равен разности отсчетов на правую (П) и левую (Л) точки, т. е. $\beta = П - Л$. Причем, если отсчет на заднюю точку меньше, чем на переднюю, то к нему прибавляют 360° .

Перед выполнением второго полуприема горизонтальный круг смещают примерно на 90° .

Второй полуприем.

Для этого переводят зрительную трубу через зенит и повторяют измерения угла в том же порядке, что и в первом полуприеме. Результаты измерений записывают в журнал. Расхождение между значениями измеренного угла при КП и КЛ для теодолита Т 30 не должно превышать утроенной точности прибора, т. е. $\Delta\beta \leq 1,5'$.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое из двух значений измеренного угла при положении теодолита КП и КЛ, т. е. $\beta_{\text{ср.}} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$. Для контроля измерений удобно пользоваться способом «от нуля».

Совместив нули лимба и алидады, закрепляют алидаду и с открепленным лимбом визируют на левую (переднюю) точку. Закрепив лимб проверяют отсчет по горизонтальному кругу, равному $0^\circ 00'$ и открепив алидаду визируют на заднюю (правую) точку. В этом случае отсчет на правую точку будет равен величине измеряемого угла.

Способ круговых приемов применяется когда на пункте (станции) необходимо измерить углы по нескольким направлениям, т. е. когда направлений больше двух (Таблица 9).

Первый прием выполняется при КЛ.

1. Одно из направлений принимают за начальное. Обычно выбирают удаленный пункт с хорошей видимостью. Вращая алидаду устанавливают на лимбе отсчет несколько более 0° (например, $0^\circ 05'$). Закрепляют алидаду и винтами горизонтального круга и зрительной трубы визируют на начальное направление. Закрепляют горизонтальный круг, уточняют отсчет и записывают его в журнал измерений.

2. Открепив алидаду, при зафиксированном лимбе последовательно визируют на все другие наблюдаемые точки по ходу часовой стрелки. Снимают отсчеты и записывают их в журнал.

3. Первый полуприем заканчивают повторным наведением и отсчетом на начальный пункт. Сходимость отсчетов при наведении на начальный пункт в начале и конце полуприема называется *замыканием горизонта* и является необходимым контролем. Расхождение отсчетов не должно превышать утроенной точности прибора.

4. Второй полуприем выполняется при КП. Открепив алидаду и зрительную трубу, переводят трубу через зенит и визируют на начальный пункт. Снимают и записывают отсчет.

5. Вращая алидаду в обратном порядке, против хода часовой стрелки, наблюдают все остальные пункты. Запись отсчетов в журнале производят снизу вверх. Второй полуприем заканчивают повторным наблюдением на начальный пункт, проверяя сходимость замыкания горизонта.

6. Полевой контроль включает слежение за отсчетами, которые при различных кругах на один и тот же пункт должны отличаться на 180° . Допустимое расхождение – не более утроенной точности теодолита.

Таблица 9 – Способ круговых приёмов

Станция	Точки визирования	Отсчеты по горизонтальному кругу		Двойная коллимационная погрешность, $2c = \text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ$	Средние отсчеты, $\text{КЛ} + \frac{(\text{КП} \pm 180^\circ)}{2}$ или (КЛ-с)	Направление, приведенное к нулевому
		КЛ	КП			
I	Крутая	0°08'	180°09'	Прием 1 -1,0	0°08,5' -0,3'	0°00,0'
	Валун	38°53'	218°54'	-1,0	38°53,5' -0,6'	38°44,7'
	Точка 2	217°45'	37°46'	-1,0	217°45,5' -1,0'	217°36,4'
	Крутая	0°09'	180°10'	-1,0	0°09,5'	0°00,0'

$$\Delta_{\text{КЛ}} = +01' \quad \Delta_{\text{КП}} = +01'$$

При математической обработке журнала полевых измерений вычисляются:

– средняя ошибка незамыкания горизонта по формуле: $\Delta_{cp} = \frac{\Delta_{\text{КЛ}} + \Delta_{\text{КП}}}{2}$;

– двойная коллимационная ошибка $2c = \text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ$;

– средний отсчет направления $a_{cp} = \text{КЛ} - c$;

– поправки в средние отсчеты за счет незамыкания горизонта

$\delta_k = -\frac{\Delta_{cp}}{n}(k-1)$, где n – число наблюдаемых направлений; k – номер по порядку наблюдаемого направления.

После этого вычисленные поправки вводятся в средние отсчеты, из которых затем вычитается среднее значение начального направления.

Ошибки измерения горизонтальных углов. К основным источникам погрешностей относятся:

1. *Ошибки приборов.* Ошибки самих приборов (неточность делений лимба, неперпендикулярность плоскости лимба к основной оси прибора и др.) весьма малы и не оказывают существенного влияния на точность измеряемых углов при измерениях двумя полуприемами.

2. *Ошибки измерения угла,* возникающие из-за неточности центрирования и визирования. Эти ошибки возрастают с уменьшением сторон угла. Они вызываются неточной установкой теодолита над вершиной измеряемого угла и неправильной постановкой вех. Теодолит необходимо центрировать с

точностью 2–4 мм, а вехи – устанавливать отвесно и при измерении углов визировать на их нижнюю часть у поверхности земли.

3. *Ошибки от влияния внешней среды.* К ним относятся: колебание изображений, нагревание штатива и прибора солнечными лучами, рефракция (преломление световых лучей в земной атмосфере из-за увеличения плотности воздуха к поверхности Земли) и неустойчивость штатива. От прямого воздействия солнечных лучей теодолит и штатив рекомендуется закрывать зонтом.

1.5.4. Измерение вертикальных углов

Измерения вертикальных углов в топографии производятся при определении превышений. Для этого измеряют углы наклона, которые бывают положительными и отрицательными по отношению к горизонтальной плоскости, что соответствует определенному отсчету по вертикальному кругу.

Отсчет по вертикальному кругу, когда визирная ось зрительной трубы занимает горизонтальное положение, а пузырек уровня вертикального круга находится в нуль-пункте, называют местом нуля (МО) вертикального круга.

МО определяется визированием на удаленную точку средним горизонтальным штрихом сетки нитей при двух положениях вертикального круга КЛ и КП. Перед снятием отсчета проверяют положение пузырька уровня вертикального круга. При отсутствии этого уровня (теодолиты модели Т–30) в нуль-пункт приводят пузырек уровня горизонтального круга.

Вид формулы при вычислении МО зависит от характера оцифровки вертикального круга. Для круговой оцифровки против хода часовой стрелки (теодолит Т–30) $МО = \frac{КЛ + КП + 180}{2}$, для секторной оцифровки (2 Т 30,

2 Т 30 П) $МО = \frac{КЛ + КП}{2}$.

Углы наклона в зависимости от выполняемых топографо-геодезических работ измеряют при двух положениях вертикального круга КЛ и КП или при одном – КЛ, например, теодолитом Т 30 и его модификациями при выполнении тахеометрической съемки (см. п. 1.9.3). На вехе или рейке, устанавливаемой в наблюдаемый пункт, отмечают высоту инструмента i , на которую наводят среднюю горизонтальную нить. Снимают отсчеты по вертикальному кругу и величину угла наклона вычисляют по следующим формулам: для теодолитов 2 Т 30, 2 Т 30 П – $\nu = КЛ - МО = МО - КП = (КЛ - КП) / 2$; для теодолита Т–30 – $\nu = КЛ - МО = МО - КП - 180^\circ = (КЛ - КП - 180^\circ) / 2$.

1.5.5. Измерение магнитных азимутов

При проведении топографо-геодезических работ часто возникает необходимость в определении магнитных азимутов направлений. Для их

измерения используется буссоль, которая прикрепляется в паз 14 теодолита (рис. 1.5.1). Теодолитами Т-30 и его модификациями измерение магнитного азимута выполняется при положении теодолита КЛ.

Вначале винтами алидады на горизонтальном круге устанавливают отсчет равный 0° и закрепляют алидаду. Отпустив закрепительный винт лимба вращают теодолит, пока магнитная стрелка буссоли не совместится со штрихами С–Ю или $0^\circ - 180^\circ$. Наводящим винтом лимба добиваются их точного совмещения. После этого визирная ось зрительной трубы будет ориентирована по направлению север – юг. Открепляют алидаду и ее винтами визируют по ориентируемому направлению (объекту), снимают отсчет по горизонтальному кругу, который и будет магнитным азимутом этого направления.

1.6. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ

Определение расстояний на местности выполняют непосредственными и косвенными методами.

Непосредственные линейные измерения производят мерными лентами, рулетками, инварными проволоками.

Для *косвенных* определений расстояний используются приборы, называемые *дальномерами*, которые делятся на оптические и физические. Оптические дальномеры базируются на решении прямоугольного или равнобедренного треугольника. Физические дальномеры для измерения расстояний основаны на физических законах скорости распространения электромагнитных волн.

Косвенным методом, в частности, определяются и неприступные расстояния (например, через реку, болото, лес) путем построения простых геометрических фигур и, в первую очередь, треугольника, в котором измеряют углы и одну сторону (базис).

1.6.1. Непосредственное измерение расстояний

При измерении расстояний на поверхности земли наиболее распространенным мерным инструментом являются 20-метровые мерные ленты ЛЗ (лента землемерная). Мерные ленты изготавливаются из ленточной стали шириной 10–15 мм и толщиной 0,4–0,5 мм. Концы ленты заправлены в пластины, имеющие вырезы для вставки шпилек, фиксирующих положение ленты в процессе измерения. Лента с двух сторон имеет ручки (Рисунок 36).

Начало и конец ленты отмечены штрихами, нанесенными против осей вырезов для шпилек. Каждый метр ленты отмечен латунной пластинкой с отштампованным на ней порядковым номером от 1 до 19, полуметры отмечены круглыми заклепками, а дециметры – сквозными отверстиями. Доли дециметра отсчитывают по ленте на глаз. Длина ленты равна расстоянию между штрихами, нанесенными на ее наконечниках, когда она уложена на плоскость и

натянута с силой 98,1 Н, равной 10 кг. Для хранения и транспортировки ленту наматывают на кольцо. К ленте прилагается комплект из 6 или 11 стальных шпилек для фиксации ее концов в процессе измерений.

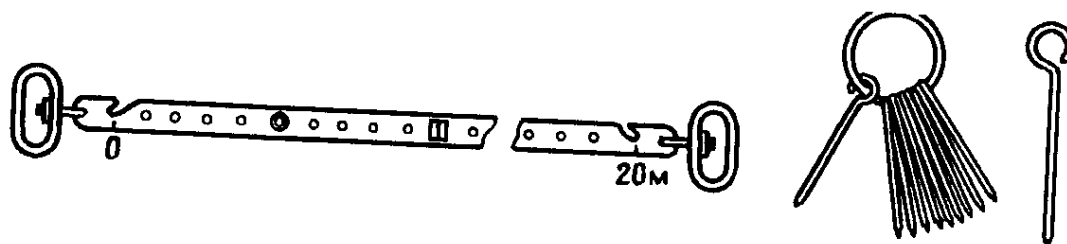


Рисунок 36 – Устройство ленты землемерной (ЛЗ)

Рулетки, используемые в геодезических измерениях, представляют собой стальную ленту шириной 1 см и длиной от 5 до 50 м с нанесенными сантиметровыми и миллиметровыми делениями.

Перед использованием мерные приборы должны быть проверены путем сравнения их длины с эталоном, длина которого определена с высокой точностью. Определение действительной длины рабочей ленты l_p по отношению к ее номинальной длине l_o , называется *компарированием*. Поэтому перед измерениями линий определяют поправку за компарирование Δl . Фактическая длина рабочей ленты выражается формулой $l_p = l_o + \Delta l$, откуда $\Delta l = l_p - l_o$. Если фактическая длина ленты (рулетки) отличается от номинальной длины более чем на 1 мм/10 м, то в результат измерения расстояния вводится поправка за компарирование.

Порядок измерения линий мерной лентой. Перед началом измерения расстояния начало и конец измеряемой линии закрепляют вешками, расчищают от преград (кустов, камней и пр.). Если измеряемая линия длинная, то в ее вертикальной плоскости – створе с помощью теодолита или бинокля устанавливают несколько вешек. Этот процесс называют *провешиванием* линии. Провешивание можно выполнять способами «от себя» и «на себя». В первом случае наблюдатель становится в задний пункт и наблюдает за вешкой в переднем пункте. Согласно его указаниям помощник устанавливает через 80–100 м вешки в направлении к переднему пункту. Во втором случае помощник устанавливает вешки в направлении от переднего пункта на задний. Более точно провешивание выполняется при помощи теодолита.

Расстояния измеряют два мерщика, при этом у заднего мерщика имеется одна шпилька, у переднего – 5 или 10. Задний мерщик, зафиксировав ленту шпилькой в начале линии, направляет переднего по створу линии ориентируясь на веху. После того как лента уложена по створу, передний мерщик натягивает ее и втыкает в прорезь шпильку, а затем задний мерщик вынимает свою шпильку и они двигаются дальше, последовательно откладывая длину ленты в створе измеряемой линии и фиксируя конечные штрихи ленты шпильками.

Передний мерщик выставляет шпильки, а задний их собирает. Если измеряемая линия более 200 м, то отложив десятую ленту происходит передача 10 шпилек задним мерщиком переднему. Передача шпилек фиксируется в журнале измерений. В конце измеряемой линии по ленте отсчитывается остаток q , т. е. расстояние от заднего нулевого штриха ленты до конца линии (центра знака). Длина измеренной линии L будет равна $L = l_p \cdot n + q$, где l_p – длина рабочей ленты, n – количество шпилек без одной у заднего мерщика, q – остаток линии.

Линии измеряют для контроля дважды в прямом и обратном направлениях. Относительная ошибка двойного измерения мерными лентами составляет при нормальных условиях – 1:2000, т. е. разность между двумя измерениями не должна превышать 5 см на 100 м. В том случае если относительная ошибка превышает допустимую, линия измеряется еще раз. Неверный результат отбраковывается. За окончательную длину линии принимается среднее арифметическое из двух результатов измерений.

Точность измерения стальными рулетками находится в пределах 1:2000 – 1:5000.

Для составления планов и карт надо знать не длину измеренной на местности линии L , расположенной под каким-то углом к горизонту, а ее горизонтальное проложение S которое определяется по формуле

$$S = L \cos \nu.$$

Горизонтальное проложение линии можно определить путем вычисления поправки за наклон ΔL .

$$\Delta L = L - S = 2L \sin \frac{\nu}{2}.$$

Поправки со знаком минус за наклон линии вводят, если угол наклона ν более $1,5^\circ$. Углы наклона измеряют *эклиметром*, или *теодолитом*.

Основной частью эклиметра является диск, на окружности которого нанесены градусные деления со знаками плюс и минус. Диск в виде маятника имеет груз и при нажатии стопорной кнопки его нулевой диаметр занимает горизонтальное положение. К коробке диска прикреплена визирная труба с глазным и предметным диоптрами. Для снятия отсчета в коробке имеется окно и лупа. При измерении угла наклона на вехе помечают рост наблюдателя до уровня глаз и на эту метку наводят визирную ось эклиметра.

1.6.2. Определение неприступных расстояний

Для этого на местности измеряют два базиса b_1 и b_2 и углы β_1 , α_1 и β_2 , α_2 соответствующих треугольников ABC и ABD (Рисунок 37). Затем вычисляют углы $\gamma_1 = 180^\circ - \alpha_1 - \beta_1$ и $\gamma_2 = 180^\circ - \alpha_2 - \beta_2$.

По теореме синусов определяют расстояние L .

$$L_1 = \frac{b_1 \cdot \sin \beta_1}{\sin \gamma_1} = \frac{b_1 \cdot \sin \beta_1}{\sin (\alpha_1 + \beta_1)} \text{ и } L_2 = \frac{b_2 \cdot \sin \beta_2}{\sin \gamma_2} = \frac{b_2 \cdot \sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)}.$$

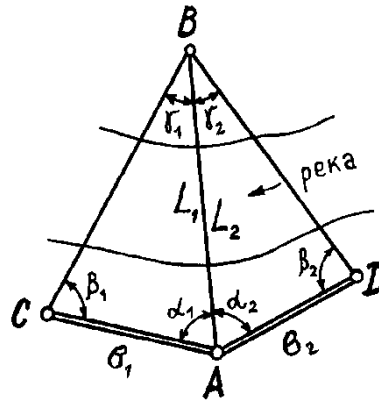


Рисунок 37 – Определение недоступных расстояний по теореме синусов

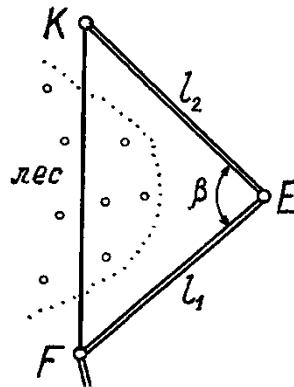


Рисунок 38 – Определение недоступных расстояний по теореме косинусов

Расхождение между L_1 и L_2 допускается в пределах $1/1000 \div 1/3000$ от средней длины L .

Неприступное расстояние KF между двумя пунктами может быть определено по теореме косинусов (Рисунок 38). На местности измеряют два базиса l_1 и l_2 , а в пункте E , образованном базисами, горизонтальный угол β . Расстояние между пунктами F и K вычисляют по формуле $L = FK = \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \beta}$.

1.6.3. Измерение расстояний оптическими дальномерами

В зависимости от конструкции оптические дальномеры подразделяются на дальномеры с постоянным параллактическим углом и постоянным базисом.

Нитяные дальномеры являются дальномерами с постоянным параллактическим углом, а дальномеры двойного изображения могут относиться к дальномерам как с постоянным углом, так и с постоянным базисом.

В основу теории дальномеров положено решение вытянутого равнобедренного треугольника (рис. 1.6.4) по формуле $S = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$, где S –

измеряемое расстояние (высота треугольника); l – база дальномера (основание треугольника); β – параллактический угол.

Наиболее распространенным оптическим дальномером является *нитяной (штриховой) дальномер*. Он представляет собой зрительную трубу, внутри которой перед окуляром помещена стеклянная пластинка с визирной сеткой. На этой пластинке выгравированы дальномерные штрихи a и b (Рисунок 39), которые расположены симметрично к основному горизонтальному штриху. Все зрительные трубы современных геодезических приборов имеют сетку нитей с дальномерными штрихами и используются для измерения расстояний по рейке, являющейся линейной мерой (базисом).

Дальномерная рейка представляет собой деревянный брусок длиной 3–4 м, на котором нанесена шкала сантиметровых делений с оцифровкой каждого дециметра, окрашенных с одной стороны в черный и белый, а с другой стороны в красный и белый цвета.

Рассмотрим принцип измерения расстояний нитяным оптическим дальномером с постоянным углом $\beta = 34,38'$ (Рисунок 40), когда визирная ось инструмента горизонтальна и перпендикулярна к установленной вертикально рейке.

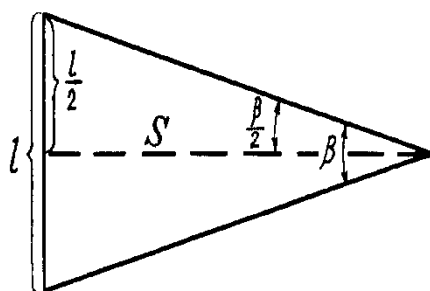


Рисунок 39 – Определение расстояния дальномером

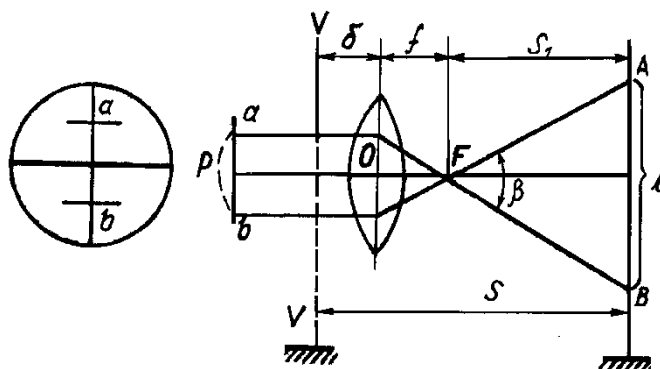


Рисунок 40 – Принцип измерения расстояний нитяным оптическим дальномером

Если в начальной точке измеряемой линии установить прибор, а в конечной точке дальномерную рейку, то согласно рисунку, визирные лучи a и b от дальномерных штрихов сетки нитей, пройдя через объектив, пересекутся в

переднем главном фокусе оптической системы объектива и фокусирующей линзы F , образовав постоянный угол β , которому на рейке соответствует отрезок AB , являющийся базой дальномера l .

Согласно рисунку 40 искомое расстояние $S = S_1 + \delta + f$, где δ – расстояние от оси вращения прибора VV до центра объектива, f – фокусное расстояние объектива, S_1 – расстояние от переднего главного фокуса до рейки. В этой формуле $S_1 = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}$ величина $0,5 \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} = K$ – коэффициент дальномера. Обозначив сумму $\delta + f$ через c – постоянное слагаемое дальномера, получим окончательную формулу

$$S = Kl + c. (6.1)$$

Таким образом, для определения расстояния нитяным дальномером необходимо знать: длину отрезка по рейке l , коэффициент дальномера K и постоянное слагаемое дальномера c .

В современных геодезических приборах коэффициент K равен 100, а величина постоянного c близка к нулю. Тогда $S = 100 l$.

Расстояния, определенные при наклонном положении визирной оси, необходимо исправить за неперпендикулярность рейки к визирной оси и привести их к горизонту.

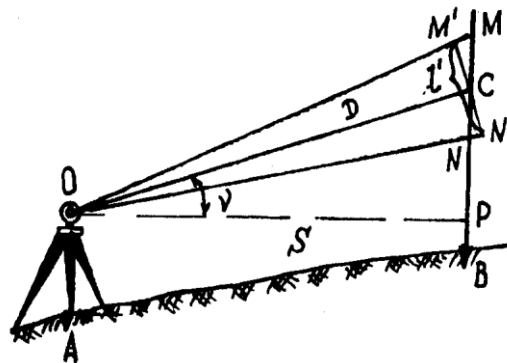


Рисунок 41 – Определение расстояния теодолитом

Рассмотрим рисунок 41. Пусть в точке A установлен прибор, а в точке B – рейка. Если бы визирная ось прибора OC была перпендикулярна к рейке, то взяв отсчет между дальномерными нитями $l' = M'N'$ можно определить расстояние OC по формуле

$$OC = D = Kl' + c. (6.2)$$

Однако в действительности рейку в точке B устанавливают вертикально и вместо отсчета l' берут отсчет $l = MN$. Для установления зависимости между l' и l рассмотрим треугольник MCM' , который будем считать прямоугольным. Угол MCM' равен углу наклона линии визирования $COP = \nu$, тогда $\frac{l'}{2} = \frac{l}{2} \cos \nu$,

откуда

$$l' = l \cos \nu. (6.3)$$

Подставим значение l' в формулу 6.2 получим

$$D = K l \cos v + c. (6.4)$$

Горизонтальное проложение S наклонного расстояния D будет

$$S = D \cos v = (K l \cos v + c) \cos v. (6.5)$$

Откуда раскрыв скобки имеем

$$S = K l \cos^2 v + c \cos v. (6.6)$$

Ввиду малой величины c , произведением $c \cos v$ можно пренебречь и тогда формула 6.6 примет окончательный вид

$$S = K l \cos^2 v. (6.7)$$

Точность измерения расстояний нитяными дальномерами находится в пределе от 1/600 до 1/200, при средней относительной погрешности 1/400. При измерении расстояний нитяным дальномером не рекомендуется определять расстояния длиной более 150 м, так как с их увеличением точность измерения резко уменьшается. Кроме того, следует избегать определений при колеблющемся изображении рейки. Главное достоинство нитяного дальномера – это простота и высокая скорость определения длины линий.

1.6.4. Понятие об электромагнитных измерениях расстояний

Основу этих измерений составляет скорость распространения электромагнитных волн. В зависимости от вида колебаний приборы делятся на *свето- и радиодальномеры* и состоят из приемопередатчика и отражателя.

Приемопередатчик получает электроэнергию от входящего в комплект источника (электробатарей, аккумулятора и др.), излучает световые или радиоволны, преобразует (моделирует) электромагнитные волны до нужных параметров, направляет модулированные волны на отражатель, принимает возвратившиеся от него волны, и прямо или косвенно измеряет время их прохождения от прибора к отражателю и обратно.

Таким образом, принцип измерения расстояния основан на определении промежутка времени τ , в течение которого электромагнитные колебания проходят от приемопередатчика к отражателю и обратно. Измеренное расстояние определяется по формуле $D = 0,5v\tau$, где v – скорость распространения волн; τ – время прохождения волнами расстояния $2D$.

В зависимости от метода измерения времени электромагнитные дальномеры делятся на *импульсные* и *фазовые*.

Импульсные дальномеры используются в качестве локаторов и при измерении расстояний в движении [определение высоты полета при аэрофотосъемке (АФС)].

Наиболее распространенными в геодезии являются фазовые дальномеры, позволяющие получать высокоточные результаты.

Принцип этих дальномеров основан на измерении разности фаз излучаемых электромагнитных колебаний. Фазовые светодальномеры подразделяются на большие и малые. Большие (СГ–3, «Кварц») позволяют

измерять расстояния до 20–25 км с относительной ошибкой $f_{отн} = \frac{1}{300000} \div \frac{1}{400000}$, а малые (топографические) предназначены для измерения расстояний до 2–3 км с $f_{отн} = \frac{1}{10000} \div \frac{1}{100000}$.

К малым светодальномерам относятся 2СМ–2; СМ–3; СМ–5. Цифра, стоящая после названия прибора, указывает среднюю квадратическую ошибку измерения расстояния в см.

К недостаткам светодальномеров относятся поглощение световых волн туманом и дымкой, а также сложности, возникающие в приеме светосигналов в дневное время суток.

В последнее время для измерения расстояний при производстве топографо-геодезических работ используются современные более эффективные и точные электронные приборы и рулетки.

1.7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ СЕТИ

Топографо-геодезические работы выполняются по принципу от общего к частному. Это означает, что первоначально определяют координаты небольшого числа точек с высокой точностью, а затем на их основе определяют координаты других точек.

Геодезическая основа (сеть опорных пунктов) представляет совокупность точек, прочно закрепленных на земной поверхности, положение которых определено в общей для них системе координат и высот. В результате построения геодезических сетей определяют плоские прямоугольные координаты пунктов X , Y и их высоты H , которые в совокупности позволяют определить положение пункта в единой системе координат.

1.7.1. Виды геодезических опорных сетей

Геодезические сети подразделяются на государственные, геодезические сети сгущения и съёмочные.

Наиболее общей и точной является государственная геодезическая сеть (ГГС). Она представляет основу (каркас) для построения других геодезических сетей.

Геодезическая опорная сеть подразделяется на *плановую и высотную*, а если для пунктов определены плановые и высотные координаты, то она является *планово-высотной*.

Определение планового положения пунктов, т. е. создание плановой геодезической сети, выполняется методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии и спутниковой технологии.

Метод триангуляции представляет собой определение плановых координат пунктов на основе измерения всех углов и отдельных сторон в примыкающих друг к другу треугольниках (см. 1. 2.2).

Метод трилатерации (от лат. *trilaterus* – трехсторонний) заключается в вычислении координат опорных пунктов из измерений длин линий сторон сети треугольников.

Метод полигонометрии (от греч. *poligonos* – многоугольный и *metreo* – измеряю) состоит в определении координат пунктов посредством измерения углов и длин сторон в полигонометрических ходах, прокладываемых обычно между пунктами триангуляции.

Плановая государственная геодезическая сеть Беларуси представляет собой часть геодезической сети бывшего СССР и создана главным образом методом триангуляции. В зависимости от точности измерения углов и расстояний, а также порядка последовательности ее развития она подразделяется на сети 1, 2, 3, 4 классов. Плановая ГГС 1 и 2 классов служит для научных исследований, связанных с определением фигуры и размеров Земли как планеты, а также для создания единой системы координат на всю территорию страны. Сеть 1 класса строится в виде системы полигонов. Полигоны состоят из звеньев-цепочек треугольников с длиной стороны не менее 20 км и протяженностью до 200 км, которые располагаются вдоль меридианов и параллелей. Сеть треугольников 1 класса внутри заполняют (сгущают) сетью треугольников 2 класса, которые в свою очередь заполняются сетью 3 и 4 классов.

По состоянию на конец 1980-х гг. плановая ГГС Республики Беларусь включала 6793 пункта, в том числе пунктов триангуляции 1, 2 классов – 2509 и 3, 4 классов – 4284, а средняя плотность составляла 1 пункт на 30,3 км².

В последнее время геодезическая служба Республики Беларусь осуществляет переход на автономные методы координатных определений путем внедрения спутниковых систем позиционирования, т. е. определяется местоположение (координаты) объектов при помощи ИСЗ. В настоящее время действуют две глобальные системы позиционирования: в США – Global Positioning System (GPS) и в России – глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС).

На современном этапе развития ГГС создана высокоточная спутниковая геодезическая сеть. Ее основу составляет единая фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС) России и Беларуси. Составной частью данной совместной сети является пункт ФАГС «Минск», который благодаря установленной на нем совмещенной GPS/ГЛОНАСС системе действует в режиме постоянной спутниковой станции. Высокоточная спутниковая геодезическая сеть включает 10 пунктов равномерно расположенных на территории республики через 150–200 км и определенных с точностью взаимного положения 1,5–2,0 см.

Дальнейшее развитие ГГС предусматривает сгущение спутниковой геодезической сети 1 класса с расстояниями между пунктами 25–30 км и сантиметровой точностью определения взаимного положения.

Высотную государственную геодезическую сеть создают методом геометрического нивелирования. В зависимости от точности определения высот пунктов, государственную нивелирную сеть подразделяют на I, II, III и IV классы. Нивелирная сеть I и II классов является главной высотной основой. Развитые на обширных территориях нескольких стран такие сети служат для решения важных научных задач (изучения современных вертикальных движений земной коры, определения разностей высот морей и океанов и др.). Линии нивелирования I и II классов прокладывают вдоль побережий морей и океанов, а также по шоссейным и железным дорогам, вдоль крупных рек. Нивелирная сеть I класса строится в виде полигонов с периметром 3000–4000 км, связанных между собой. Сети II, III, IV классов прокладывают внутри полигонов I класса. Высотная ГГС является основой для создания высотного обоснования топографических съемок всех масштабов.

По состоянию на конец 1980-х гг. протяженность линий нивелирования высотной ГГС на территории Республики Беларусь составляла около 15 000 км, в том числе I, II классов – 4500. Общее число нивелирных знаков, закрепляющих на местности высотные ГГС превышало 40 000.

Исходными пунктами плановой и высотной ГГС более низких классов служат пункты высших классов точности. Так, например, исходными пунктами для развития сетей второго класса являются пункты первого класса, т. е. ГГС от первого к последующим классам точности создается методом сгущения.

Пункты ГГС закрепляются на местности специальными постоянными центрами, которые закладываются в земле (верх центра – марка находится ниже уровня земной поверхности) или в фундаментах и стенах капитальных зданий (сооружений). Опорные пункты плановой ГГС обозначены наземными сооружениями в виде пирамид и сигналов, устанавливаемых над центрами знаков.

Пункты высотной ГГС закрепляют на местности постоянными знаками – реперами, которые бывают трех видов: фундаментальные, грунтовые и стенные, в т. ч. марки и реперы.

Плановую государственную геодезическую сеть сгущают путем построения на местности геодезической сети сгущения (ГСС) и съемочной геодезической сети. Плановую геодезическую сеть сгущения (местную геодезическую сеть) создают способом триангуляции 1 и 2 разрядов и способом полигонометрических ходов 1 и 2 разрядов. Съемочную геодезическую сеть строят способом микротриангуляции, различных засечек и проложением теодолитных ходов.

Высотная геодезическая сеть сгущения строится путем проложения ходов геометрического и тригонометрического нивелирования по пунктам съемочного обоснования (ГСС и съемочных сетей).

Общую плотность геодезических сетей устанавливают в зависимости от масштаба топографической съемки и условий местности.

1.7.2. Плановая съёмочная геодезическая сеть

Плотность пунктов ГГС и сетей сгущения является недостаточной для производства крупномасштабных топографических съёмок и поэтому на их основе создаются геодезические съёмочные сети (съёмочное обоснование). Основным методом построения съёмочных сетей являются теодолитные ходы, в которых измеряются углы и длины сторон.

Теодолитные ходы прокладываются между твердыми пунктами, т. е. исходными геодезическими пунктами с известными плановыми координатами. Они бывают замкнутыми и разомкнутыми. Замкнутый ход представляет собой многоугольник, опирающийся на один исходный пункт (Рисунок 42а), разомкнутый ход опирается на два исходных пункта (Рисунок 42б).

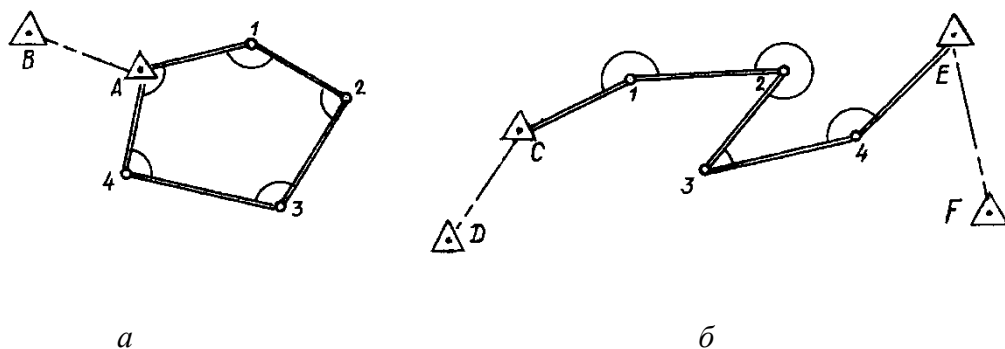


Рисунок 42 – Замкнутый(а) и разомкнутый(б) теодолитный ход

Полевые работы при проложении теодолитного хода включают:

1. Рекогносцировку местности, т. е. ее осмотр и выбор положения точек (вершин) теодолитного хода. Точки хода должны быть расположены так, чтобы с каждой точки была видимость на предыдущую и последующую вершины хода, а также достаточный обзор местности для проведения съёмки.

2. Закрепление точек хода. Вершины закрепляют постоянными (металлические трубы, бетонные пилоны) или временными (деревянные столбы и колья) геодезическими центрами.

3. Подготовка сторон хода для измерений. Включает очистку створа от кустарника и провешивание линий.

4. Измерение углов и сторон. Горизонтальные углы измеряют теодолитами способом приемов или круговых приемов, в зависимости от количества направлений. В замкнутых ходах измеряют внутренние углы, а в разомкнутых – левые или правые, лежащие по ходу углы. Особое внимание уделяется центрированию теодолита и визированию на низ вешек. При углах наклона более $1,5^\circ$ их измеряют с целью введения поправок за наклон в длины линий. Длины сторон хода измеряют мерными лентами в прямом и обратном направлениях с относительной ошибкой $f_{om} \leq \frac{1}{1000}$ или малыми

светодальномерами (СМ–2, СМ–5). Результаты всех измерений вносятся в журнал карандашом без исправлений.

На участок площадью до 1 км² при отсутствии данных о ГГС и сетях сгущения съемочные сети могут создаваться как самостоятельные геодезические сети в своей условной системе координат и высот.

1.7.3. Математическая обработка теодолитного хода

Математическая обработка состоит из: увязки (уравнивания) измеренных углов; вычисления дирекционных углов (азимутов) и румбов; вычисления горизонтальных проложений линий; определения приращений координат и их уравнивания и вычисления координат пунктов теодолитного хода.

Рассмотрим математическую обработку измерений на примере замкнутого теодолитного хода.

Результаты полевых измерений и вычислений записывают в ведомость вычисления координат (табл. 1.7.1).

1) Выполняется оценка качества результатов измерения углов, которая состоит из:

– вычисления суммы измеренных углов ($\sum \beta_{изм.}$);

– определения теоретической суммы углов по формуле $\sum \beta_{теор.} = 180^\circ (n - 2)$, где n – число углов в ходе;

– вычисления фактической угловой невязки по формуле $f_\beta = \sum \beta_{изм.} - \sum \beta_{теор.}$;

– определения величины допустимой угловой невязки согласно формуле $f_{\beta доп.} = \pm 0,8' \sqrt{n}$ (для учебных целей допускается $-1,5' \sqrt{n}$), где n – число углов.

Вычисленная угловая невязка не должна быть больше допустимой.

Фактическая невязка распределяется с обратным знаком в виде поправок в измеренные значения углов. Большие поправки необходимо вводить в углы с короткими сторонами. Сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком. Исправленные значения углов получают прибавлением поправок к измеренным углам. Контролем уравнивания служит получение теоретической суммы углов хода.

2) Вычисление *дирекционных углов* и *румбов* сторон теодолитного хода. Исходный дирекционный угол α_{1-2} , получают в результате привязки стороны хода 1–2 к пунктам опорной геодезической сети или определяют для этой стороны хода магнитный азимут. По известному дирекционному углу α_{1-2} и по исправленным углам β вычисляют дирекционные углы всех сторон хода. Если измерены правые по ходу углы, то вычисления выполняются по формуле $\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_{(n-1)-n}$, т. е. дирекционный угол последующего направления α_n равен дирекционному углу предыдущего направления α_{n-1} плюс 180° и минус исправленный правый по ходу угол между этими направлениями $\beta_{(n-1)-n}$.

Контролем вычислений дирекционных углов является получение исходного дирекционного угла. По дирекционным углам вычисляют румбы, пользуясь их зависимостью между собой.

3) Вычисление *горизонтальных проложений* производится для линий, имеющих наклон более $1,5^\circ$ по формуле $S = L \cos V$.

4) Вычисление *приращений координат* и их уравнивание. Приращения координат Δx и Δy находят по известным формулам прямой геодезической задачи: $\Delta x = S \cos \alpha$; $\Delta y = S \sin \alpha$, где S – горизонтальное проложение линии, α – дирекционный угол.

В замкнутом полигоне алгебраические суммы приращений координат должны равняться нулю: $\sum \Delta x = 0$; $\sum \Delta y = 0$. Но вследствие погрешностей S и α эти суммы отличаются от нуля, образуя *линейные невязки* приращений координат f_x и f_y , т. е. $f_x = \sum \Delta x$; $f_y = \sum \Delta y$.

Абсолютную линейную невязку вычисляют по формуле

$$f_{абс.} = \pm \sqrt{\sum \Delta x^2 + \sum \Delta y^2} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}.$$

Абсолютная невязка характеризует точность выполненных полевых работ, ее величина не должна превышать допустимую $f_{абс.} \leq f_{абс. доп} = 0,6 \text{ мм } M$, где M – знаменатель масштаба съемки.

Для определения допустимости абсолютной невязки и оценки точности выполненных полевых работ вычисляют также относительную невязку, т.е. отношение абсолютной невязки $f_{абс.}$ к периметру полигона (хода) $\sum S$.

$$f_{отн.} = \frac{f_{абс.}}{\sum S} = \frac{1}{\sum S / f_{абс.}}.$$

Допустимость невязки определяется заданной точностью и условиями местности и изменяется от $1/1000$ – при неблагоприятных условиях измерений; $1/2000$ – при средних условиях и $1/3000$ – при благоприятных условиях измерений.

Таблица 10 – Ведомость вычисления координат

Номер угла	Угол, β					Дирекц. угол, α (азимут)	Длина линии (горизонталь- ные пролож.) S , м	Приращение координат, м								Координаты, м				
	измеренный			исправл.				вычисленные				исправленные								
	град.	мин.	сек.	град.	мин.			град.	мин.	$\pm$	Δx	$\pm$	Δy	$\pm$	Δx	$\pm$	Δy	$\pm$	x	$\pm$
1	105	33	-08 08	105	33	117	45	307,80	-	+0,05 143,31	+	-0,01 272,40	-	143,26	+	272,39		0,00		0,00
2	80	40	00	80	40	217	05	402,56	-	+0,06 321,15	-	-0,02 242,75	-	321,09	-	242,77	-	143,26	+	272,39
3	79	30	00	79	30	317	35	208,80	+	+0,03 154,16	-	-0,01 140,84	+	154,19	-	140,85	-	464,35	+	29,62
4	153	53	00	153	53	343	42	152,72	+	+0,02 146,58	-	42,86	+	146,60	-	42,86	-	310,16	-	111,23
5	120	24	-07 07	120	24	43	18	224,70	+	+0,04 163,52	+	-0,01 154,10	+	163,56	+	154,09	-	163,56	-	154,09
1																	0,00		0,00	

$\Sigma \beta_{\text{изм.}}$ 540 00 15 540 00

$\Sigma \beta_{\text{теор.}}$ 540 00 00

$f\beta +0^{\circ}00'15''$ Угловая невязка

$F\beta_{\text{доп.}} = 3t\sqrt{n} = 1,5'\sqrt{5} = 3,35'$

+ 464,26 + 426,50 + 464,35 + 426,48

- 464,46 - 426,45 - 464,35 - 426,48

$\Sigma \Delta x = -0,20; \Sigma \Delta y = +0,05$ 0,00 0,00

Абсолютная невязка $f_{\text{абс.}} = \pm \sqrt{\sum \Delta x^2 + \sum \Delta y^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,05^2} \approx 0,21$

Относительная невязка $f_{\text{отн.}} = \frac{f_{\text{абс.}}}{\sum S} = \frac{0,21}{1296,68} = \frac{1}{6173} \approx \frac{1}{6200}$.

В случае допустимости полученной фактической абсолютной невязки, величины невязок f_x и f_y распределяются с обратным знаком пропорционально длинам сторон теодолитного хода. Для этого определяют долю поправки на каждые 100 м периметра полигона. То есть каждую из невязок f_x и f_y делят на значение длины полигона в сотнях метров и вычисляют поправки в каждое приращение пропорционально длине соответствующей линии. Поправки вводят со знаком обратным знаку невязки. Сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком. Поправки вводят в вычисленные приращения и получают исправленные приращения координат. Контроль уравнивания приращений: в замкнутом теодолитном ходе $\sum \Delta X_{\text{уравн.}} = 0$; $\sum \Delta Y_{\text{уравн.}} = 0$.

Для вычисления координат точек теодолитного хода необходимо знать координаты исходного пункта. Если они не известны, то задаются *условно*. Координаты вычисляются в следующем порядке – координата последующей точки равна координате предыдущей точки плюс приращение между этими точками:

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

Контролем вычисления координат в замкнутом теодолитном ходе служит получение координат исходного пункта.

Обработка материалов разомкнутого теодолитного хода имеет небольшие отличия от вычислений в разомкнутом ходе. Разомкнутые теодолитные ходы прокладываются между двумя твердыми сторонами, для которых известны дирекционные углы. В замкнутом теодолитном ходе обычно измеряются внутренние горизонтальные углы, а в разомкнутом – могут измеряться или левые или правые по ходу лежащие углы. Кроме того, измеряются примычные углы, которые образованы твердыми сторонами и сторонами хода.

Для разомкнутого теодолитного хода теоретическая сумма углов равна:

а) для измеренных правых по ходу углов

$$\sum \beta = \alpha_n - \alpha_k + 180^\circ n;$$

б) для измеренных левых по ходу углов

$$\sum \beta = \alpha_k - \alpha_n + 180^\circ n,$$

где α_n и α_k – дирекционные углы начальной и конечной твердых сторон; n – число углов хода, включая и примычные.

Дирекционные углы сторон разомкнутого теодолитного хода вычисляют по следующим формулам:

а) для измеренных правых по ходу углов

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180^\circ - \beta_{n-(n+1)};$$

б) для измеренных левых по ходу углов

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

где α_{n+1} и α_n – дирекционные углы последующего и предыдущего направлений; $\beta_{n-(n+1)}$ – горизонтальный угол, образованный последующим и предыдущим направлениями.

Контролем правильности вычисления дирекционных углов является получение известного дирекционного угла конечной твердой стороны.

Невязки в приращениях координат f_x и f_y в разомкнутом ходе определяются по формулам:

$$f_x = \sum \Delta x_{\text{выч.}} - \sum \Delta x_{\text{теор.}} = \sum \Delta x_{\text{выч.}} - (x_k - x_n);$$

$$f_y = \sum \Delta y_{\text{выч.}} - \sum \Delta y_{\text{теор.}} = \sum \Delta y_{\text{выч.}} - (y_k - y_n),$$

где x_k, x_n, y_k, y_n – абсциссы и ординаты соответственно известных конечной и начальной твердых точек хода.

Дальнейшая обработка выполняется аналогично, как и в замкнутом ходе. Контролем вычисления координат хода будет получение координат x_k и y_k конечного пункта.

Графическое оформление результатов теодолитного хода состоит в построении координатной сетки, нанесении точек теодолитного хода по координатам при помощи измерителя и поперечного масштаба и нанесении ситуации на план (см. п. 1.9.3).

1.7.4. Вычисление координат отдельных точек

Координаты отдельных точек, расположенных в стороне от теодолитных ходов, могут быть определены аналитически из угловых построений. Такие угловые построения на местности называются *засечками*. По расположению измеряемых углов относительно определяемого пункта (точки) засечки *бывают прямыми, обратными и комбинированными*.

Наиболее часто применяется прямая засечка, где угловые измерения выполняются одновременно с определением углов в теодолитных ходах.

Геометрическое построение, при котором в двух точках A и B с известными координатами X_A, Y_A, X_B, Y_B измеряются углы β_1 и β_2 между стороной AB и направлениями на определяемый пункт O , называется прямой засечкой (Рисунок 43).

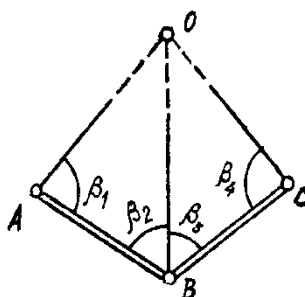


Рисунок 43 – Определение координат точки прямой засечкой

Для определения координат пункта O прямой засечкой используют формулы Юнга:

$$x_0 = \frac{x_A \operatorname{Ctg} \beta_2 + x_B \operatorname{Ctg} \beta_1 - y_A + y_B}{\operatorname{Ctg} \beta_1 + \operatorname{Ctg} \beta_2}; \quad y_0 = \frac{y_A \operatorname{Ctg} \beta_2 + y_B \operatorname{Ctg} \beta_1 - x_A + x_B}{\operatorname{Ctg} \beta_1 + \operatorname{Ctg} \beta_2}.$$

Для более надежного и точного определения координат точки O используют двукратную засечку с пунктов A , B и C . Для этого на пунктах B и C измеряют углы β_3 и β_4 . По известным координатам пунктов B и C и измеренным углам β_3 и β_4 вторично определяют координаты пункта O .

1.7.5. Понятие о спутниковых системах позиционирования

Значительную роль в развитии современной геодезии и определении параметров пространственного положения объектов, в том числе совершенствование определения координат сыграло создание в 1990-х гг. глобальных систем позиционирования: в США – Global Positioning System (GPS) и в России – глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС).

Понятие «позиционирование» означает реализацию возможных способов использования данной системы для определения параметров пространственного положения объектов наблюдения, т. е. определение трехмерных координат объекта, его вектора скорости и направления.

Системы спутникового позиционирования представляют собой всепогодную навигационную систему космического базирования, которая позволяет в глобальных масштабах определять текущее местоположение и скорость воздушных, морских и сухопутных транспортных средств, а также осуществлять точную координацию времени, т. к. все способы измерения расстояний основаны на определениях времени прохождения волны от спутника до приемника. Системы координат и времени неразрывно связаны. Их совокупность представляет собой систему отсчета. Создание этой системы и ее практическую реализацию называют координатно-временным обеспечением при проведении разнообразных геодезических работ.

Основу GPS составляют 24 спутника, которые непрерывно излучают радиосигналы, принимаемые GPS – приемниками. Высота орбит спутников составляет 20183 км, орбитальный период равен 11 ч. 58 мин., плоскости орбит имеют разную ориентацию в пространстве. Вырабатываемые на спутниках электромагнитные волны с частотами $f_1 = 1575,42$ МГц и $f_2 = 1227,60$ МГц и соответствующими длинами $\lambda_1 = 19,0$ и $\lambda_2 = 24,4$ см принимаются GPS – приемниками.

В системах глобального позиционирования спутники выполняют роль геодезических опорных пунктов. Каждый спутник имеет по четыре атомных эталонов частоты и времени, приборы для приема и передачи радиосигналов, бортовую компьютерную аппаратуру. Пространственное положение спутников в геодезической системе координат известно для каждого момента времени. Радиосигналы всех спутников синхронизированы по времени с точностью $1 \cdot 10^{-12}$ секунды с помощью бортовых атомных часов.

Данные о конкретных параметрах орбиты каждого спутника вводятся в память компьютеров GPS – приемников. Ими также принимаются данные о

небольших отклонениях спутников от заданных орбит, которые поступают в виде радиосигналов с самих спутников с целью введения поправок в определение расстояний от антенны приемника до наблюдаемого спутника в данный момент времени.

Чтобы увеличить точность определения координат сигналы спутников принимают методом базовой станции. Для этого используются 2 комплекта GPS – приемников: один устанавливается над геодезическим пунктом с известными координатами, другой – над определяемым пунктом местности. При приеме радиосигналов с шести спутников одновременно точность определения расстояний (базовых линий) составляет $\pm 15 \div 30$ мм на 10 км длины, что в относительной мере составляет $\frac{1}{670000} \div \frac{1}{335000}$.

Координаты определяются в глобальной геоцентрической системе WGS-84. За начало координат принимается центр масс Земли, определенный с точностью 1 м. Координатные оси ориентированы относительно экватора и плоскости меридиана Гринвича (Рисунок 44).

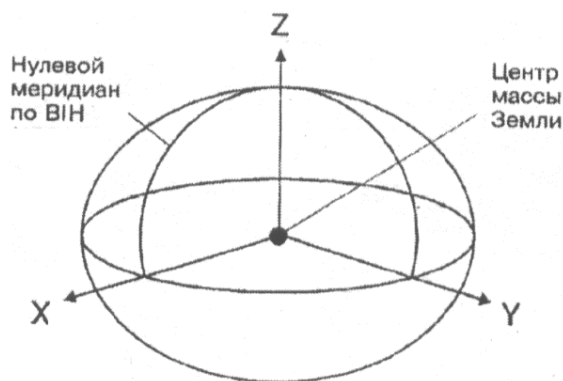


Рисунок 44 – Координатные оси в глобальной геоцентрической системе WGS-84

Ось Z совпадает со средней осью вращения Земли и направлена на север. Ось X направлена от центра масс Земли к точке пересечения плоскости экватора с плоскостью нулевого меридиана определенного Международным бюро времени (ВИН-Bureau International de l'Heure) на основе координат, принятых для пунктов ВИН. Ось Y расположена в плоскости экватора под углом 90° к востоку от оси X и завершает правостороннюю ортогональную систему координат с началом в центре масс Земли.

По данным геодезических спутников в таблице 11 приведены основные геометрические параметры земного эллипсоида, принятые для системы координат WGS-84.

В ГЛОНАССе также 24 основных и 3 резервных спутника. В 1982 г. выведены на орбиты первые спутники серии КОСМОС. С января 1996 г. ГЛОНАСС развернута полностью и действует в координатной системе параметры Земли 1990 г. (ПЗ-90). Система ПЗ-90 предназначена для решения

различных прикладных задач, в т. ч. геодезического обеспечения навигационных комплексов и систем ГЛОНАСС. ПЗ–90 включает основные геодезические постоянные, т. е. характеристики геоцентрической системы координат, в том числе параметры общего земного эллипсоида, координаты пунктов космической геодезической сети (КГС), закрепляющие эту систему, элементы связи с референц-системами координат; планетарные модели нормального аномального гравитационного поля Земли.

Система координат ПЗ–90 является геоцентрической прямоугольной пространственной системой с началом координат в центре масс Земли. Ось Z направлена к Условному Земному полюсу, как определено рекомендациями Международной службы вращения Земли (IERS), а ось X – в точку пересечения плоскости экватора и нулевого меридиана, установленного Международным бюро времени, ось Y дополняет систему ПЗ–90 до правосторонней ортогональной системы координат. Реализация этой системы осуществляется через координаты пунктов КГС. Пункты наземного комплекса управления системой ГЛОНАСС совмещены с пунктами КГС. Геометрические параметры эллипсоидов для различных систем координат представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Геометрические параметры эллипсоидов для различных систем координат

Система координат	Большая полуось (a), м	Сжатие, α
WGS-84	6 378 137	1/298,257
ПЗ-90	6 378 136	1/298,258

Средние квадратичные ошибки отнесения системы координат ПЗ–90 к центру масс Земли составляют 1–2 м, взаимное положение пунктов в системе ПЗ–90 оценивается около 0,3 м при среднем расстоянии между соседними пунктами сети до 10000 км (или в относительной мере – около единицы 7-го знака).

В настоящее время функционируют приемные устройства, одновременно использующие системы GPS и ГЛОНАСС. Обе системы имеют сходные параметры: близкие несущие частоты, общность конструкций кодовых сигналов, использующих фазовую манипуляцию, близость высот и наклонений орбит и периодов обращения.

В 2005 г. начнет функционировать европейская система нового поколения спутникового позиционирования Galileo. Ее работу будут обеспечивать 30 основных и 3 резервных спутника, расположенных на высоте 23 200 км в трех орбитальных плоскостях, наклоненных на 56° к плоскости экватора. С учетом спутников GPS и ГЛОНАСС в распоряжении пользователей будет более 80 космических аппаратов, охватывающих весь земной шар.

Преимущество спутниковых систем позиционирования перед традиционными способами определения координат: глобальность, всепогодность, оптимальная точность, быстрота получения данных,

минимальные затраты при построении государственных геодезических сетей и сетей сгущений.

1.8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. НИВЕЛИРОВАНИЕ

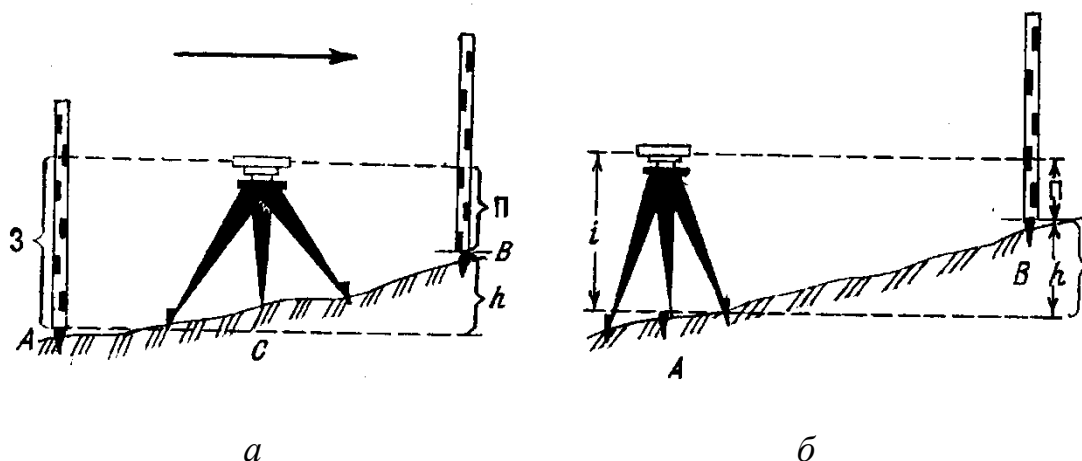
Геодезические измерения по определению превышений и отметок высот местности называются *нивелированием*.

Различают следующие виды нивелирования: *геометрическое*, *тригонометрическое* и *физическое* (барометрическое, гидростатическое и др.).

1.8.1. Геометрическое нивелирование

При этом методе нивелирования превышения точек получают при помощи горизонтального луча визирования. Геодезические приборы, используемые для выполнения геометрического нивелирования называют *нивелирами*.

Существуют два способа геометрического нивелирования: нивелирование из середины и нивелирование вперед (Рисунок 45).



**Рисунок 45 – Геометрическое нивелирование:
а – способ из середины; б – способ вперед**

При *нивелировании из середины* (Рисунок 45а) на местности в двух точках *A* и *B* вертикально устанавливают рейки с сантиметровыми делениями, а между ними – нивелир, зрительная труба которого занимает горизонтальное положение и снимают отсчеты *З* по задней и *П* передней рейкам, представляющие расстояния от точек *A* и *B* до визирного луча. Тогда превышение *h* точки *B* над точкой *A* определяется по формуле $h = З - П$, т. е. превышение равно разности отсчетов по задней и передней рейкам.

Превышение будет положительным при $З > П$ и отрицательным при $З < П$ и соответственно передняя точка будет находиться выше или ниже задней. Высота точки *B* будет равна отметке предыдущей точки H_A плюс превышение между ними $H_B = H_A + h$.

При *нивелировании вперед* (Рисунок 45б) нивелир устанавливают над начальной точкой A , а над передней точкой B устанавливают рейку. В точке A измеряют высоту нивелира i , представляющую вертикальное (отвесное) расстояние от центра окуляра зрительной трубы прибора до точки и берут отсчет по передней рейке $П$. Таким образом, $h = i - П$. Высотная отметка точки B будет $H_B = H_A + i - П$. Величину $H_A + i$ называют горизонтом инструмента ГИ, т. е. ГИ – это отметка визирной оси прибора. Таким образом, отметка $H_B = ГИ - П$. Контроль вычислений $ГИ = H_B + П$. Следовательно, горизонт инструмента ГИ на данной станции равен отметке точки плюс отсчет по рейке, установленной в этой точке.

Станцией называют место постановки нивелира в процессе измерения превышений. Нивелирование «вперед» применяется при определении превышений через водные преграды и поверках инструментов.

Нивелирование «из середины» имеет ряд преимуществ:

1. Позволяет увеличивать расстояние между точками для которых измеряются превышения;
2. Компенсируются погрешности, возникающие из-за отклонения визирной оси от горизонтального положения;
3. Компенсируются погрешности за счет кривизны Земли.

Нивелирование между удаленными точками выполняют с нескольких станций, которые образуют *нивелирный ход*. Точки или пикеты, общие для двух станций называют *связующими*. В нивелирном ходе, способом из середины, суммарное превышение между определяемыми точками вычисляют по формуле $\sum h_i = \sum З_i - \sum П_i$, т. е. сумма превышений хода равна разности сумм отсчетов на задние и передние рейки. Отметка конечной точки B будет равна $H_B = H_A + \sum h_i$. Для контроля определяют превышение второй раз по другой стороне рейки.

Нивелирные ходы могут быть замкнутыми и разомкнутыми.

1.8.2. Нивелиры и их устройство

Заводской шифр нивелиров, выпускаемых в России, состоит из заглавной буквы, обозначающей название геодезического прибора, в данном случае, нивелир – Н и последующих за буквой цифр, указывающих точность нивелира (среднюю квадратическую погрешность определения превышения в мм на 1 км двойного хода). Если в названии нивелира имеется буква К, то такой нивелир не имеет цилиндрического уровня, его визирная ось устанавливается в рабочее (горизонтальное) положение автоматически при помощи компенсатора. Буква Л в названии нивелира указывает на наличие в данной модификации лимба (горизонтального круга).

По точности нивелиры подразделяются на: *высокоточные* (Н – 05, Н – 2), которые служат для выполнения нивелирования I и II классов точности; *точные* (Н – 3, 2Н – 3Л; НС – 4, Н – 3К) – для нивелирования III и IV классов точности; *технические* (Н – 10, 2Н – 10КЛ) для технического нивелирования.

В зависимости от конструкции различают нивелиры: с *цилиндрическим уровнем при трубе* для приведения визирной оси в горизонтальное положение (Н – 3) и с *самоустанавливающейся* в горизонтальное положение линией визирования (Н – 3К; Н – 10 КЛ).

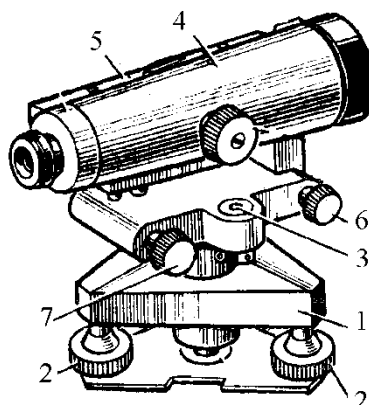


Рисунок 46 – Устройство нивелира

Устройство нивелиров. Нивелиры (Рисунок 46) состоят из двух частей: нижняя часть представляет собой подставку (трегер) 1 с тремя подъемными винтами 2, позволяющими устанавливать прибор в горизонтальное положение по круглому установочному уровню 3. Верхняя часть состоит из зрительной трубы 4 и скрепленного с ней контактного цилиндрического уровня 5. Зрительная труба имеет визирную сетку. Контактный цилиндрический уровень имеет цену деления в зависимости от точности нивелира (высокоточные – $10''$; точные – $15 \div 23''$ и технические – $45''$).

Для грубого наведения на рейку используют целик и мушку зрительной трубы, а точное наведение осуществляется наводящим винтом 6. Нивелир крепится к штативу становым винтом.

Предварительная установка нивелира в рабочее положение осуществляется подъемными винтами подставки. Точное приведение в нуль-пункт пузырька цилиндрического уровня осуществляется элевационным винтом 7 по изображению его концов, которые с помощью оптической системы передаются в поле зрения зрительной трубы в виде контакта.

Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования имеют компенсаторы, которые после приведения пузырька круглого уровня на середину устанавливают визирную ось в горизонтальное положение с точностью не более $1,5''$ при наклоне зрительной трубы до $\pm 15'$. Колебание компенсатора гасится воздушным демпфером. Нивелиры с компенсаторами позволяют



**Рисунок 47 –
Нивелирная
рейка**

повысить производительность труда при выполнении нивелирования.

В нивелирный комплект входят двусторонние нивелирные рейки (Рисунок 47). На их поверхность нанесены сантиметровые деления, с одной стороны окрашенные в черный и белый цвета, а с другой – в красный и белый. Концы рейки оковываются полоской металла. Нижний конец рейки называется *пяткой*. Пятка черной стороны рейки совмещается с нулем шкалы, а красная (контрольная) – начинается с произвольной цифры. По конструкции рейки бывают *цельные* и *складные*, а по длине – трех- и четырехметровые. Подписи делений (цифры) соответствуют дециметрам и возрастают снизу вверх. Цифры этих подписей прямые (Рисунок 47) или перевернутые в зависимости от вида изображения в зрительных трубах (прямое или обратное).

Чтобы точно фиксировать рейки по высоте, выбранные точки закрепляют костылями, башмаками или деревянными (металлическими) колышками, на которые затем устанавливают рейки.

1.8.3. Поверки и юстировки нивелиров

Перед производством нивелирных работ проводится осмотр нивелира. Необходимо убедиться в отсутствии люфтов подъемных винтов, головки штатива и башмаков.

1. *Ось круглого (установочного уровня) должна быть параллельна вертикальной оси вращения прибора.* Подъемными винтами подставки пузырек приводят в нуль-пункт и верхнюю часть нивелира поворачивают на 180° . Если пузырек отклонится от нуль-пункта, то тремя подъемными винтами подставки его приводят к середине на половину дуги отклонения, а окончательно совмещают с положением «нуль-пункт» тремя исправительными винтами.

2. *Основной горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к оси вращения прибора.* Нивелир устанавливают в 40–50 м от неподвижно закрепленной рейки. Вертикальную ось прибора приводят в отвесное положение и, поворачивая наводящим винтом зрительную трубу, следят за постоянством отсчета по основному горизонтальному штриху сетки нитей. Если отсчет изменяется более чем на 1 мм, то ослабив крепящие винты, поворачивают диафрагму с сеткой нитей в верное положение. Поверку необходимо повторить и если условие выполнено закрепить диафрагму винтами.

3. *Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы (главное геометрическое условие).* Эта поверка выполняется для нивелиров Н–3, 2Н–3Л и других, имеющих цилиндрический уровень и элевационный винт. На местности выбирают достаточно ровную площадку. Линию длиной 60–70 м закрепляют колышками или костылями. Поверка выполняется нивелированием вперед с концов закрепленной линии. Нивелир устанавливают в 1–2 м от вертикально установленной на костыле рейки. Приводят нивелир в рабочее положение, при помощи элевационного винта

устанавливают пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт (совмещают концы уровня в окошке зрительной трубы) и берут отсчет по этой рейке, который является высотой нивелира i_1 . Визируя на рейку, установленную на второй точке, берут отсчет a_1 . После этого переносят нивелир ко второй точке и выполняют аналогичные измерения, получая отсчеты i_2 и a_2 . Не снимая нивелира с данной станции, вычисляют величину x , которая характеризует соблюдение главного условия поверки:

$$x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}.$$

Если абсолютное значение величины x превышает 4 мм, то выполняют юстировку цилиндрического уровня. При помощи элевационного винта основной горизонтальный штрих сетки устанавливают на правильный отсчет по рейке $a_{np.} = a_2 - x$. При этом изображение концов уровня разойдутся. Вертикальными исправительными винтами уровня точно совмещают изображение концов пузырька, следя за тем, чтобы отсчет по рейке оставался равным $a_{np.}$. Для контроля поверку повторяют. Определение величины x выполняют перед началом работ ежедневно.

Для нивелиров с компенсаторами (Н-3К; Ni-025 и др.) все поверки выполняются аналогично, только поверка главного геометрического условия звучит так: *у нивелиров, установленных в рабочее положение визирная ось трубы должна быть горизонтальна*. В случае несоблюдения данного условия сетку нитей зрительной трубы с помощью исправительных винтов перемещают и устанавливают на предвычисленный (правильный) отсчет равный $a_{np.}$. Для контроля поверку повторяют.

1.8.4. Нивелирование трассы

Нивелирование производят при изысканиях трассы для строительства дорог, каналов, а также построения профилей местности и создания высотного обоснования топографических съемок.

Нивелирование трассы включает: рекогносцировку; разбивку пикетажа; производство нивелирования, обработку его результатов, построение и вычерчивание профиля трассы в заданном масштабе.

Рекогносцировку выполняют с целью уточнения направления трассы. Углы поворотов трассы закрепляют столбами.

Разбивку пикетажа проводят лентами после провешивания трассы (см. 1.6.1) между поворотными столбами. Расстояние между пикетами обычно берут равным 100 м, хотя в зависимости от конкретных задач может приниматься другая величина. Начальную точку трассы принимают за нулевой пикет и обозначают *ПК 0*. Через принятое пикетное расстояние кольшками длиной 10–15 см закрепляют точки, называемые пикетами, которые забиваются вровень с поверхностью земли. Рядом с пикетом устанавливают кольшек длиной 30–40 см, называемый сторожкой. Он должен выступать от поверхности земли

примерно на 20 см. Пикет со сторожкой окапывают канавкой. При углах наклона более 2° отрезки длины линий увеличивают на величину поправки за наклон с тем, чтобы в горизонтальном проложении расстояние между пикетами было равным 100 м.

В тех случаях, если пикет невозможно установить через положенное расстояние (камни, ямы), его закрепляют на расстоянии меньше заданного. Такие пикеты называют *рубленными*. В следующем пикете расстояние должно быть компенсировано.

Если между пикетами окажется поворотный столб, то измеряют расстояние до него, а в вершине угла подписывают его пикетажное положение, которое равно заднему пикету плюс расстояние от него до вершины угла, например, ПК 3+48. От поворотного столба отмеряют остаток расстояния до следующего пикета, в нашем примере 52 м. В характерных точках рельефа местности обязательно устанавливают сторожки, на которых подписывают номер заднего пикета плюс расстояние до него, например, ПК 2+67. Такие точки называют плюсовыми или промежуточными. На склонах холмов, по долинам рек, по профилю или трассе прокладывают в обе стороны поперечники длиной до 25–50 м, которые через 10–15 м закрепляют сторожками.

Одновременно с разбивкой пикетажа заполняют пикетажную книжку, где показывают по прямой линии трассу со всеми пикетами и промежуточными точками, а также ситуацию в притрассовой полосе местности шириной до 100 м.

Нивелирование пикетных точек выполняют способом из середины в одном направлении. Отсчеты по рейкам при нивелировании технического класса точности берут только по основному горизонтальному штриху сетки нитей. В журнале записывают номера станций, названия исходных пунктов, а также номера пикетов и, если имеются, промежуточных точек.

Нивелир устанавливают в рабочее положение по середине расстояния между пикетами (связующими точками), в которых вертикально установлены рейки и берут по ним отсчеты. При производстве нивелирования нивелир и рейки должны располагаться так, чтобы визирный луч не проходил ближе чем 20 см от поверхности земли.

При работе с двухсторонними рейками наблюдения на станции выполняют в следующем порядке: 1) отсчет по черной стороне задней рейки; 2) отсчет по красной стороне задней рейки; 3) отсчет по черной стороне передней рейки; 4) отсчет по красной стороне передней рейки. Отсчеты записываются в журнал геометрического нивелирования.

При производстве работ нивелирами с контактным цилиндрическим уровнем перед каждым отсчетом пузырек цилиндрического уровня элевационным винтом приводят в нуль-пункт. Согласно рисунку 48, отсчет по рейке будет равен 1120 мм.

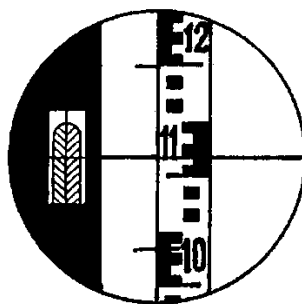


Рисунок 48 – Отсчётное устройство нивелира

Работа на станции завершается вычислением превышений, которые равны разности отсчетов на задний и передний пикеты по черным и красным сторонам реек. Из вычисленных превышений определяется среднее превышение. Расхождения в превышениях, полученных по черной и красной сторонам реек с учетом разности нулей красных сторон, допускают не более 5 мм. После этого задний реечник переходит на следующий пикет. Если имеются промежуточные точки, то задний реечник по ходу движения устанавливает в этих точках рейку. Отсчеты берут только по черной стороне рейки. При переходе на следующую станцию рейки чередуются: передняя становится задней, а задняя – передней.

На участках с крутыми склонами, если с одной станции невозможно снять отсчеты между связующими точками, т.к. луч визирования будет проходить выше рейки или попадать в землю, производят закрепление иксовых точек. Расстояния до них не определяют. Нивелирование иксовых точек проводят, как и связующих. При перерывах в работе, нивелирование заканчивают на закрепленной точке.

1.8.5. Обработка результатов геометрического нивелирования

Математическая обработка включает два вида работ: вычислительную и графическую (построение профиля).

При выполнении вычислительной обработки нивелирных ходов используются отметки исходных реперов более высоких классов точности нивелирования. Пример записи в журнале геометрического нивелирования и обработки нивелирного хода между двумя реперами показан в таблице 12

1. Обработка результатов нивелирования начинается с постраничного контроля. Для этого на каждой странице журнала подсчитывают суммы отсчетов по черной и красной сторонам задних и передних реек, а также суммы вычисленных и средних превышений.

Разность между суммами отсчетов по задним и передним рейкам должна быть равна сумме всех вычисленных превышений или удвоенной сумме всех средних превышений.

$$\frac{\sum Z - \sum П}{2} = \frac{\sum h_{\text{выч.}}}{2} = \sum h_{\text{ср.}}$$

Таблица 12 – Пример журнала геометрического нивелирования

$H_{Rp761}=210,755$ м $H_{Rp772}=216,975$ м

Номер		Отсчет по рейке, мм			Превышения, мм						Горизонт прибора, м	Отметка, м
Стан- ции	Пикета и промежу- точной точки	Задни й	Передн ий	Проме жу- точный	Вычисленные		Средние		Исправленные			
					+	-	+	-	+	-		
1	R _p 761 ПК0	2815 7495	0063 4746		2752 2749		+1,5 2750,5		2752		210,755 213,507	
2	ПК0 ПК1	1752 6434	0742 5423		1010 1011		+1,5 1010,5		1012		214,519	
3	ПК1 +30 ПК2	2915 7596	0730 5413	1200	2185 2183		+1 2184		2185	217,434	216,234 216,704	
4	ПК2 ПК3	2327 7011	0855 5539		1472 1472		+1 1472		1473		218,177	
5	ПК3 ПК4	0393 5073	1743 6427			1350 1354		+2 1352		1350	216,827	
6	ПК4 ПК5	0747 5432	1073 5756			326 324		+1 325		324	216,503	
7	ПК5 R _p 772	2016 6698	1544 6228		472 470		+1 471		472		216,975	
		<u>_58704 46282</u> <u>46282</u> Σh=12422:2= = + 6211			<u>_15776 3354</u> <u>3354</u> Σh=12422:2=+ 6211		<u>_ 7888</u> <u>1677</u> Σh=+62 11	1677	<u>_7894</u> 1674 Σh=+6220	1674	<u>210,755</u> Σh=6220	
f _{h пол} = Σh _{ср.} - (H _{Rp772} - H _{Rp761}) = 6611 - 6220= -9 мм Допустимая невязка f _{h доп} = ± 30√L = ±30√0.5 ≈ ±21 мм												

Если нет ошибок в вычислениях, то определяют невязки в превышениях.

В замкнутом нивелирном ходе сумма средних превышений должна равняться нулю. Но вследствие погрешностей при измерениях это условие не выполняется. Тогда сумма всех средних превышений будет указывать величину невязки $f_h = \sum h_{cp}$.

В разомкнутом ходе, т. е. проложенном между двумя реперами (пунктами) сумма превышений должна равняться разности отметок конечного и начального реперов. Тогда невязка определяется по формуле $f_h = \sum h_{cp} - (H_K - H_N)$, где H_K – отметка конечного репера, H_N – отметка начального репера.

Нивелирование сопровождается систематическими и случайными ошибками, которые и приводят к образованию невязок в превышениях хода. Основными источниками ошибок являются: негоризонтальность линии визирования, инструментальные погрешности, невертикальность постановки реек, действие земной рефракции, нагревание нивелира солнечными лучами, действие ветра и др.

Допустимые невязки установлены в следующих пределах в зависимости от класса точности нивелирования. Для нивелирования IV класса допустимая невязка вычисляется по формуле $f_h = \pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}$, а для технического нивелирования $f_h = \pm 30 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L – длина хода в км.

Полученная невязка не должна превышать допустимую. Если невязка превышает допустимую, то ошибку следует искать в полевых измерениях.

Невязка распределяется с обратным знаком равномерно между всеми средними превышениями. Поправки вводят в первую очередь в те превышения, где имеются дробные доли миллиметра, округляя их до целых. Поправки записывают над средними превышениями. Сумма всех поправок должна равняться невязке с обратным знаком. Поправки прибавляют к вычисленным средним превышениям и получают исправленные превышения. Для контроля исправленные превышения суммируют. Сумма их должна равняться теоретической невязке (в замкнутом ходе – нулю, а в разомкнутом – разности отметок конечного и начального реперов).

По исправленным средним превышениям и известной отметке точки последовательно вычисляют отметки всех связующих точек, по формуле $H_{n+1} = H_n + h_{n-(n+1)}$. То есть, отметка последующей точки H_{n+1} равна отметке предыдущей точки H_n плюс исправленное превышение между ними $h_{n-(n+1)}$.

Отметки промежуточных точек вычисляют после получения отметок всех связующих точек, по горизонту инструмента ГИ, который определяется только для тех станций, где имеются плюсовые (промежуточные) точки. Горизонт инструмента вычисляется как сумма отметки задней точки и отсчета a_3 по черной стороне рейки на эту точку, т.е. $ГИ = H_3 + a_3$. Высота промежуточной точки будет равна $H_{np.} = ГИ - a_{np.}$. Аналогично вычисляются отметки поперечников.

Построение профиля. Профиль строится на миллиметровой бумаге в двух масштабах – горизонтальном и вертикальном. Вертикальный масштаб для наглядности выбирается в 10 раз крупнее горизонтального. Длину профиля определяют по номеру последнего пикета. Профиль строится на основе нивелирного журнала и пикетажной книжки (Рисунок 49).

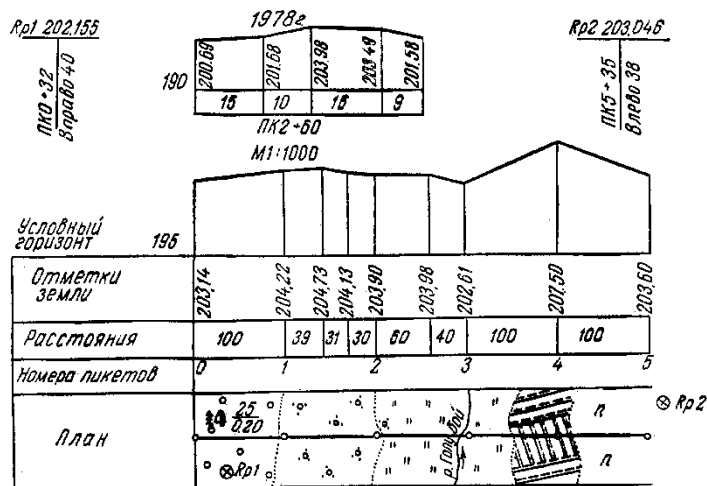


Рисунок 49 – Профиль трассы

Построение профиля начинают с разбивки профильной сетки, которая включает следующие графы: отметки земли, расстояния, номера пикетов, план. Вначале заполняют графу «расстояния». В этой графе через промежутки, равные расстояниям между пикетами и плюсовыми точками, проводят вертикальные линии и выписывают расстояния между ними, которые в сумме должны быть равны расстоянию между пикетами. В графу «Отметки» выписывают из нивелирного журнала все отметки пикетов и промежуточных точек, округляя их до сантиметров. Верхняя линия профильной сетки принимается за условный горизонт. Отметка условного горизонта намечается исходя из наименьшей отметки профиля, с таким расчетом, чтобы линия профиля находилась выше линии условного горизонта на 3–4 см. С левой стороны профиля строят вертикальную шкалу, на которой, согласно принятому вертикальному масштабу подписывают высоты. На перпендикулярах, восстановленных на всех пикетных и промежуточных точках в соответствии с вертикальным масштабом откладывают их отметки. Полученные точки соединяют прямыми линиями, получая линию профиля.

Графу «План» заполняют на основании пикетажной книжки.

Профили поперечников строят аналогично, только вместо профильной сетки строят одну графу для расстояний.

1.8.6. Тригонометрическое нивелирование

Тригонометрическое нивелирование выполняется наклонным лучом визирования и определение превышения между точками сводится к решению прямоугольного треугольника.

Для тригонометрического нивелирования используют теодолиты, тахеометры, кипрегели и нивелирные рейки.

В процессе тригонометрического нивелирования измеряется угол наклона ν приборами с вертикальным кругом и расстояние на местности мерной лентой L или дальномером D (Рисунок 50).

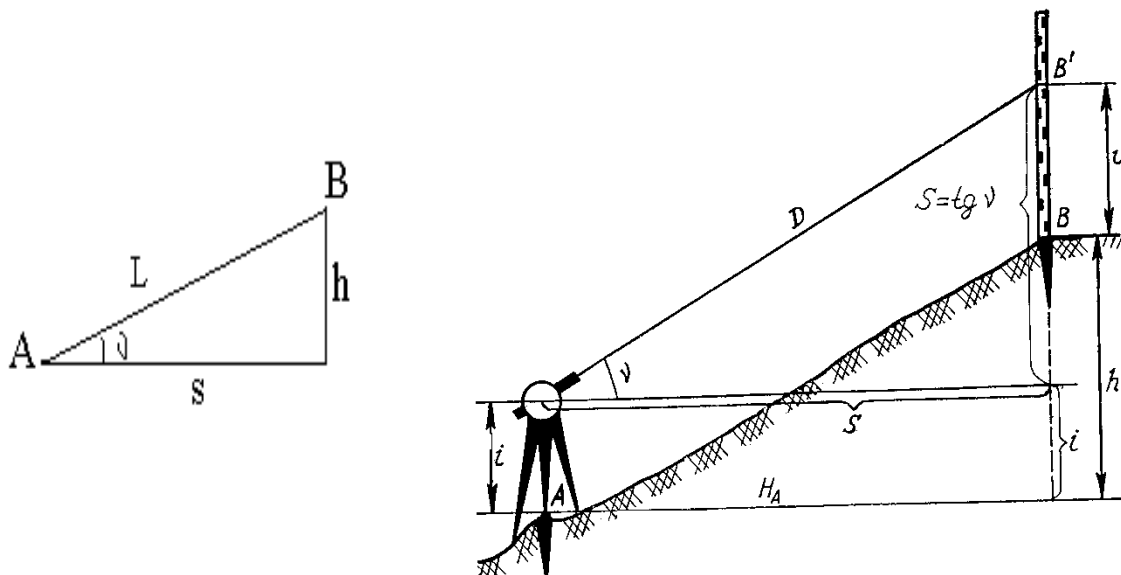


Рисунок 50 – Измерение расстояний на местности

Если известно горизонтальное проложение линии местности S (Рисунок 50), то превышение h вычисляется по формуле

$$h = S \times \operatorname{tg} \nu \quad (8.1)$$

При измерении наклонного расстояния L (Рисунок 50) превышение можно вычислить по формуле

$$h = L \times \sin \nu \quad (8.2)$$

Если расстояние на местности измерено нитяным дальномером по рейке, тогда, согласно рисунку 50, имеем $h + \nu = S \operatorname{tg} \nu + i$, откуда

$$h = S \operatorname{tg} \nu + i - \nu, \quad (8.3)$$

где $S = K D \cos^2 \nu$. Подставив значение S в формулу (8.3), имеем

$$h = K D \cos^2 \nu \cdot \operatorname{tg} \nu + i - \nu, \quad (8.4)$$

а после преобразования получим

$$h = \frac{1}{2} K D \sin 2\nu + i - \nu. \quad (8.5)$$

На точность определения превышений влияет атмосферная рефракция и кривизна Земли. Поправку за кривизну Земли K и рефракцию r определяют из таблиц и учитывают при расстояниях более 300 м. На практике вычисляется суммарная поправка f , как разность поправок за кривизну Земли и рефракцию, т. е. $f = K - r$. Таким образом формула (4) примет окончательный вид:

$$h = \frac{1}{2} K D \sin 2\nu + i - \nu + f. \quad (8.6)$$

Если тригонометрическое нивелирование выполняется для топографической съемки с высотой сечения рельефа $h_0 = 2$ м и более, то для определения превышений между опорными точками прокладывается высотный ход, в котором расстояния и углы наклона измеряются в прямом и обратном направлениях при двух положениях вертикального круга КЛ и КП. Расхождения между превышениями в прямом и обратном направлениях не должны превышать 4 см на 100 м хода. За окончательное значение принимается среднее из двух измерений со знаком по ходу построения опорной сети. Точность тригонометрического нивелирования оценивается по невязке хода.

Невязку в превышениях определяют по тем же формулам, что и при выполнении геометрического нивелирования.

Допустимую невязку в ходе тригонометрического нивелирования вычисляют по формуле: $f_h = 0,04S/\sqrt{n}$, где S – средняя длина стороны хода, выраженная в сотнях метров; n – число сторон хода.

1.8.7. Физические способы нивелирования

Барометрическое нивелирование используется для определения высот точек местности при географических и других исследованиях, где не требуется высокая точность. При барометрическом нивелировании не требуется взаимной видимости между нивелируемыми точками, поэтому его можно проводить в различных физико-географических условиях.

Барометрическое нивелирование основано на определении разности высот двух точек по результатам одновременного измерения атмосферного давления в этих точках. Атмосферное давление в каждой точке зависит от высоты над уровнем моря и метеорологических условий в момент измерений. Эта зависимость выражается полной барометрической формулой, которая очень трудоемка для вычислений, т. к. необходимо специальное зондирование атмосферы. Обычно пользуются сокращенными барометрическими формулами, а чаще всего формулой Бабинне

$$h = 16000 \left(1 + 0,004 \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \frac{B_1 - B_2}{B_1 + B_2};$$

где B_1 и B_2 – давление в точках 1 и 2; t_1 и t_2 – температура воздуха в этих точках.

По формуле Бабинне составлены таблицы барических ступеней высот. Барическая ступень высот – расстояние по вертикали в метрах, на котором атмосферное давление меняется на 1 мм рт.ст. С использованием таблиц формула сводится к виду $h = \frac{B_1 - B_2}{\Delta h}$, где Δh – барическая ступень.

Для определения температуры воздуха пользуются термометрами-пращами, по которым отсчеты температур можно производить с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Для измерения атмосферного давления в основном применяют барометры-анероиды.

Точность барометрического нивелирования зависит от типа прибора, равновесия атмосферы, способа нивелирования.

При нивелировании с использованием барометров-анероидов высоты точек могут быть получены при благоприятных атмосферных условиях с ошибкой, не превышающей 2 м, а при использовании топографических высотомеров ошибка в определении отметок высот будет не более 1 м.

Гидростатическое нивелирование основано на свойстве свободной поверхности жидкости в сообщающихся сосудах всегда находится на одном уровне.

Гидростатический нивелир состоит из двух стеклянных сосудов с миллиметровыми делениями, заключенных в металлические оправы и соединенных между собой резиновым шлангом. Схема определения превышения гидростатическим нивелиром показана на рисунке 51

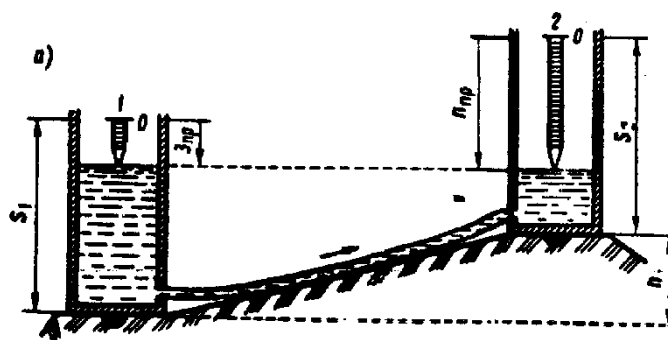


Рисунок 51 – Гидростатический нивелир

Установив сосуды на нивелируемых точках, берут отсчеты, показывающие уровень жидкости в них. Превышение будет равно разности отсчетов уровня воды в сосудах при условии равенства высот нулей у обоих водомерных элементов от нижних опорных пятток.

1.9. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

1.9.1. Классификация съемок

Под съемкой местности понимают комплекс полевых и камеральных работ, в результате которых получают съемочный оригинал карты или плана в заданном масштабе.

Съемки местности классифицируются на топографические и фототопографические, последние в свою очередь подразделяются на наземные и воздушные.

В зависимости от применяемых приборов различают следующие виды топографических съемок: тахеометрическую, мензульную, теодолитную (контурную).

Топографические карты и планы для небольших по площади участков местности экономически целесообразнее создавать методами наземных съемок – тахеометрической, мензульной и фототеодолитной (см. 1.10.5).

К съемкам пониженной точности относят буссольную, глазомерную, экерную, в результате которых получают контурный план небольшого участка местности.

1.9.2. Способы съемки ситуации и рельефа

Для получения положения на планах характерных точек ситуации и рельефа применяют общие для топографических съемок способы.

В процессе съемки часто составляется абрис – схематический чертеж, на котором в произвольном масштабе показывают взаимное размещение объектов и контуров (Рисунок 52). Результаты угловых и линейных измерений на местности заносят в абрис в процессе съемки.

Способ обхода используют одновременно с прокладкой теодолитного хода при измерении длины линий. При пересечении контуров (дороги, границы и т.п.) их фиксируют измерением расстояния от заднего пункта хода (Рисунок 52). В сущности, проложение теодолитного хода также выполняется этим способом.



Рисунок 52 – Абрис

Способ перпендикуляров (прямоугольных координат) применяется для съемки контуров, лежащих вблизи теодолитного хода. Линию теодолитного хода 1–2 (Рисунок 52) принимают за ось абсцисс с началом в задней точке 1. На этой оси с помощью экера (при небольших расстояниях – на глаз) к характерным точкам ситуации (р. Каменный, Рисунок 52) строят перпендикуляры (ординаты), длины которых измеряют мерной лентой. Таким образом, имея значения абсциссы и ординаты, наносят эту точку на план.

Способ угловых засечек используется на труднопроходимой или недоступной (огород, Рисунок 52) для измерений длины линий местности. Принимая линию между двумя известными пунктами за базис, измеряют горизонтальные углы, которые образованы этим базисом и направлениями на определяемый пункт. При построении плана положение этой точки можно получить с помощью транспортира.

Способ линейных засечек используется для определения планового положения пунктов, расположенных вблизи пунктов планового съемочного

обоснования. Для этого измеряют расстояние между определяемым и двумя (тремя) известными пунктами.

Способ полярных координат (полярный способ) наиболее часто применяется в топографических съемках. Согласно рис. 9.1, точка хода 2 принимается за полюс, куда устанавливается угломерный прибор, а линия хода 2–3 – за полярную ось. Ориентировав 0° горизонтального круга по полярной оси, снимают горизонтальные углы на характерные точки и расстояния между ними и полюсом. Снятые точки наносятся на план с помощью транспортира и поперечного масштаба или тахеографа (см. рис. 1.9.9).

Высотное положение характерных точек рельефа обычно определяют, применяя способ угловых засечек и полярных координат, для чего одновременно при измерении горизонтальных углов определяют углы наклона и расстояния.

Все результаты съемок, выполненных перечисленными способами, заносят на абрис, представляющий собой схематический чертеж (Рисунок 52).

1.9.3. Тахеометрическая съемка

Тахеометрическая съемка или тахеометрия – (от греч. tachys – быстрый + метр) в переводе означает быстрое измерение. Тахеометрическая съемка – это топографическая съемка местности, выполняемая полярным способом относительно пунктов съемочного обоснования с помощью тахеометра или теодолита.

Съемку местности (предметы, контуры, рельеф) выполняют комплексно одним прибором при одном наведении зрительной трубы, в результате чего определяют три величины, устанавливающие положение съемочной точки (пикета) относительно пункта съемочного обоснования: горизонтальное направление (угол) β , горизонтальное проложение S и превышение h . План местности составляют камерально. Тахеометрическая съемка имеет значительное преимущество перед другими видами наземных топографических съемок в случаях, когда полевые работы требуется выполнить в короткий срок или при неблагоприятных климатических условиях, являясь таким образом более экономически эффективной.

Недостатком этого вида съемки является составление плана в камеральных условиях, вследствие чего возможны пропуски отдельных деталей.

По своей конструкции тахеометры делятся на электронно-оптические, номограммные и дифференциальные.

Наиболее широко используются номограммные тахеометры ТН, 2 ТН (Россия) (Рисунок 53), разработанные на базе шкалового теодолита Т–5. В поле зрения трубы видны кривые номограммы превышений с коэффициентами ± 10 , ± 20 , ± 100 , горизонтального проложения с коэффициентом 100 и начальная кривая, которые выгравированы на вертикальном круге. При работе начальную кривую наводят на 0 раздвижной рейки с сантиметровыми делениями и снимают отсчеты a и b по кривой горизонтальных проложений S и кривой превышений h (Рисунок 54).

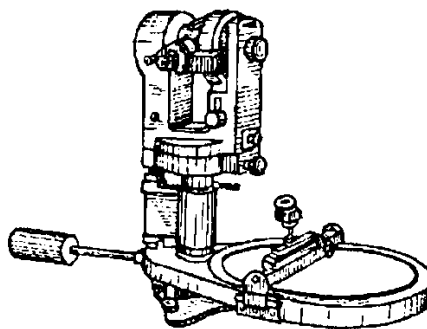


Рисунок 53 – Номограмный тахеометр

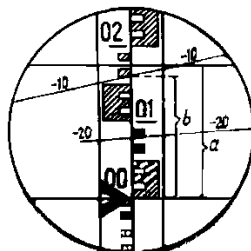


Рисунок 54 – Расчёт расстояния по дальномерным штрихам

Согласно рисунку 54 имеем $S = K \times a = 100 \times 17,4 \text{ см} = 17,4 \text{ м}$;
 $h = K \times b = -10 \times 16,1 \text{ см} = -1,61$ или $h = -20 \times 8,0 \text{ см} = -1,60 \text{ м}$.

Тахеометр 2 ТН снабжен картографическим столиком, диск которого вращается одновременно с вращением алидады, что позволяет на каждой станции составлять план непосредственно в поле.

Появление электронных тахеометров (Рисунок 55) позволило значительно автоматизировать производство тахеометрической съемки. При съемке электронный тахеометр устанавливается на точках съемочной сети, а на пикетах – специальные вешки с отражателями (приборы последних модификаций имеют соосно встроенный дальномер, позволяющий измерять расстояния без отражателя). При наведении на пикет в автоматическом режиме определяются горизонтальные и вертикальные углы, а также горизонтальные проложения линий. С помощью микро-ЭВМ тахеометра производится обработка результатов измерений и получают приращения координат Δx , Δy и превышения h пикетов.



Рисунок 55 – Электронный тахеометр

При этом автоматически учитываются все поправки в измеряемые углы и расстояния. Результаты измерений вводятся в запоминающее устройство или записываются на дискету. Окончательную обработку результатов измерений, создание цифровой модели местности и составление плана выполняют на компьютере (см. п. 1.9.5).

Съемочное обоснование может быть создано в зависимости от требуемой точности съемки проложением теодолитно-нивелирных, теодолитно-высотных и тахеометрических ходов. Они могут быть замкнутыми или разомкнутыми и должны опираться на пункты ГГС и сетей сгущения.

В теодолитно-нивелирном ходе расстояния измеряют мерными лентами или оптическими дальномерами и светодальномерами. Высотное положение точек хода определяется геометрическим нивелированием.

В теодолитно-высотном ходе для высотного обоснования применяется тригонометрическое нивелирование.

При проложении тахеометрического хода все измерения выполняются тахеометром или теодолитом.

Для получения планового обоснования могут также использоваться засечки и микротриангуляция.

Точки съёмочной сети должны быть доведены до плотности, обеспечивающей необходимую точность съёмки контурной и высотной части и рельефа и располагаться на площади равномерно с учетом масштаба съёмки без пропусков.

1.9.4. Производство тахеометрической съёмки теодолитом.

Съёмку контуров, объектов местности и рельефа выполняют относительно точек съёмочного обоснования. Места постановки реек в характерных точках местности называют пикетами. Пикеты на местности выбирают с таким расчетом, чтобы по ним на плане можно было изобразить предметы и контуры местности, а также рельеф. Пикеты, предназначенные для определения только элементов ситуации, называют контурными, а для съёмки рельефа – орографическими.

Перед началом съёмки проводят осмотр местности, определяют характер и структуру рельефа, намечают положение съёмочных пикетов на местности.

Контурные пикеты выбирают с учетом отображения объектов и элементов ситуации местности (сооружений, построек, дорог, просек (их поворотов и пересечений, рек, озер, ЛЭП, мостов, шлюзов, колодцев, отдельно стоящих деревьев и т. д.) (Рисунок 56а).

Орографические пикеты выбирают на всех характерных точках и линиях рельефа: на вершинах и подошвах холмов, на дне и бровках котловин, лощин, оврагов, на водоразделах и хребтах, в местах изменения крутизны скатов (Рисунок 56б).

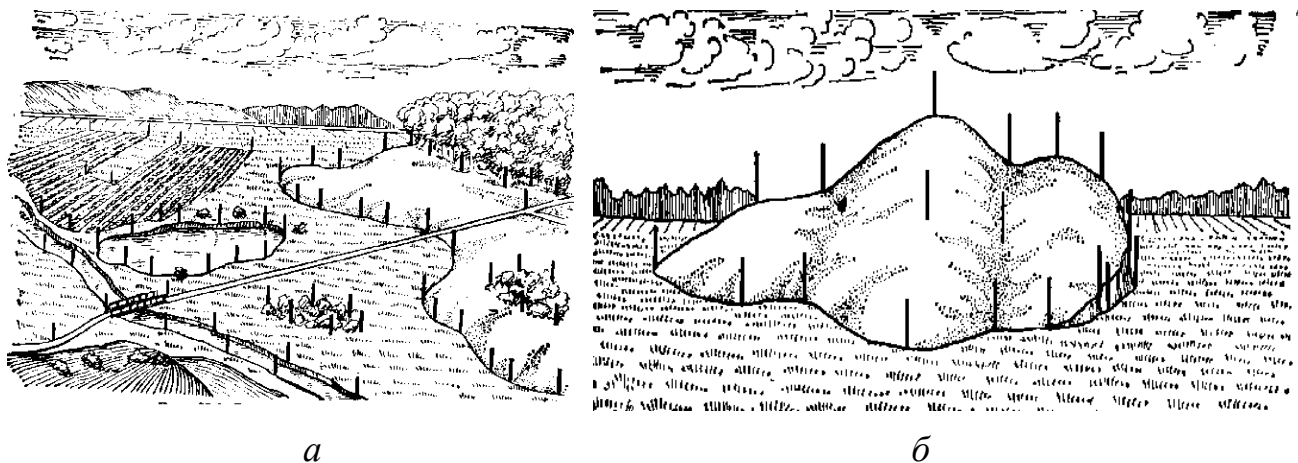


Рисунок 56 – Положение съёмочных пикетов:
а – контурные пикеты, б – орографические пикеты

Съемку предметов, контуров и рельефа местности производят полярным способом, вертикальные и горизонтальные углы измеряют при одном положении вертикального круга (обычно КЛ), расстояния до пикетов определяют нитяным дальномером.

Порядок работы на станции следующий:

1. Устанавливают теодолит в рабочее положение над точкой теодолитного хода, измеряют высоту прибора i при помощи рейки или рулетки с точностью до 1,0 см отмечают ее на рейке и записывают в журнал.

2. Определяют место нуля МО прибора.

3. Ориентируют горизонтальный круг, для чего совмещают нуль лимба с нулем алидады горизонтального круга и винтами лимба и зрительной трубы, визируют на начальное направление, в качестве которого обычно выбирают точку теодолитного хода. После этого закрепляют лимб, проверяют ориентирование и открепляют алидаду.

4. Визируют на рейку, установленную на пикете и определяют расстояние до рейки по дальномерным штрихам нитяного дальномера.

5. Наводят средний горизонтальный штрих сетки нитей на высоту прибора i , отмеченную на рейке и берут отсчет по горизонтальному и вертикальному кругам.

6. Работа на станции заканчивается контролем ориентирования теодолита на начальное направление. Такой контроль необходимо выполнять после наблюдения 10–15 пикетов. Изменение ориентировки прибора за период работы на станции не должно превышать $5'$. Если ориентирование превышает этот предел, то все наблюдения на станции повторяют.

Все отсчеты и числовые определения записывают в соответствующие графы журнала тахеометрической съемки.

В процессе съемки на каждой станции составляют абрис – схематический чертеж ситуации и рельефа местности. Ведение абриса – ответственная часть тахеометрической съемки, т. к. он служит основой составления плана в камеральных условиях. Абрис представляет собой глазомерный чертеж, в котором отмечают место станции, предыдущую и последующую линии хода, все пикетные точки с их номерами, а также все сведения, необходимые для составления плана: характеристики населенных пунктов, рек, водоемов, урочищ, дорог, мостов, бродов, лесов и т. п.

Камеральные работы включают математическую обработку материалов планово-высотного обоснования, вычисление высотных отметок пикетов и горизонтальных проложений до них и построение топографического плана.

Вычисление плановых координат и высотных отметок пунктов геодезического обоснования ведется как и для теодолитного хода и геометрического нивелирования профиля (см. п. 1.7.3, 1.8.5, 1.8.6).

Если расстояния измерялись нитяным дальномером, то допустимая линейная невязка определяется по формуле $f_s \leq \frac{\sum S}{400\sqrt{n}}$,

где $\sum S$ длина хода в метрах; n – число линий в ходе.

Высотная невязка при тригонометрическом нивелировании не должна превышать величину $f_n \leq 0,04 \frac{\sum S}{\sqrt{n}}$, см.

При создании планового обоснования съемки другими способами (засечки, микротриангуляции) вычисление координат ведется по соответствующим формулам (см. п. 1.7.4).

Вычисление горизонтальных проложений до пикетов при использовании нитяных дальномеров и их превышений выполняется по формулам $S = D \cos^2 \nu$, $h = S \cdot \operatorname{tg} \nu + i - v$ или $h = \frac{1}{2} D \sin 2\nu + i - v$.

Высотные отметки пикетов вычисляют по формуле $H_n = H_{cm} + h$.

Составление топографического плана начинают с построения на плане координатной сетки в виде системы квадратов со стороной 10 см с помощью линейки Дробышева.

Линейка Дробышева представляет собой металлическую пластину шириной 4–5 см и длиной более 70 см. Она имеет шесть вырезов (окошек) через каждые 10 см внутренние скошенные (левые) края которых являются дугами окружностей с соответствующими радиусами. На скошенном крае первого (левого) выреза нанесен начальный штрих 0. Длина линейки от нулевого выреза до правого скошенного торцевого края составляет 70,711 см, т. е. равна длине диагонали квадрата со стороной 50 см. (Рисунок 57).

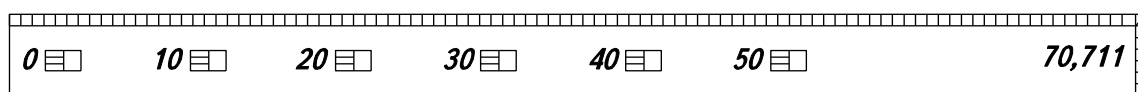


Рисунок 57 – Линейка Дробышева

Построение координатной сетки производится в следующем порядке (Рисунок 58):

Линейку располагают параллельно нижнему краю листа бумаги и вдоль скошенного ребра линейки проводят горизонтальную линию АВ (Рисунок 58а).

На проведенную линию, вырезами накладывают линейку, совмещая нулевой штрих с точкой А и хорошо отточенным карандашом прочерчивают дуги вдоль скошенных краев в каждом вырезе (окне).

Поворачивают линейку перпендикулярно к линии АВ, располагая ее вверх от точки В. Совмещают нулевой штрих с точкой В и прочерчивают дуги по скошенным краям вырезов (окнам) линейки (Рисунок 58б).

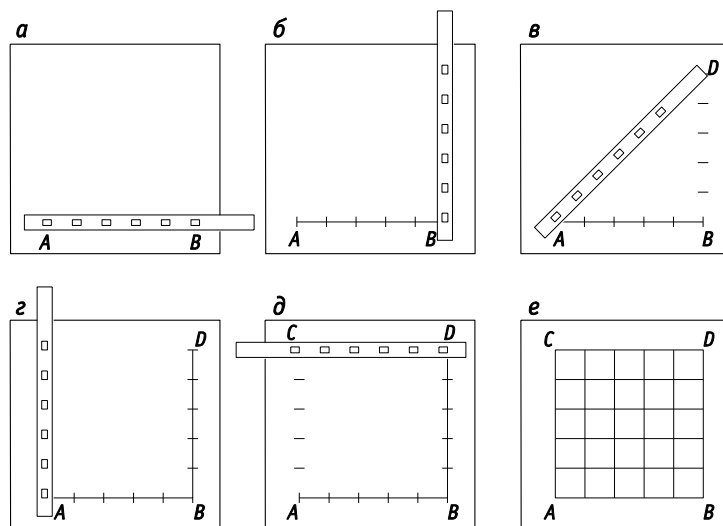


Рисунок 58 – Построение координатной сетки

Укладывают линейку по диагонали. Совместив нулевой штрих с точкой А по дугообразному скошенному торцевому концу линейки, делают засечку по диагонали, получая верхнюю правую вершину квадрата – точку Д (Рисунок 58в).

Аналогичным способом получают верхнюю левую вершину квадрата – точку С.

Контроль построения точек С и Д осуществляют путем совмещения нулевого штриха с точкой С и дуги шестого выреза (окна) с точкой Д. Если дуга совпадает с точкой Д, тогда через все скошенные края вырезов (окон) проводят дуги (Рисунок 58д).

После построения и разбивки сторон основного квадрата АБСД вычерчивают внутренние линии координатной сетки, последовательно соединяя засечки дуг противоположных сторон основного квадрата (Рисунок 58е).

Правильность построения сетки квадратов проверяют измерением их диагоналей при помощи циркуля-измерителя. Отклонения вершин не должно превышать 0,1 мм.

После построения координатную сетку оцифровывают, т. е. подписывают выходы координатной сетки согласно значениям плановых координат съемочного обоснования и принятому масштабу топографического плана.

Графическое построение плана начинают с нанесения по координатам исходных геодезических пунктов и точек съемочной сети. Для этого вначале необходимо определить квадрат, в котором должна находиться точка (пункт), а затем при помощи измерителя и поперечного масштаба отложить расстояния в заданном масштабе от соответствующих линий координатной сетки. Правильность нанесения пункта (точки) контролируется по длине и направлению линии.

Способы нанесения ситуации на план соответствуют способам их полевой съемки. Поскольку основным способом тахеометрической съемки является полярный, то для нанесения пикетов используют геодезический транспорт и поперечный масштаб или что более удобно – тахеограф,

который сделан из прозрачного пластика или пластмассы и состоит из транспортира и линейки (Рисунок 59).

Угловые деления транспортира оцифрованы против хода часовой стрелки. На линейке, край которой совпадает с нулевым штрихом градусной шкалы, начиная от центра транспортира, нанесены миллиметровые деления.

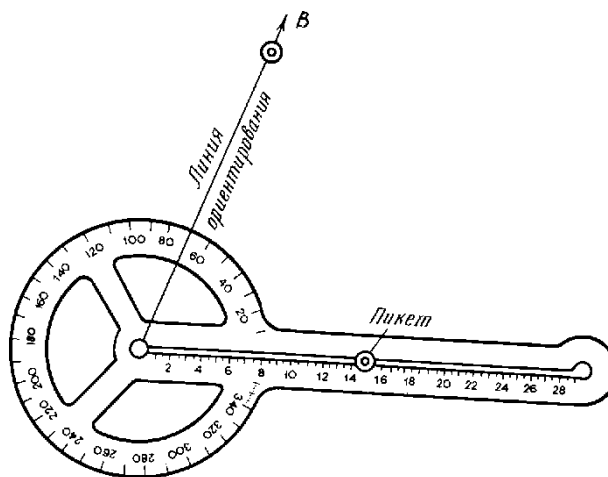


Рисунок 59 – Тахеометрический круг (тахеограф)

При нанесении пикетов на план, центр тахеографа совмещают с точкой съемочного обоснования и вращают вокруг нее, пока на ориентируемой линии не окажется градусное деление, равное полярному углу пикета. Вдоль линейки в масштабе плана откладывают горизонтальное проложение между точкой съемочного обоснования и пикетом. Делают накол, обводят его кружком и подписывают его номер и высотную отметку. Одновременно, согласно абрису по нанесенным пикетам карандашом проводят контуры.

После переноса пикетов и контуров проводят горизонтали, пользуясь подписанными значениями отметок высот характерных точек рельефа. Процесс нахождения вспомогательных точек, отметки которых кратны принятой высоте сечения рельефа, т. е. через которые проходят горизонтали, называется интерполированием.

Интерполирование можно выполнять с помощью палетки параллельных линий (Рисунок 60). Она представляет ряд параллельных линий, которые проведены на прозрачной основе через одинаковый интервал (5–8 мм) с подписанными отметками горизонталей, соответствующих данному участку. Например, требуется определить положение горизонталей между пикетами 1 и 2. Палетку накладывают таким образом, чтобы пикет 1 находился между линиями пропорционально его высоте. Прижимают палетку в пикете 1 и вращают ее вокруг этой точки пока пикет 2 не окажется по высоте между соответствующими линиями палетки пропорционально его высоте. Точки пересечения прямой между пикетами 1 и 2 и линиями палетки переносят (перекалывают) на план. Полученные интерполированием точки с одинаковой высотой, лежащие на одном склоне соединяют плавными кривыми линиями – горизонталями. Следует помнить, что интерполировать можно только по линиям, расположенным на одном склоне. При необходимости, для лучшего изображения форм рельефа (седловины, вершины и т. д.), которые плохо

отобразились основными горизонталями, на плане проводят полугоризонтали и четвертьгоризонтали.

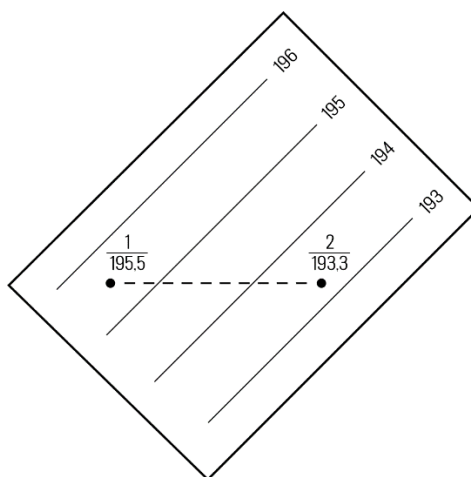


Рисунок 60 – Интерполирование палеткой параллельных линий

После окончательного просмотра плана, выполненного карандашом, его вычерчивают тушью в соответствии с условными знаками для данного масштаба.

Невязку, в случае ее допустимости, распределяют графическим способом (Рисунок 61). Для этого в точках мензального хода проводятся линии параллельные отрезку BB' . Для определения поправок в масштабе плана или в более мелком масштабе строится отрезок, равный длине хода, на котором отмечают длины сторон. В полученных точках восстанавливают перпендикуляры, а в конечной точке по перпендикуляру откладывается линейная невязка (отрезок BB'). Точку B' соединяют с начальной исходной A и в полученном треугольнике отрезки $1-1'$, $2-2'$ и т. д. будут поправками, которые откладываются на прочерченных линиях на плане в направлении $B'B$.

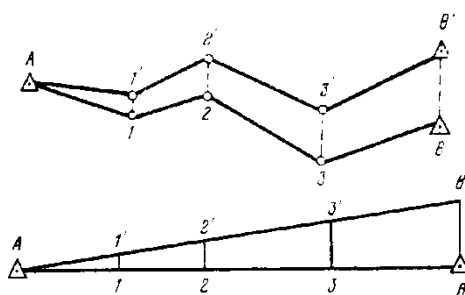


Рисунок 61 – Распределение невязки графическим способом

Высотное съемочное обоснование. Выбор способов создания высотного обоснования зависит главным образом от принятой высоты сечения рельефа и способов создания планового обоснования.

При высоте сечения рельефа $h_c \leq 1$ м высотное положение определяется проложением через пункты планового обоснования ходов геометрического нивелирования технической точности. При высоте сечения $h_c \geq 2$ м высотное

обоснование может создаваться тригонометрическим нивелированием путем проложения высотных ходов.

При создании высотного обоснования для геометрической сети и мензульных ходов превышения определяются кипрегелем в прямом и обратном направлениях. Расхождение между ними не должно превышать 4 см на 100 м горизонтального проложения. Допустимая невязка средних превышений для высотных ходов определяется по формуле (см. п. 1.9.4).

Съемка ситуации и рельефа выполняется с пунктов съемочного обоснования. На каждом пункте (станции) планшет приводят в рабочее положение и измеряют высоту инструмента i . Ориентирование планшета выполняется по двум направлениям.

Съемка ведется полярным способом. Снимаемые точки местности (пикеты) выбирают в характерных местах ситуации и рельефа. При наблюдении визируют на высоту реек v , установленных на пикетах и по кривым вертикального круга определяют горизонтальное проложение s и превышение h . Для контурных пикетов превышение не определяется. Высоты пикетов H_n определяют по формуле $H_n = H_{cm} + h + i - v$.

В масштабе съемки снятые пикеты наносят на планшет и подписывают их высотные отметки. После набора пикетов карандашом изображают снятую ситуацию и проводят горизонталы.

В процессе мензульной съемки, чтобы избежать ошибок ежедневно с планшета снимаются копии – кальки высот и контуров. На кальку высот наносят пункты съемочного обоснования, высотные пикеты с их отметками и урезы воды, а на кальку контуров – всю снятую ситуацию. В случае несложной ситуации ведут общую кальку высот и контуров.

Составленный в результате полевой съемки топографический план оформляется тушью. Перед вычерчиванием следует внимательно просмотреть его в отношении пропусков, особое внимание уделить укладке горизонталей. При вычерчивании плана тушью используют условные знаки для данного масштаба.

1.9.5. Современная технология производства топографической съемки

Топографическая карта представляет собой цифровую модель местности (ЦММ), которая в последнее время получила наиболее широкое распространение. ЦММ является информационной основой автоматизированных систем проектирования и управления, а также географических информационных систем. ЦММ создают применяя, главным образом, спутниковую аппаратуру и электронные тахеометры. Информацию о местности и ее элементах получают и обрабатывают в цифровом виде.

Топографическая съемка выполненная с использованием спутниковой аппаратуры и электронных тахеометров называется цифровой топографической съемкой. Современная технология производства цифровой топографической съемки состоит в сочетании использования спутниковых приемников, реализующих статистический и кинематический режим измерений в реальном времени и электронного оборудования (тахеометров). Используя спутниковые

приемники, определяют плановые координаты и высоты объектов. Электронные тахеометры (см. п. 1.9.3) применяют для досъемки тех участков местности, где использование спутниковой аппаратуры невозможно («закрытая местность», т. е. территория плотно застроена высотными зданиями) или нецелесообразно.

Оборудование и производство цифровой топографической съемки. Спутниковая аппаратура состоит из комплекта спутниковых приемников, реализующих (поддерживающих) режим наблюдений в реальном времени, включающих базовую (опорную, референцную) станцию и, как минимум, одну подвижную (роверную) станцию.

Базовая станция включает геодезический фазовый спутниковый приемник со спутниковой антенной и передающий радиомодем с радиоантенной. Спутниковые приемники бывают двух типов: одночастотные и двухчастотные. В комплект базовой станции также входят: аккумуляторы, штатив, штанга для измерения высоты спутниковой антенны, соединительные кабели и другое вспомогательное оборудование.

Аппаратура подвижной (роверной) станции включает: спутниковый приемник со спутниковой антенной, приемный радиомодем с радиоантенной и многофункциональный контроллер, предназначенный для управления работой всего подвижного комплекта, а также дополнительные аккумуляторы и соединительные кабели. Спутниковый приемник закрепляют на специальной вехе и при помощи круглого уровня устанавливают на определяемой (снимаемой) точке.

В комплект электронного тахеометра входят вехи с призмными отражателями и рация для связи между исполнителем (наблюдателем) и речниками – вещечниками. В процессе съемки тахеометр регистрирует и накапливает данные в виде: названия (номера), координат и кода точки (пикета).

Перед производством цифровой топографической съемки с применением спутниковых технологий составляют абрис и подготавливают классификатор (библиотеку) кодов объектов, подлежащих съемке, которые в дальнейшем будут необходимы для рисовки рельефа и последующего распределения объектов съемки по слоям векторной электронной карты. Такими слоями являются: подземные коммуникации, наземные сооружения, дорожная сеть и т. п. Выбирают систему координат и проекцию, в которой будут определяться координаты. Возможные системы координат встроены в контроллер.

Съемка спутниковым приемником в реальном времени в режиме кинематики начинается с инициализации, т. е. с изначального разрешения многозначности результатов фазовых измерений. С применением двухчастотного спутникового приемника для инициализации достаточно 8 – 14 минут, причем антенна может находиться как неподвижно, так и в движении. При использовании одночастотного приемника на инициализацию затрачивается 20-25 минут, и антенна должна быть установлена неподвижно. Спутниковый приемник центрируют над пунктом с известными координатами. Таким пунктом может быть, как пункт геодезической сети, созданной ранее

наземными методами, так и пункт вновь созданной геодезической сети спутниковым методом в режиме статики. Спутниковый приемник обрабатывает принятый антенной сигнал, а передающий радиомодем с помощью радиоантенны транслирует эту информацию на подвижную станцию. При благоприятных условиях этот сигнал может быть принят подвижной станцией на расстоянии до 10 км для одночастотного и 25 км – для двухчастотных приемников.

После завершения инициализации веху со спутниковой антенной устанавливают на определяемую точку и с клавиатуры контроллера-накопителя вводится название (номер) точки, а из классификатора кодов выбирается код определяемого объекта. После чего вводят значение высоты вехи. Спутниковый приемник после обработки сигналов спутников и информации, принятой по радиоканалу с базовой станции, вычисляет координаты точки, на которой установлена спутниковая антенна. В течение 2-5 секунд на дисплей контроллера выводятся координаты точки с оценкой их точности определения. Встроенные в контроллер функции позволяют вычислять координаты недоступной точки, например, оси столба. Контроллер фиксирует в памяти окончательные значения координат и атрибуты объекта.

Досъемку участков местности выполняют электронными тахеометрами в следующем порядке. Тахеометр устанавливается на точку, с которой будет производиться съемка и приводится в рабочее положение. Сориентировав прибор по начальному направлению, вводят значение его высоты, высоту отражателя (вехи), номер определяемой точки (пикета) и код объекта. После этого включают режим измерений. При этом определяют вертикальный и горизонтальный углы на веху и расстояние до нее. По данным измерений автоматически вычисляются координаты точки (пикета) и фиксируются во внутренней памяти или в накопителе (регистраторе) прибора. Наличие в тахеометрах электронных регистраторов позволяет автоматизировать процесс съемки: в регистраторе фиксируются не только данные измерений, но и характеристики точек. Таким образом, ведется «электронный абрис» съемки. Кроме того, в электронных тахеометрах имеются встроенные функции определения недоступных высоты и расстояния, вычисление площади и пространственных координат, вынос в натуру расстояния, координат и высоты недоступных объектов. Предусмотренные стандартные программы измерений позволяют выполнять фасадную съемку. Перечисленные функции и программы позволяют контролировать и управлять измерительной информацией по конкретному объекту.

При выполнении цифровой съемки спутниковыми приемниками и электронными тахеометрами одновременно с определением и фиксацией координат точек и объектов, фиксируются их атрибуты: код объекта, его характеристики, комментарии. Эта информация заносится в цифровом виде в накопителя и далее используется для автоматического составления плана, и связанной с ним базы данных. В последующем вся информация переносится в компьютер, который и используется для составления цифрового плана местности. После корректировки в полевых условиях получают окончательный

вариант цифровой модели местности. ЦММ, созданная с применением спутниковой аппаратуры и/или электронных тахеометров предоставляет его пользователю большие возможности. Например, можно определить эллипсы ошибок каждого пикета, дату, время съемки и другие дополнительные сведения.

1.10. ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Фототопографией называется дисциплина, изучающая способы создания топографических карт и планов с использованием материалов фотосъемки. Теоретической основой фототопографии является фотограмметрия, которая занимается определением форм, размеров и положением различных объектов путем измерения их изображения на фотоснимках.

По способу получения фотоизображения различают воздушную (аэрофотосъемку) и наземную фотосъемку. К воздушным фототопографическим относят комбинированную и стереотопографическую, а к наземным фототопографическим – фототеодолитную. К фототопографическим съемкам относится и космическая фотографическая съемка, материалы которой используются для обновления топографических карт.

Одним из основных методов создания государственных топографических карт является стереотопографическая съемка.

1.10.1. Общие сведения об аэрофотосъемке

Аэрофотосъемка (АФС) местности осуществляется с самолета (АН–2, ИЛ–14, АН–30) или другого летательного аппарата при помощи специальных топографических аэрофотоаппаратов (АФА) – полностью автоматизированных приборов, управляемых электрическими командными приборами.

Во время съемочного полета АФА, включенный через командный прибор полностью осуществляет аэрофотосъемочный цикл: экспонирование (открытие и закрытие затвора АФА), перематывание пленки для нового кадра, выравнивание пленки в плоскость с точностью до 0,02 мм. Современные АФА обеспечивают выдержки от 1/30 до 1/1000 с.

Наиболее распространенные в странах СНГ АФА имеют размеры кадров 18×18 см, за рубежом – 23×23 см.

Основные части АФА следующие: объектив, состоящий из 4–10 линз; кассета для фотопленки с устройством для ее выравнивания; командный прибор, управляющий работой аэрофотоаппарата, который работает в автоматическом и полуавтоматическом режиме. Для стабилизации заданного положения АФА и уменьшения наклона плановых снимков применяют гиросtabilизирующие установки.

В зависимости от величины фокусного расстояния f аэрофотоаппараты делятся на короткофокусные (70–140 мм), среднефокусные (200 мм) и длиннофокусные (350 и 500 мм).

В результате выполнения аэрофотосъемочного цикла получается непрерывный аэрофильм, представляющий собой ряд смежных аэронегативов.

По числу снимков и их взаимному расположению аэрофотосъемка подразделяется на выполненную *одиночными* кадрами, *одномаршрутную* (вдоль заданной трассы – дорог, нефте-газопроводов и других линейно-вытянутых объектов) и *многомаршрутную, или площадную*.

Многомаршрутная аэрофотосъемка местности производится по маршрутам, прокладываемым с запада на восток и обратно, параллельно друг другу. Для каждого маршрута намечаются входные и выходные ориентиры, четко различаемые с самолета.

Перед началом АФС рассчитывают расстояния между экспозициями затвора АФА для того, чтобы фотографирование местности выполнялось через определенные интервалы с расчетом, чтобы аэрофотоснимки в маршруте перекрывали друг друга. Тогда на каждом следующем аэрофотоснимке частично будет изображаться площадь, заснятая на предыдущем. Перекрытие двух смежных снимков в одном маршруте называется *продольным перекрытием* P_x и должно быть не менее 60 % от размера снимка. Расстояние между маршрутами устанавливается таким образом, чтобы *поперечное перекрытие* снимков P_y было не менее 30 % (Рисунок 62).

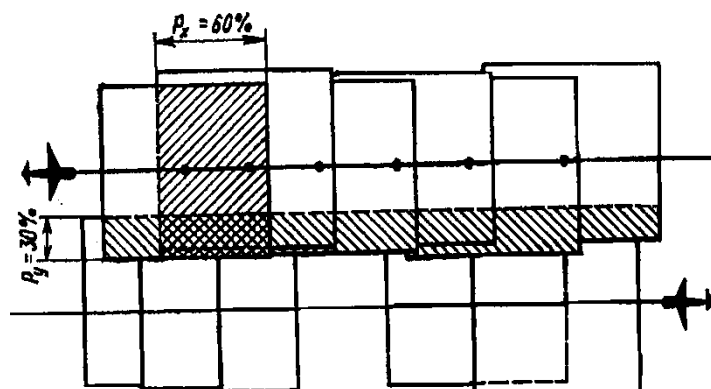


Рисунок 62 – Перекрытие снимков при аэрофотосъёмке

В результате продольного и поперечного перекрытия все снимки оказываются взаимосвязанными между собой. Два снимка одной и той же территории, полученные из разных точек пространства, называются *стереоскопической парой*.

АФС выполненная при отвесном положении оптической оси АФА (отклонение от вертикали не должно превышать 3°) называется *плановой*, а снимки – *плановыми*. Современные гиросtabilизирующие установки обеспечивают отклонение оптической оси от вертикали в пределах $15-30'$. Снимки получаемые с большим чем 3° отклонением оптической оси от вертикали являются *перспективными*.

Аэрофотоснимок представляет собой *центральную проекцию местности*. Если при съемке равнинной территории ось АФА занимает отвесное положение, то изображение на аэрофотоснимке подобно местности, а следовательно совпадает с ортогональной проекцией – *планом*. В таком случае масштаб изображения местности будет одинаков для всех частей снимка и будет равен отношению фокусного расстояния f к высоте летательного

аппарата H , т. е. $\frac{1}{M} = \frac{f}{H}$. Отношение длины отрезка на аэрофотоснимке S_a к длине этого же отрезка на местности S_m является *численным масштабом аэрофотоснимка*, т. е. $\frac{1}{M} = \frac{S_a}{S_m}$.

Масштаб перспективного снимка будет непостоянен, удаленные линии местности будут иметь более мелкий масштаб.

На масштаб аэрофотоснимка в целом влияет: отклонение оси аэрофотоаппарата от отвесного положения; рельеф земной поверхности, т. е. повышенные участки местности имеют более крупный масштаб и кривизна Земли – чем меньше масштаб съемки и больше охват территории, тем большее влияние она оказывает.

После окончания съемки пленка проявляется и нумеруются негативы, для чего в северо-восточном углу каждого аэрофотоснимка указываются номер снимка, шифр залета, время и дата производства аэрофотосъемки. Аэрофотоснимки изготавливают контактным способом.

С отпечатанных фотоснимков изготавливается *накидной монтаж*, т. е. производится последовательная накладка смежных снимков путем совмещения одинаковых контуров ситуации.

По накидному монтажу из аэроснимков производят оценку качества выполненных лётно-съёмочных работ: масштаб и процент продольного и поперечного перекрытий аэроснимков; прямолинейность и взаимную параллельность маршрутов; величину углов наклона оптической оси аэрофотоаппарата; правильность ориентирования аэроснимков по направлению аэрофотосъёмочных маршрутов.

1.10.2. Комбинированная съемка

Комбинированная съемка – это съемка местности на фотоплане, составленном из аэрофотоснимков методами фотограмметрии. Контурную часть карты или плана получают путем дешифрирования фотоизображения. Рельеф наносится на фотоплан непосредственно на местности методом мензульной съемки.

Общая технологическая схема съемки следующая: аэрофотосъемка; планово-высотная привязка снимков; фотограмметрическое сгущение опорной сети; трансформирование аэрофотоснимков и изготовление фотоплана; создание высотного обоснования; съемка рельефа; дешифрирование фотопланов.

Плановая и высотная привязка аэрофотоснимков заключается в определении плановых координат и высот опознавательных знаков (опознаков), необходимых для создания топографической карты. Опознаки могут быть плановыми, высотными и планово-высотными.

Плановые и высотные опознаки – это контурные, хорошо опознаваемые на снимках и местности точки, которые закреплены соответствующим образом.

Процесс определения плановых координат X и Y называется плановой привязкой аэрофотоснимков, а определение высот опознаков – высотной привязкой аэрофотоснимков.

Основные методы плановой привязки – теодолитные ходы, прямые и обратные засечки и метод триангуляции.

Высотную привязку аэрофотоснимков выполняют геометрическим нивелированием при съемке с высотой сечения 0,5 и 1,0 м, а при сечении рельефа 2 м и более допускается применение тригонометрического нивелирования. При выполнении высотной привязки опознаков определяют отметки урезов воды в реках и водоемах.

В целях экономии средств и времени выполняют не сплошную плановую привязку, а разреженную привязку, т. е. плановые опознаки определяют не на каждом, а через несколько снимков на маршруте. Остальные опознаки для каждого аэрофотоснимка получают камеральными методами фотограмметрического сгущения, одним из которых является *фототриангуляция*. Различают пространственную и плановую фототриангуляцию.

Пространственная фототриангуляция выполняется на стереопарах аэроснимков аналитическим способом на высокоточных стереофотограмметрических приборах с использованием ЭВМ, в результате чего получают три координаты (X, Y, H) сети сгущения.

В основе плановой фототриангуляции лежит свойство аэроснимка, как центральной проекции, где направления, проведенные из главных точек (точек пересечения координатных осей) плановых аэроснимков, практически свободны от искажений за рельеф и наклон снимка. При аналитическом способе на стереокомпараторах измеряют направления на главные, связующие, трансформационные точки и опознаки. Полученную сеть уравнивают и вычисляют плановые координаты всех пунктов.

При графическом способе направления на главные, связующие, трансформационные и опорные точки переносят с аэрофотоснимков на прозрачную основу. По опознакам, нанесенным на планшет (минимум двум) полученную сеть сгущения редуцируют, т. е. приводят к заданному масштабу на оптико-механических приборах – фоторедукторах. После этого на планшет переносят изображения всех центральных и трансформационных точек.

Трансформирование аэроснимков осуществляется с целью привязки их к масштабу составляемого плана и устранения искажений, вызванных наклоном снимков, разной высотой фотографирования и влиянием рельефа. Трансформирование выполняется на фототрансформаторах. Для этого на аэронегативе накалывают главную и все опорные точки (минимум четыре), имеющиеся на планшете. Движением кассеты фототрансформатора с негативом и экрана с планшетом добиваются совмещения проектируемых с аэронегатива точек с соответствующими точками планшета. Затем на планшет кладут фотобумагу и экспонируют негатив, получая трансформированное позитивное изображение. Рабочие части трансформированных снимков монтируют по

трансформационным пунктам на твердую основу с нанесенными опорными точками, с которой затем получают копии – фотопланы.

Производственно комбинированной съемки Высотное съемочное обоснование необходимо для определения высот точек установки мензулы. Съемочное обоснование создают проложением между опознаками основных и съемочных высотных ходов. Основные высотные ходы прокладывают между пунктами нивелирования IV или более высокого класса точности, а съемочные – между точками основных высотных ходов.

В зависимости от высоты сечения рельефа, как и при высотной привязке, применяют геометрическое или тригонометрическое нивелирование. Горизонтальное проложение при обработке высотного хода определяют по фотоплану графически. Все точки высотных ходов должны быть опознаны на фотоплане и местности. С каждой станции должна быть видимость на смежные точки; их выбирают на открытых участках с таким расчетом, чтобы было удобно вести съемку рельефа.

Съемку рельефа выполняют непосредственно на фотоплане с помощью мензулы и кипрегеля (КН, КА-2). Одновременно ведется его рисовка и дешифрирование ситуации. Мензулу устанавливают в съемочной точке и приводят в рабочее положение. Ориентируют планшет и измеряют высоту инструмента i . Ориентирование выполняют по четким надежно опознанным на фотоплане и местности объектам и контурам.

К выбранным высотным пикетам предъявляют те же требования, что и при мензульной съемке: они должны находиться на характерных линиях и точках рельефа (водоразделы, тальвеги, бровки, вершины и т. д.). Отметки пикетов будут определяться по формуле

$$H_{пк} = H_{ст} + h + i - v.$$

Если высотный пункт находится на четко опознанном контуре, то нет необходимости определять расстояние; его можно определить на фотоплане. Рельеф местности зарисовывают в поле на фотоплане горизонталями и условными знаками (овраги, промоины и др.).

1.10.3. Дешифрирование фотопланов и аэрофотоснимков

Дешифрированием называется процесс опознавания по фотографическому изображению на снимке отдельных предметов и объектов местности, границ контуров, а также определение их количественных и качественных характеристик с обозначением их соответствующими условными знаками.

В зависимости от назначения выделяют топографическое дешифрирование и тематическое (почвенное, геоботаническое, геологическое и др.)

Топографическое дешифрирование наиболее универсальное, т. к. охватывает все видимые компоненты ландшафта: гидрографию, растительность, населенные пункты, дороги и др.

В зависимости от принятой технологии изготовления топографических карт и планов дешифрирование выполняют на фотопланах и на аэроснимках.

При этом дешифрирование в зависимости от особенностей местности подразделяют на полевое, камеральное и комбинированное.

Полевое дешифрирование проводится путем визуального сличения фотоизображения всех контуров и объектов с местностью. Имеет высокую точность и современность, однако не является экономически выгодным.

Одновременно с полевым дешифрированием аэроснимков устанавливают названия населенных пунктов, урочищ и природных объектов, определяют скорость течения рек, глубину бродов, собирают данные о проходимости болот, характере растительного покрова и другие сведения.

Камеральное дешифрирование основано на применении дешифровочных признаков фотоизображения контуров местности характерных для тех или иных ландшафтных условий, при этом могут быть использованы фотограмметрические приборы, эталоны дешифрирования, разнообразные географические и другие материалы. Однако не все объекты могут быть отдешифрированы, т. к. не изобразились из-за своих малых размеров (колодцы, километровые столбы и т. п.). Кроме того, нельзя установить названия географических объектов.

Комбинированное дешифрирование состоит в том, что бесспорно опознаваемые элементы местности определяют камерально, а остальные дешифрируют непосредственно в полевых условиях.

Дешифрирование основано на анализе дешифровочных признаков, которые дают представление о содержании и характере объектов и контуров местности. Различают прямые и косвенные признаки дешифрирования.

К *прямым признакам* относятся – форма и размер объекта, тон и структура изображения, тень, отбрасываемая объектом. Форма контуров и объектов – это один из самых надежных признаков дешифрирования. Размеры дешифрируемых объектов часто уточняют представления об изображениях на аэроснимках. По форме и размерам легко отличить природные объекты от антропогенных.

Интенсивность тона зависит от условий освещенности, структуры объекта, его отражательной способности, типа фотографического материала. На цветных фотоснимках роль фототона или оптической плотности играет цвет. При спектральной съемке часто получают ложные цвета, что увеличивает возможность дешифрирования.

Структура изображения – это набор форм, размеров, тонов или цветов различных оттенков, которые формируют рисунок изображения.

По форме и размерам падающей тени можно установить вид объекта и его размеры.

Косвенные признаки дешифрирования основаны на многообразных взаимосвязях объектов, на использовании географических закономерностей между различными компонентами ландшафта, приуроченности объектов к определенному месту. Например, пересечение дороги с рекой часто указывает на наличие моста или брода.

Косвенные признаки имеют большое значение при тематическом дешифрировании.

Отдешифрованные в поле аэроснимки используют в качестве эталонов, сравнение с которыми позволяет проводить камеральное дешифрирование всех отдельных аэроснимков. При таком способе выполнения работ проводят полевое дешифрирование только населенных пунктов и объектов, не отобразившихся на аэроснимках (мостов, колодцев, линий электропередач и др.).

1.10.4. Понятие о стереотопографической съемке

Стереотопографическая съемка является одним из основных современных методов создания топографических карт для больших территорий.

В основе стереотопографической съемки лежит стереоскопическое зрение, т. е. способность человеческого глаза ощущать объемность пространства. Под объемной моделью понимается уменьшенная пространственная оптическая модель местности, которая возникает при рассмотрении двух перекрывающихся аэроснимков, образующих стереоскопическую пару (стереопару). Простейший стереоскоп – зеркально-линзовый, имеющий два внешних и два внутренних зеркала, наклоненных к плоскости горизонта под углом 45° . Между зеркалами расположены две сменные линзы для увеличения изображения на рассматриваемых снимках.

Для получения стереоскопической модели необходимо разместить снимки так, чтобы одноименные точки на снимках находились на линиях параллельных зрительному базису (линии соединяющей центры глаз) и передвигают их вдоль этого направления до получения объемной стереоскопической модели. При этом левый глаз должен находиться над левым снимком, а правый – над правым.

Обработка аэроснимков (съемка рельефа и проведение горизонталей) выполняется на стереофотограмметрических приборах, в основе которых лежит измерение продольных параллаксов. Продольный параллакс p – разность абсцисс одной и той же точки на левом x_l и правом x_n снимках стереопары, т. е. $p = x_l - x_n$.

При определении превышения h между двумя точками используется зависимость между разностью параллаксов Δp этих точек, высотой съемки H и базисом b между снимками, т. е. $h = \frac{\Delta p}{b + \Delta p} H$.

Стереофотограмметрическую обработку снимков можно выполнять двумя методами – дифференцированным и универсальным.

При дифференцированном методе отдельные этапы создания топокарт – сгущение опорной сети, фототрансформирование, изготовление фотопланов и рисовка горизонталей – выполняются на разных приборах разными исполнителями. Дешифрирование аэрофотоснимков производится комбинированным способом специалистами – дешифровщиками. Нарисованные на аэроснимках горизонталы и результаты дешифрирования переносятся на фотоплан, который затем оформляется соответствующим.

При универсальном методе все процессы по созданию топографической карты выполняются на одном высокоточном оптико-механическом приборе. На

универсальных приборах сгущается опорная сеть, трансформируется аэрофотоизображение. Результатом обработки является графический план, который автоматически строится на графопостроителе. Дешифрирование ситуации производится комбинированным методом.

1.10.5. Наземная фототопографическая (фототеодолитная) съемка

Наземной фототопографической (фототеодолитной) съемкой называется создание топокарт с определением пространственных координат точек местности по фотоизображениям, полученным при фотографировании с земной поверхности.

Фототеодолитная съемка применяется при картографировании небольших участков земной поверхности, главным образом горных районов, при изучении движения ледников, оползней, при съемке карьеров, при наблюдении за деформациями сооружений, т. е. для изучения динамических явлений и процессов.

Для съемки местности используют фототеодолит, представляющий собой сочетание теодолита с фотокамерой в совместном или раздельном исполнении. Если теодолит и фотокамера разделены, то фотокамера имеет ориентирующее устройство для придания оптической оси определенного положения по отношению к базису. Фототеодолитная съемка включает геодезические работы, фотографирование местности с точек базиса и составление плана.

Суть геодезических работ состоит в построении и измерении базиса и его геодезической привязке. Привязка осуществляется прокладкой теодолитных, нивелирных ходов и геодезическими засечками, в результате которых вычисляется дирекционный угол базиса, координаты левой точки и превышение правой точки над левой.

При фотографировании местности оптическую ось фотокамеры устанавливают перпендикулярной или равномерно отклоненной (со скосом) к базису. Дальность фотографирования (глубина съемки) должна быть больше в 4–20 раз длины базиса. Фотографирование производится на стеклянные пластинки с мелкозернистой эмульсией.

В результате фотографирования и последующей фотообработки материалов получают два снимка с перекрытием, называемых стереопарой. Для определения координат отдельных точек местности при составлении топографического плана по стереопаре производят измерения на *стереокомпараторах*.

1.11. ОРИЕНТИРОВАНИЕ НА МЕСТНОСТИ

Под ориентированием на местности понимают совокупность действий по определению своего местоположения (точки стояния) относительно окружающих объектов и определение направлений сторон горизонта.

Существуют различные способы ориентирования: по описаниям местности, по топографическим картам и по аэрофотоснимкам. Независимо от способа сущность ориентирования сводится к опознанию окружающих

местных предметов, определению местоположения точки стояния, направлений, расстояний до тех или иных ориентиров.

В процессе ориентирования используют простейшие способы определения расстояний: по линейным размерам предметов, глазомерное определение, промер шагами и др.

Сущность способа определения расстояний *по линейным размерам предметов* объясняется из рисунка 63. На расстоянии вытянутой руки (≈ 50 см) перпендикулярно лучу зрения, определяют величину отрезка линейки mn , закрывающего наблюдаемый объект MN , высота (размеры) которого известны.

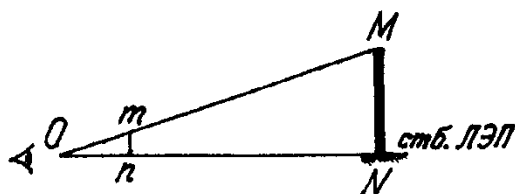


Рисунок 63 – Определение расстояний по линейным размерам предметов

Из подобия треугольников Omn и OMN имеем $\frac{ON}{MN} = \frac{On}{mn}$, откуда искомое расстояние ON будет равно $\frac{MN \cdot On}{mn}$. Относительная ошибка определения расстояния колеблется в пределах $5 \div 10\%$.

Наиболее быстрый, но требующий большого опыта способ определения расстояний – *глазомерный*. Применение этого способа возможно при систематических упражнениях по развитию глазомера. В зрительной памяти фиксируют расстояния, с круглыми числами, которые в дальнейшем используются как эталоны. Относительная ошибка глазомера возрастает с увеличением длины измеряемой линии.

Несколько менее точную оценку результатов получают при определении расстояний по степени видимости различных объектов. При условии нормального зрения необходимо еще знать предельные расстояния видимости объектов (Таблица 13) и учитывать некоторые факторы, влияющие на точность определения расстояний. К таким факторам относятся: освещенность и характер местности, размеры объектов, контраст объектов с окружающим фоном и др.

Таблица 13 – Предельные расстояния видимости объектов

Наблюдаемый объект	Расстояние
Трубы заводов	6 – 10 км
Небольшой дом	4 – 5 км
Трубы на крышах домов	до 2 км
Телеграфные столбы	1 км

Фигура человека	1 км
Голова человека	0,4 км

Наиболее простой способ определения расстояний – *промер шагами*. Для этого необходимо знать длину шага, которую устанавливают путем неоднократного прохождения известного расстояния. Кроме того, длина шага человека *Ш* зависит от его роста *Р* и может быть приближенно вычислена по эмпирической формуле

$$Ш = \frac{Р}{4} + 37 \text{ см}.$$

Обычно расстояние определяют парами шагов, счет которых при промере ведут под какую-либо определенную ногу (правую или левую).

Меньшими, чем в действительности представляются расстояния:

- до ярко освещенных предметов на темном фоне;
- в ясную погоду и при восходе солнца;
- через водные пространства (противоположный берег кажется ближе, чем в действительности);
- до горных массивов.

Большими, чем в действительности кажутся расстояния в сумерки, в тумане и при закате солнца, до небольших объектов, а также при дождливой и пасмурной погоде.

Стороны горизонта и направления на ориентиры определяются с помощью компаса, состоящего из круглой латунной или пластмассовой коробки, в центре которой на стальной игле вращается намагниченная стрелка. В корпусе компаса помещена круговая шкала градусных делений. Самым распространенным является компас Андриянова. Он имеет вращающуюся крышку со стеклом и визирным приспособлением, состоящим из прорези и мушки.

Чтобы измерить магнитный азимут надо стать лицом к ориентиру, отпустить тормоз стрелки, дать ей успокоиться и совместить нулевой штрих лимба с северным направлением стрелки. Затем, визируя крышкой компаса по направлению снимают отсчет у мушки визирного приспособления, который и будет величиной магнитного азимута.

1.11.1. Ориентирование по карте

Ориентировать карту – означает привести ее в такое положение, при котором линии соединяющие объекты на карте, будут параллельны этим линиям на местности.

Ориентирование карты может быть выполнено по линиям местности, визированием на ориентир или по компасу.

Ориентирование карты по линиям местности может быть выполнено в том случае, если точка стояния находится на прямолинейном объекте: дороге, просеке, телеграфной линии и т. д. Для этого карту поворачивают пока направление на ней не совпадет с его направлением на местности. Правильность ориентирования следует сверять по объектам местности, находящихся влево и вправо от прямолинейного объекта.

Ориентирование карты по направлению проводится, когда известна точка стояния.

Ориентирование по компасу применяется в лесу и в районах с недостаточным количеством ориентиров. Компас прикладывают к карте и вращают ее до тех пор, пока линия $0-180^\circ$ не совпадет с боковой минутной рамкой. Если известно магнитное склонение, то линия $0-180^\circ$ должна быть параллельна боковой стороне рамки, а северный конец стрелки должен отклониться на величину магнитного склонения к западу или востоку.

Точка стояния на карте определяется отождествлением карты с местностью глазомерно по ближайшим ориентирам, промером расстояний и засечками. Наиболее простым и точным является способ Болотова. На прозрачной кальке, расположенной неподвижно на плоскости, с произвольной точки в центре прочерчивают направления по визирной линейке на 3–4 видимых объекта на местности, которые изображены на карте. Направления на эти объекты подписывают. После этого кальку накладывают на карту и двигают до тех пор, пока прочерченные на ней направления не совпадут с соответствующими объектами на карте. Точку перекалывают на карту.

При движении сличение карты с местностью состоит в сравнении местных объектов с их изображением на карте. Процесс сравнения карты с местностью обычно проводится по принципу от общего к частному: вначале отождествляют наиболее крупные объекты, находящиеся в поле зрения наблюдателя, затем переходят к более мелким.

Ориентирование с картой при движении на местности, например, при походах состоит из следующих операций: изучение местности по карте и выбор маршрута, выбор ориентиров и расчет времени пути, детальное ориентирование в начальном пункте маршрута, сохранение ориентировки в пути и выход к конечному пункту. Предварительно местность изучается в камеральных условиях, оценивается проходимость местности, выбирается трасса пути, определяются ориентиры и магнитные азимуты. Карту во время движения держат перед собой ориентированной по направлению маршрута.

1.11.2. Определение сторон горизонта по небесным светилам и местным предметам

По положению Солнца, Луны, звезд можно определить направление меридиана, а от него направление на любой предмет.

Угловая скорость видимого перемещения Солнца в средних и высоких широтах составляет примерно 15° в час. В 7 часов местного времени оно находится на востоке, в 13 часов – на юге, в 19 часов – на западе.

Направления сторон горизонта можно определить с помощью часов. Часы размещают горизонтально, направив часовую стрелку на Солнце (Рисунок 64а).

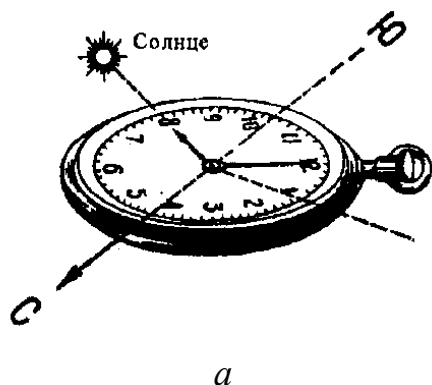


Рисунок 64 – Ориентирование по часам (а) и звёздам (б)

Биссектриса угла от часовой стрелки до цифры 1ч. укажет южное направление. Луна в полнолуние движется относительно Земли в одном направлении с Солнцем. В этом случае направление север–юг можно определить ночью с помощью часов описанным выше способом.

Ночью при ясном небе не сложно определить северное направление по Полярной звезде. Для этого надо отыскать Большую Медведицу и по направлению крайних звезд ковша отложить примерно 5 таких расстояний (Рисунок 64б).

Определение сторон горизонта по местным предметам менее точное, чем по небесным светилам. Большинство естественных примет связано с изменением солнечного освещения.

У многих деревьев кора с северной стороны грубее чем с южной и на ней больше трещин. На соснах и елях смола чаще вытекает с южной стороны. Лишайники преимущественно развиваются на северной стороне стволов деревьев. Крупные валуны покрыты мхом с северной стороны. Муравейники чаще располагаются с южной стороны пней и деревьев. На склонах южной экспозиции снег тает быстрее.

В больших лесных массивах просеки прорубают по направлениям меридианов и параллелей.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Измерения на топографических картах

Практический раздел направлен на закрепление знаний и умений, формирование навыков практической работы, овладение формами и методами познания, используемыми при изучении учебного курса «Топография с основами геодезии». Содержание данного раздела отражает основные аспекты, дополняя теоретические и практические вопросы для детального их рассмотрения и закрепления. Структура отражает последовательность изложения материала, принятую в учебной программе.

Практический раздел содержит темы и варианты лабораторных работ, выполняемых по топографическим картам, роль которых незаменима в подготовке специалиста-географа. Варианты заданий по темам 1-5 данного подраздела содержатся в электронной библиотеке БГУ [20]. Работа с топографическими картами разных масштабов, имеющих высокую геометрическую точность, формирует наглядное представление о картографической генерализации содержания, о способах изображения объектов и явлений.

Одной из задач практического раздела является самостоятельность выполнения заданий для чего в содержании имеются теоретические положения и подробные методические указания с необходимыми расчетными формулами и конкретными примерами их выполнения и решения. По каждому заданию разработаны индивидуальные варианты. Каждое задание подразумевает развитие у студентов пространственного мышления через представление как трёхмерных объектов на двумерной плоскости, так и взаимосвязи и взаиморасположения невидимых направлений ориентирования на местности, а также проецирование рельефа на поверхность эллипсоида.

2.1.1. Масштабы. Измерение прямых и кривых линий на топографических картах

Цель задания – научиться пользоваться поперечным масштабом и измерить на картах прямые и кривые линии с требуемой точностью.

Масштабом называется отношение длины линии на карте или плане к горизонтальному проложению соответствующей линии на местности. Выражение масштаба может быть численным (1:50000), именованным (в 1 см 500 м) и линейным (простым и особым, который называют поперечным).

Если знаменатель численного масштаба разделить на 100, то получится число, которое укажет сколько метров местности по прямой в горизонтальном проложении содержится в одном сантиметре карты.

Масштаб топографической карты можно определить следующим образом:

1. По номенклатуре (Таблица 14).

Таблица 14 – Определение масштаба карты по номенклатуре.

Номенклатура	Масштаб карты
N - 35	1:1 000 000
N – 35 – Б	1:500 000
N – 35 – XII	1:200 000
N – 35 – 120	1:100 000
N – 35 – 120 – В	1:50 000
N – 35 – 120 – В – г	1:25 000
N – 35 – 120 – В – г – 4	1:10 000
N – 35 – 120 – (192)	1:5 000
N – 35 – 120 – (192 – д)	1:2 000

2. По километровой сетке (Таблица 15).

Таблица 15 – Определение масштаба карты по километровой сетке.

Расстояние между километровыми линиями на карте, см	Расстояние на местности, км	Масштаб карты
2	4	1:200 000
2	2	1:100 000
2	1	1:50 000
4	1	1:25 000
10	1	1:10 000
10	0,5	1:5 000

3. По линейной величине минутного интервала дуги меридиана на карте. Линейная величина одной минуты дуги меридиана составляет на местности 1852 м.

Пример. Длина одной минуты дуги меридиана на карте составляет 7,4 см. Знаменатель масштаба будет равен ($185200 \text{ см} : 7,4 = 25\ 000$). Таким образом, масштаб карты - 1:25 000.

4. По километровым столбам.

5. По ширине реки, подписанной на карте.

6. По известному расстоянию местности между двумя пунктами.

Для измерения длин прямых линий на карте и их откладывания используют особый линейный масштаб. Его называют поперечным или трансверсальным. Строят его следующим образом. Вычерчивают прямую линию и разбивают ее на равные части, например, через 2 см. Из полученных точек восстанавливают перпендикуляры и крайние из них делят на равные части, например, на 10. Через них проводят горизонтальные линии, параллельные начальной прямой (рис 2.1.).

Левый крайний отрезок АВ и верхний А'В' делят на 10 равных частей и полученные точки соединяются наклонными линиями (трансверсалиями). Левую последнюю часть, разбитую на мелкие отрезки, называют основанием

масштаба. По нижней линии АВ отрезки будут составлять десятые доли, а при движении вверх – сотые доли основания масштаба.

Для определения длин с помощью поперечного масштаба в раствор измерителя заключают измеряемый отрезок и устанавливают на нижней линии масштабной линейки таким образом, чтобы правая игла измерителя находилась на одной из вертикальных линий, а левая в пределах разграфленного (левого) основания масштаба. Затем двигают вверх до совпадения левой иглы циркуля с одной из наклонных линий, при этом обе иглы должны находиться на одной горизонтальной линии (Рисунок 65).

По цифровым подписям линий, на которых располагаются иглы измерителя, определяется количество целых оснований и его десятые и сотые доли. Зная величину основания в масштабе карты, определяют длину измеряемого отрезка.

Пример. Раствор измерителя оказался равным 3 основаниям, 6 десятым и 7 сотым основания, т.е. 3,67 основания масштаба. Измерение проводилось по карте масштаба 1:25 000, с длиной основания - 2 см. Одно основание в данном масштабе составляет 500 м. Таким образом, длина линии будет равна 1835 м ($3 \cdot 500 \text{ м} + 6 \cdot 50 \text{ м} + 7 \cdot 5 \text{ м} = 1835 \text{ м}$ или $3,67 \cdot 500 \text{ м} = 1835 \text{ м}$).

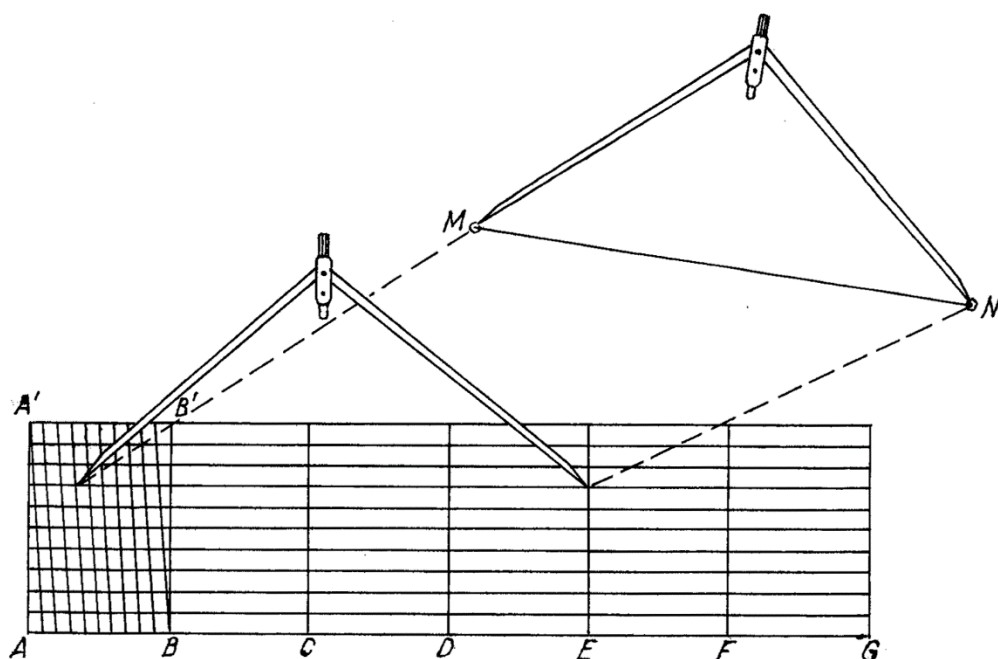


Рисунок 65 – Измерение расстояний с помощью поперечного масштаба.

Для того, чтобы по поперечному масштабу отложить отрезок заданной длины, в масштабе карты определяют величину основания. Разделив заданную длину на величину основания в масштабе карты, получают количество целых, десятых и сотых долей основания.

Пример. Отложить на карте масштаба 1 : 10 000 отрезок, равный 654 м. Основание поперечного масштаба равно 2 см, что в масштабе карты составляет 200 м. Тогда на карте отрезок, соответствующий 654 м будет равен 3,27

основания ($654 \text{ м} : 200 \text{ м} = 3,27$). Решение сводится к взятию этой величины измерителем по поперечному масштабу и переносу его на карту.

Чтобы упростить вычисления, в настоящее время выпускаются масштабные линейки с разной линейной величиной основания. Это сделано с той целью, чтобы одно основание, назовем его коэффициентом, составляло в масштабе определенной карты единицу с нулями. Тогда десятая часть основания будет на порядок, а сотая на два порядка меньше, чем все основание, и вычисления будут выполняться автоматически. Так, для карт масштабов 1:100 000, 1:10 000 и 1:1 000 лучше подходит основание, равное 1 см; для карт 1:200 000 и 1:2 000 - 5 см; для карт 1:500 000, 1:50 000 и 1:5 000 - 2 см; для карт 1:25 000 - 4 см. В таблице 16 указаны длина и величина основания, которые лучше подходят для карт конкретного масштаба.

Таблица 16 – Масштабы карт и используемые основания.

Масштаб карты	Величина основания, см	Длина основания в масштабе карты, м
1:500 000	2	10 000
1:200 000	5	10 000
1:100 000	1	1 000
1:50 000	2	1 000
1:25 000	4	1 000
1:10 000	1	100
1:5 000	2	100
1:2 000	5	100
1:1 000	1	10

Точность откладывания и измерения отрезков по поперечному масштабу ограничиваются пределом, равным 0,1 мм (округленная величина разрешающей способности человеческого глаза). Этот отрезок называется графической точностью масштаба, а расстояние на местности, соответствующее 0,1 мм на карте - предельной точностью масштаба карты. Это максимальная точность, которая теоретически возможна при измерениях и откладывании расстояний на карте. Предельная точность измерений (в метрах) по картам масштабов будет следующая: 1: 5 000 – 0,5 м; 1: 10 000 – 1 м; 1: 25 000 – 2,5 м; 1: 50 000 – 5 м; 1: 100 000 – 10 м; 1: 200 000 – 20 м; 1: 500 000 – 50 м.

Погрешности съемочных работ, графических построений планов и карт, деформация бумаги, ее помятость и другие причины оказывают влияние на точность измеренных линий. Поэтому точность измерения линий на топографических планах и картах характеризуется 3-5-кратной предельной точностью масштаба.

При измерении кривых линий используется циркуль-измеритель с малым раствором. Для этого рекомендуется применять циркули с микрометрическим винтом, стягивающим их иглы. Прежде чем начать работу таким измерителем, в масштабе карты определяется его цена деления или

величина раствора измерителя (так в масштабе 1:10 000 цена раствора в 2 мм будет равной 20 м). Этот раствор укладывается последовательно один за другим вдоль измеряемой линии. Количество растворов, уложившихся в пределах измеряемой линии, умноженное на цену раствора, будет длиной линии в метрах или километрах.

Однако измерения кривых линий циркулем с малым раствором не дают истинных длин ввиду генерализации этих линий и измерения не извилин, а хорд, которые их стягивают. Поэтому часто используют эмпирические формулы. Одна из первых была предложена Н.М. Волковым: $l = l_1 + \sqrt{\frac{d_1}{d_2 - d_1}} \cdot l_2$, где l_1 и l_2 - длины, измеренные циркулем с раствором d_1 и d_2 , а K определяется по формуле: $K = \frac{\sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2} - \sqrt{d_1}}$, причем $d_2 > d_1$.

2.1.2. Определение прямоугольных и географических координат точек на топографических картах

Цель задания - приобрести навыки определения прямоугольных и географических координат объектов на топографических картах.

Прямоугольными координатами называются линейные величины, определяющие положение точки на плоскости. На топографических картах, построенных в равноугольной проекции Гаусса-Крюгера, каждая геодезическая зона имеет самостоятельную систему прямоугольных координат. Средний (осевой) меридиан зоны и экватор в этой проекции изображаются прямыми линиями, которые приняты соответственно за ось абсцисс X и ось ординат Y . Таким образом, положение любого пункта определяется абсциссой X - расстоянием от экватора до пункта и ординатой Y - расстоянием от осевого меридиана зоны.

Для того, чтобы все ординаты имели положительное значение за их начало принято 500 км. Таким образом, началом координат в каждой геодезической зоне являются величины $X_0 = 0$ км, $Y_0 = 500$ км. Для того, чтобы знать, в какой геодезической зоне находится определяемый пункт, впереди ординаты ставится номер зоны. Если, например, $Y = 6\,270\,845$ м, то это означает, что пункт находится в шестой зоне, в 229 155 м к западу от осевого меридиана ($500\,000$ м – $270\,845$ м = $229\,155$ м).

Для определения прямоугольных координат и нанесения точек по заданным координатам на топографических картах имеется координатная (километровая) сетка. Вертикальные линии сетки параллельны осевому меридиану зоны, а горизонтальные - экватору. Полная подпись абсцисс и ординат этих линий даются вблизи углов карты ($66^{\circ}43'12''$), остальные подписывается сокращенно двумя последними цифрами ($67;13$ и т.д.). Прямоугольные координаты определяют с помощью поперечного масштаба и циркуля-измерителя.

Чтобы определить абсциссу точки, необходимо измерить кратчайшее расстояние (по перпендикуляру) в метрах от точки до южной координатной линии и прибавить к значению координатной линии, выраженной в км. Для

определения ординаты точки измеряют расстояние в метрах по перпендикуляру от точки до западной координатной линии и прибавляют к полному значению ординаты выраженной в км (Рисунок 66).

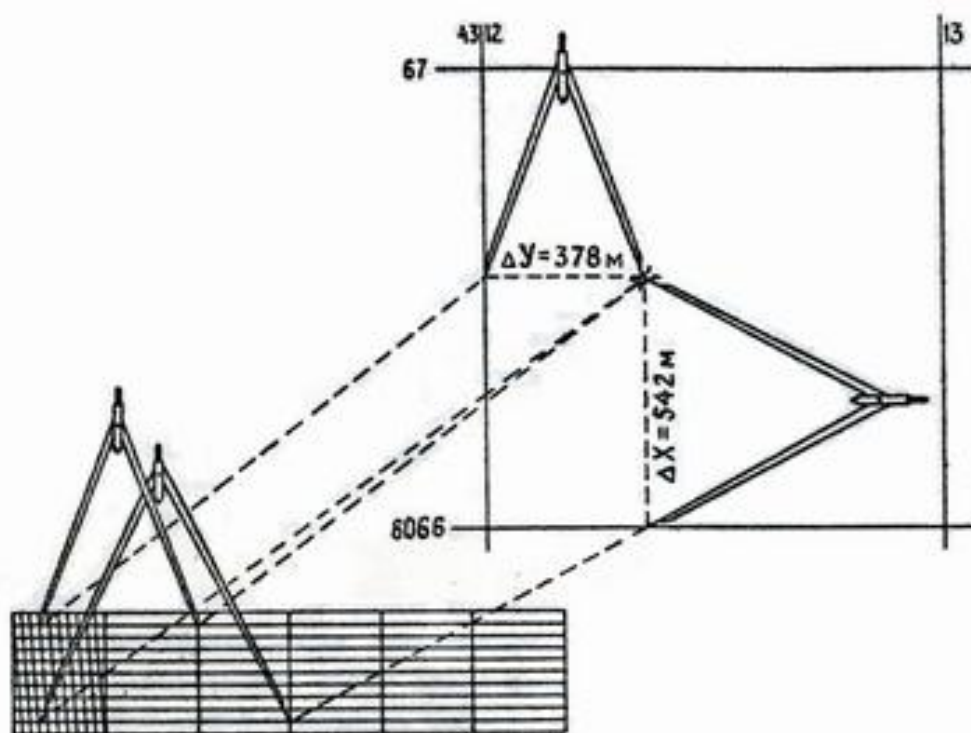


Рисунок 66 – Определение прямоугольных координат.

Таким образом, можно записать, что $X = X_{ю} + \Delta X$ и $Y = Y_з + \Delta Y$, где $X_{ю}$ и $Y_з$ – абсцисса южной и ордината западной координатных линий квадрата, в котором находится точка; ΔX , ΔY – расстояние от точки до южной и западной координатных линий.

В случае неполных квадратов, определения можно выполнять от ближних северной и восточной координатных линий, но измеренные величины следует вычитать от значений координат этих линий.

Пример. По карте У-34-37-В-в-4 (Снов) определить прямоугольные координаты моста в квадрате 6612. Длина основания поперечного масштаба – 2 см.

В раствор измерителя заключается расстояние от моста до южной координатной линии по перпендикуляру к ней и по поперечному масштабу определяют значение ΔX , которое равно 542 м. Эта величина приписывается к абсциссе $X_{ю}$ южной координатной линии. В результате получим значение абсциссы моста $X = 6\,066\,542$ м. Ордината $Y_з$ западной координатной линии равна 4312 км, расстояние ΔY от нее до моста, определенное по величине раствора измерителя, равно 378 м. Следовательно, значение ординаты моста $Y = 4\,312\,378$ м. Таким образом, прямоугольные координаты моста будут иметь значения: $X = 6\,066\,542$ м, $Y = 4\,312\,378$ м.

Для нахождения на карте объекта с заданными координатами сначала нужно определить, в каком квадрате расположен объект. Третья и четвертая цифры в значениях абсциссы и ординаты указывают квадрат в котором

расположен объект, а по величине остальных цифр - ΔX и ΔY . Пользуясь измерителем и поперечным масштабом, находят положение объекта.

Пример.

По карте У-34-37-В-в (Снов) установить объект, имеющий координаты: $X=6\ 071\ 890$ м, $Y=4\ 313\ 620$ м.

На карте определяют квадрат в котором находится объект – 7113. По поперечному масштабу измерителем берут раствор ΔX , равный 890 м. Эту величину по западной и восточной линиям квадрата откладывают к северу от координатной линии 6071. Через полученные точки проводят карандашом линию, на которой от координатной линии 4313 к западу откладывают расстояние ΔY , равное 620 м. В этом месте располагается дом лесника (7113).

В системе **географических (геодезических) координат** положение точки определяется относительно плоскости земного экватора и плоскости меридиана, принятого за начальный (Гринвичский меридиан).

Для определения географических координат объектов используют минутную рамку и подписи широты и долготы углов внутренней рамки, которая представляет собой отрезки дуг меридианов и параллелей. Кроме того, минутные отрезки точками разделены на 6 частей, величина которых составляет 10". Существует несколько способов определения географических координат.

Способ 1. Прямыми линиями соединяют одноименные минутные деления значений широты (41' и 42') и долготы (05' и 06') (рис. 2.3). Таким образом, выделится одномоментная трапеция. Через определяемую точку N проводят меридиан АВ и параллель CD.

Географические координаты можно вычислить по формулам:

$$B_N = B_{Ю} + \Delta B \text{ и } L_N = L_3 + \Delta L, \text{ где}$$

$B_{Ю}$ - широта южной параллели трапеции;

L_3 - долгота западного меридиана трапеции;

ΔB и ΔL - приращения географических координат в секундах (").

Чтобы определить значения ΔB и ΔL необходимо измерить длину одномоментных отрезков меридиана АВ и параллели CD, а также отрезки AN и CN, соответствующие ΔB и ΔL (Рисунок 67). По отношениям :

$$\frac{AN}{AB} = \frac{\Delta B''}{60''} \text{ и } \frac{CN}{CD} = \frac{\Delta L''}{60''},$$

$$\text{получим, что } \Delta B'' = \frac{AN \cdot 60''}{AB} \text{ и } \Delta L'' = \frac{CN \cdot 60''}{CD}$$

Пример. Пусть $AN = 119$ мм, $AB = 184$ мм, $CN = 52$ мм, $CD = 107$ мм, $B_{Ю} = 52^\circ 41'$, $L_3 = 18^\circ 05'$.

Вычисляем географические координаты точки N.

$$B_N = 52^\circ 41' + \frac{119 \cdot 60''}{184} = 52^\circ 41' 38,5''.$$

$$L_N = 18^\circ 05' + \frac{52 \cdot 60''}{107} = 18^\circ 05' 30,5''.$$

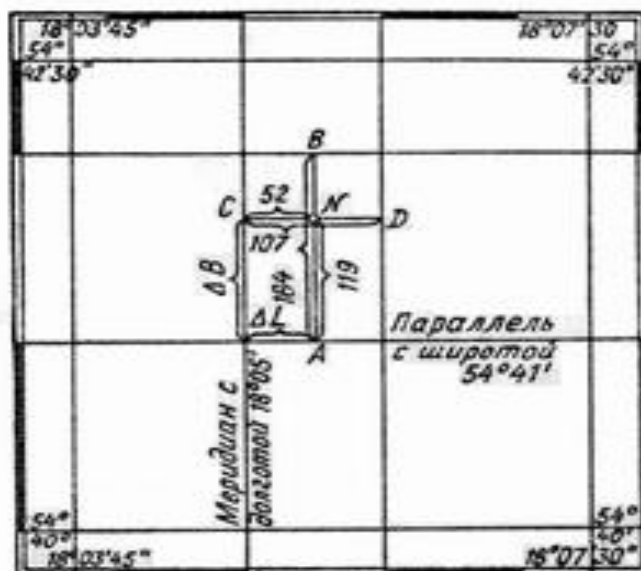


Рисунок 67 – Определение географических координат.

Способ 2. Географические координаты объектов можно определить без дополнительных построений с помощью прямоугольного треугольника (Рисунок 68).

Для этого треугольник малым катетом прикладывают к боковой минутной рамке таким образом, чтобы второй катет находился на точке F. По этому катету и минутной рамке находят широту. Величину части отрезка, равного 10" определяют на глаз. Аналогично получают долготу пункта F. Таким образом, географические координаты пункта F будут: $B_F = 54^\circ 41' 28''$ и $L_F = 18^\circ 05' 15''$.

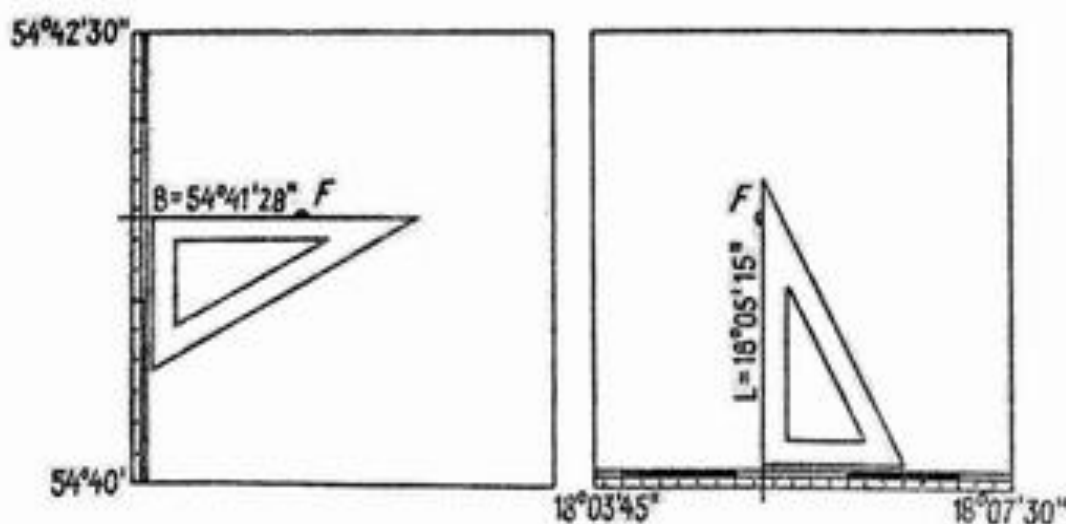


Рисунок 68 – Определение географических координат.

Если определяемый пункт находится вблизи рамок карты (до 12 см), то циркулем-измерителем можно взять кратчайшее расстояние от пункта до внутренних рамок (меридиана и параллели) и перенести (спроецировать) взятый раствор на минутную рамку. Широту и долготу пункта определяют на глаз аналогично предыдущему способу.

По географическим координатам можно определить, какой объект на карте им соответствует. Для этого линейку прикладывают к западной и восточной

минутным рамкам согласно данной широты пункта и прочерчивают параллель; затем используя северную и южную минутные рамки аналогично проводят меридиан. Точка их пересечения укажет объект.

2.1.3. Полярная система координат. Азимуты, дирекционные углы и взаимосвязь между ними

Цель задания - усвоить приемы определения углов направлений на топографических картах и зависимости между дирекционными углами, географическими и магнитными азимутами.

Система координат, в которой положение точки (объекта) относительно известного (исходного) направления определяется измеренным углом и расстоянием до объекта, называется полярной.

В топографии в качестве исходных направлений принимаются географический, магнитный и осевой (геодезической зоны) меридианы. Полярные углы, образованные указанными меридианами и направлением на объект, соответственно называются: географический азимут, магнитный азимут и дирекционный угол.

Географический азимут A - это горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от 0° до 360° от северного направления географического меридиана, проходящего через данную точку до ориентированного направления на объект.

Магнитный азимут A_m - это горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от 0° до 360° от северного направления магнитного меридиана до ориентированного направления на объект.

Направления географического и магнитного меридианов не совпадают, они образуют в данной точке угол, который называется склонением магнитной стрелки и обозначается буквой δ .

Если магнитная стрелка отклоняется от географического меридиана к востоку, то магнитное склонение называется восточным и имеет знак плюс, а если к западу - западным (со знаком минус).

Для перехода от магнитного азимута (его можно определить на местности по компасу) к географическому и обратно (Рисунок 69) надо знать величину магнитного склонения и его знак: $A = A_m + (\pm\delta)$; $A_m = A - (\pm\delta)$.

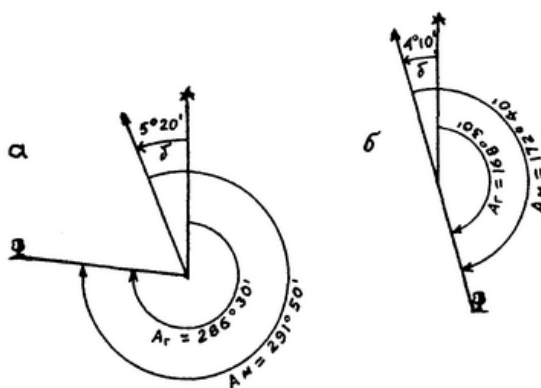


Рисунок 69 – Связь между азимутами магнитным и истинным.

Примеры: 1. $A = 286^{\circ}30'$, $\delta = -5^{\circ}20'$. Перевести географический азимут в магнитный (рис. 2.4а): $A_m = 286^{\circ}30' - (-5^{\circ}20') = 291^{\circ}50'$.

2. $A_m = 172^{\circ}40'$, $\delta = -4^{\circ}10'$. Перевести магнитный азимут в географический (рис. 2.4б): $A = 172^{\circ}40' + (-4^{\circ}10') = 168^{\circ}30'$.

Дирекционным углом α называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от 0° до 360° от северного направления осевого меридиана геодезической зоны или вертикальных линий координатной сетки до данного ориентированного направления. Угол, образованный вертикальной линией координатной сетки и географическим меридианом данной точки, называют сближением меридианов γ . Сближение меридианов может быть восточным (положительным), если северное направление вертикальных линий сетки отклоняется к востоку от географического меридиана и западным (отрицательным), если северное направление вертикальных линий отклоняется к западу от географического меридиана.

Величина сближения меридианов в геодезической зоне (Гауссова сближение) изменяется от 0° на экваторе до минус 3° на полюсе и может быть вычислена по формуле: $\gamma = (L_T - L_0) \sin B_T$, где: B_T – широта точки; L_T и L_0 – долгота точки и долгота осевого меридиана.

Зависимость между географическим азимутом и дирекционным углом выражается следующими формулами: $A = \alpha + \gamma$ и $\alpha = A - \gamma$.

Для измерения дирекционных углов направлений на карте используется транспортир. Он накладывается таким образом, чтобы центр его совпадал с точкой пересечения определяемого направления АВ и вертикальной координатной линией сетки, а деления 0° и 180° транспортира совпали с этой линией. По шкале транспортира отсчитывается угол по ходу часовой стрелки от северного направления вертикальной линии координатной сетки до ориентированного направления АВ (Рисунок 70).

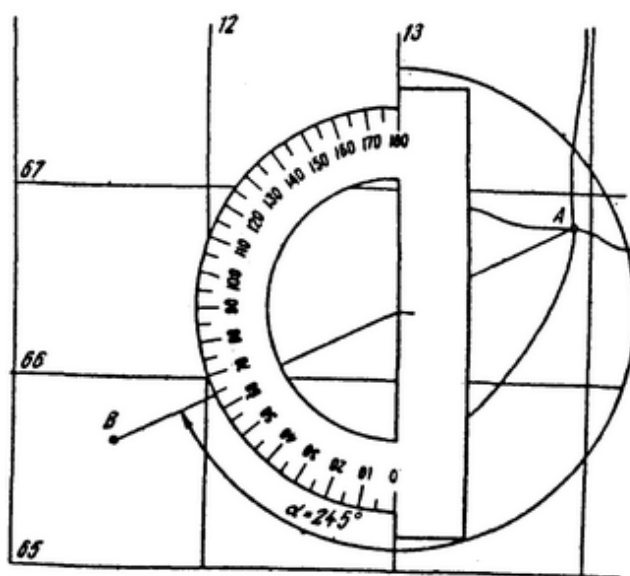


Рисунок 70 – Измерение дирекционного угла.

Для перехода от дирекционного угла α к магнитному азимуту A_m и обратно необходимо знать величины сближения меридианов γ и магнитного склонения δ . Вычисления выполняются по формулам:

$$A_m = \alpha - (\pm \delta) + (\pm \gamma) \text{ и } \alpha = A_m + (\pm \delta) - (\pm \gamma).$$

Пример. $\alpha = 65^\circ 40'$; $\delta = -5^\circ 30'$; $\gamma = 2^\circ 10'$. Определить магнитный азимут A_m (рис. 2.6). $A_m = 65^\circ 40' - (-5^\circ 30') + (2^\circ 10') = 73^\circ 20'$.

Угол между магнитным меридианом точки и осевым меридианом зоны или вертикальной линией сетки называют поправкой направления Π , которая вычисляется по формуле: $\Pi = (\pm \delta) - (\pm \gamma)$. Поэтому предыдущие формулы можно записать в следующем виде: $A_m = \alpha - \Pi$ и $\alpha = A_m + \Pi$.

Чтобы яснее представлять переход от дирекционных углов к магнитным азимутам и обратно, на рисунке 71 приводятся шесть возможных случаев взаимного расположения направлений магнитного меридиана и вертикальной линии координатной сетки относительно географического меридиана.

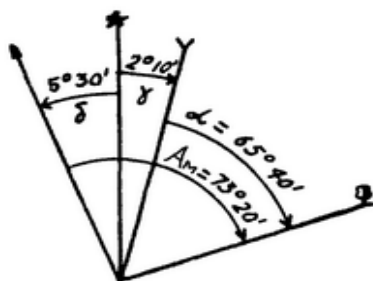


Рисунок 71 – Определение магнитного азимута по дирекционному углу.

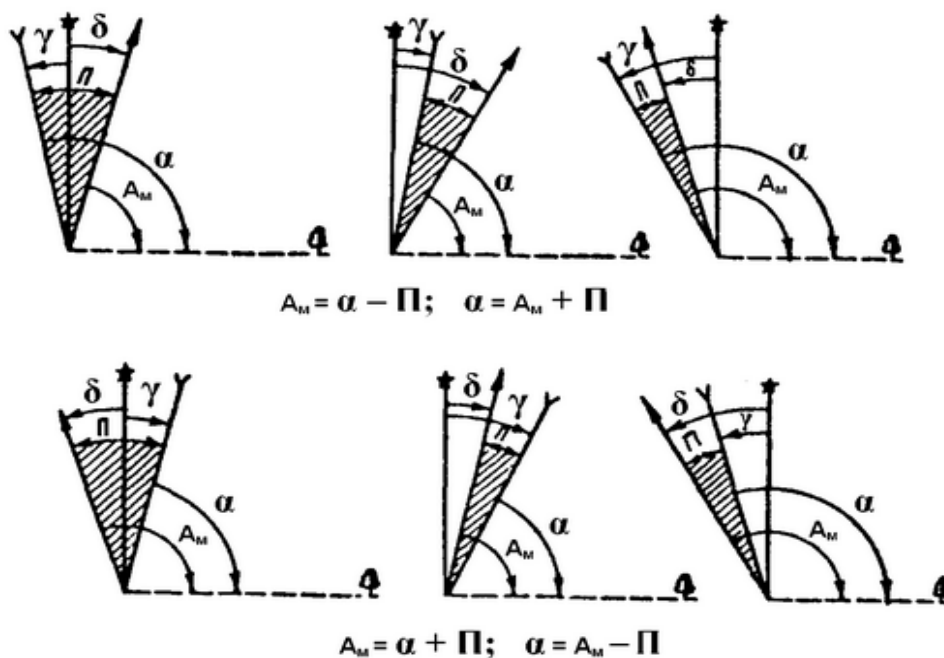


Рисунок 72 – Различные варианты ориентировки основных направлений относительно друг друга.

На топографических картах под южной рамкой к западу приводится схема взаимного расположения географического, магнитного и осевого меридианов, т.е. указываются величины склонения магнитной стрелки δ и сближения меридианов γ . Поэтому, измерив транспортиром дирекционный угол α , легко вычислить географический A и магнитный A_m азимуты направлений. Магнитные азимуты направлений необходимо знать при движении по маршруту, т.к. маршрут для движения прокладывается по топографической карте с вычислением дирекционных углов.

2.1.4. Изображение рельефа на топографических картах. Задачи, решаемые на картах с горизонталями

Цель задания – усвоить сущность изображения рельефа на топографических картах и научиться решать задачи с горизонталями по карте.

Топографическая карта дает трехмерное представление о местности, позволяя определять положение различных точек и объектов не только в горизонтальной плоскости, но и по высоте.

Чтобы отчетливо представлять местность на карте, необходимо хорошо разбираться в изображении на ней рельефа, уметь определить по карте: а) виды неровностей земной поверхности, их взаимное положение и связь между собой; б) взаимное превышение и абсолютные высоты точек местности; в) формы, крутизну и протяженность склонов.

Рельеф земной поверхности представляет собой сложное сочетание пространственных форм, отличающихся друг от друга внешними очертаниями, размерами, высотой, отношением к плоскости горизонта и некоторыми другими свойствами.

По отношению к плоскости горизонта формы рельефа подразделяются на положительные, имеющие выпуклую поверхность и возвышающиеся над окружающей местностью (гора, горный хребет, увал) и отрицательные с вогнутой поверхностью и образующие понижения местности (долина, овраг, балка, лощина, котловина).

Формы рельефа характеризуются основными орографическими линиями, дающими представление о степени расчлененности рельефа и составляющими как бы скелет неровностей местности (скелетные линии рельефа). Такими линиями являются: *водораздел* – линия или полоса местности, разделяющая поверхностный сток противоположных склонов возвышенностей; *талвег* – линия, соединяющая наиболее низкие точки дна долины; *бровка* – линия перегиба склона, ниже которой он становится более крутым; *подошва* – линия перегиба склона, ниже которого он становится более пологим. Подошвой называют также подножия гор, холмов, обрывов.

Изображение рельефа на топографических картах должно быть наглядным, давать количественные характеристики неровностей местности (абсолютные высоты и превышения точек, крутизна склонов и т.д.).

Рельеф на топографических картах изображается горизонталями в сочетании с отметками высот и условными обозначениями форм, которые нельзя изобразить горизонталями.

Горизонталями (изогипсами) называются кривые линии, соединяющие точки с одинаковыми, заранее заданными высотами или линии равных высот на карте (Рисунок 73).

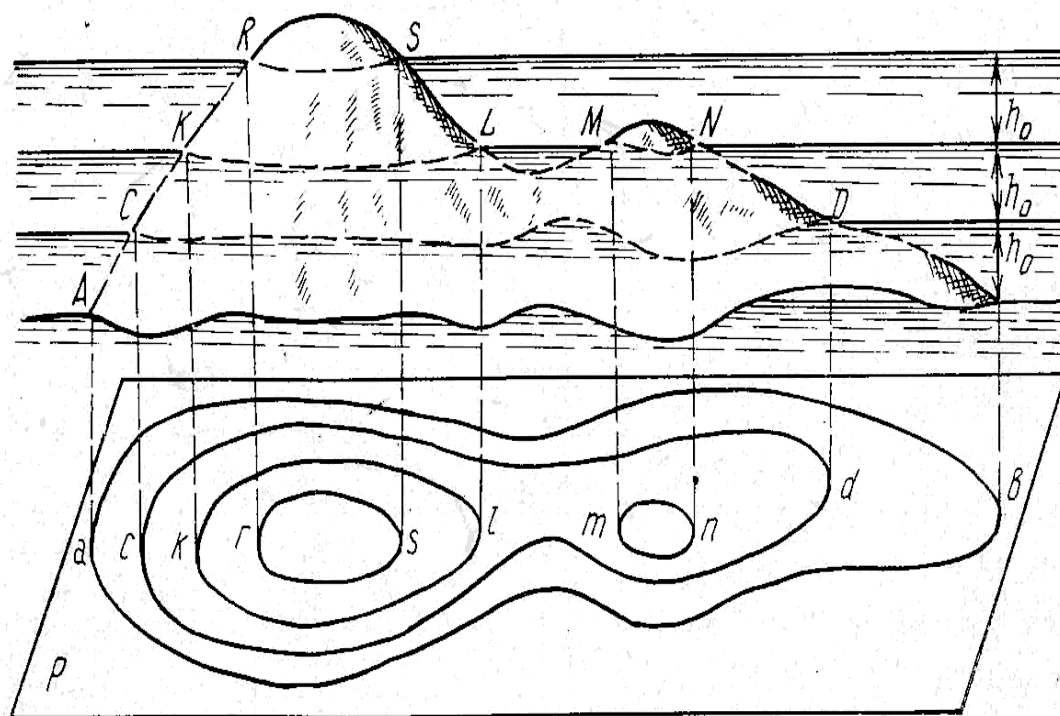


Рисунок 73 – Сущность изображения рельефа горизонталями.

Горизонтали на карте можно рассматривать как проекции сечения местности уровнями поверхностями, проведенными на определенных высотах. Принятое расстояние по высоте между соседними секущими уровнями поверхностями называется **высотой сечения рельефа (h_0)**. Высота сечения зависит от масштаба карты и характера местности. На топографических картах приняты следующие стандартные высоты сечения рельефа горизонталями (Таблица 17).

Таблица 17 – Стандартные высоты сечения рельефа.

Масштаб карты	Высота сечения, м
1:10 000	2,5
1:25 000	5
1:50 000	10
1:100 000	20
1:200 000	20

Для высокогорных районов высота сечения берется в два раза больше нормальной, для плоскоравнинных – в два раза меньше.

Горизонтали нормального сечения проводятся сплошными линиями коричневого цвета. Они называются основными или сплошными горизонталями. Каждая пятая сплошная горизонталь (на карте масштаба

1:10000 – каждая десятая) вычерчивается утолщенной линией (*утолщенные горизонтالي*).

Для показа форм рельефа, не выражающихся основными горизонталями применяются *дополнительные (половинные или полугоризонтالي)*, проводимые в половине основного сечения рельефа прерывистыми линиями длиной 5 мм, и *вспомогательные (четвертьгоризонтали)* – штрихами длиной 2 мм (рисунок 74).

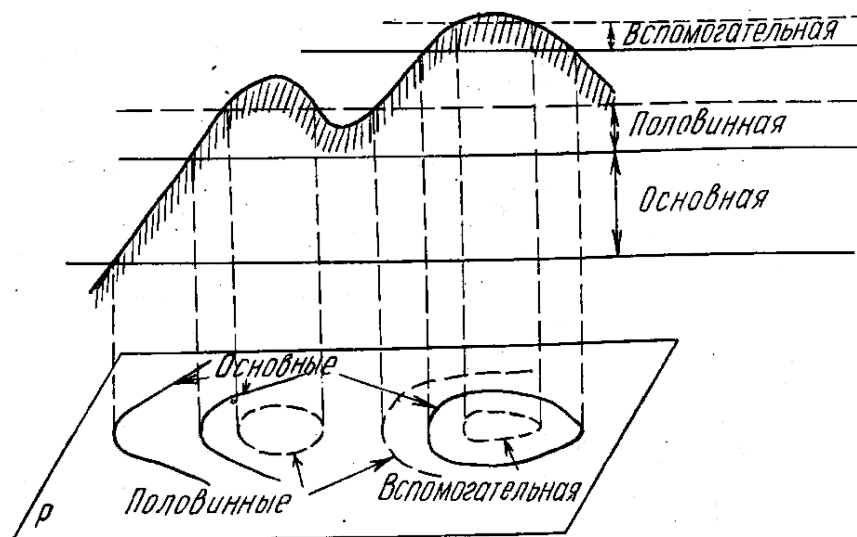


Рисунок 74 – Основные, дополнительные и вспомогательные горизонтали.

Формы рельефа, не выражающиеся горизонталями, изображаются специальными штриховыми условными знаками (рисунок 75).

Обрывы и обрывистые берега оврагов, рек и озер изображаются сплошной линией с зубчиками.

Промоины и узкие овраги изображаются одной линией; более широкие – изображаются двумя линиями. Овраги с задернованными бровками, выражающиеся по ширине в масштабе карты, показываются штриховым рисунком.

На карте подписываются абсолютные отметки вершин, седловин, тальвегов, перегибов склонов и т.д., а также относительные высоты обрывов, курганов, скал-останцов, уступов террас (отсчитываются от подошв и бровок).

Для определения абсолютных высот точек рельефа местности некоторые горизонтали имеют цифровые подписи – отметки их высот, которые ставятся в разрывах линий горизонталей, при этом верх цифр всегда направлен в сторону повышения склона.

Указатели склонов – бергштрихи, это короткие штрихи (черточки), устанавливаемые перпендикулярно к горизонталям по направлению склонов и всегда свободным концом направлены в сторону понижения склона. Бергштрихи помещаются на изгибах горизонталей, преимущественно у вершин, седловин или на дне котловин и на склонах, т.е. в местах, наиболее затруднительных при чтении рельефа. Направления склонов определяются

бергштрихами, подписями высот горизонталей, отметками точек и расположением водных объектов (Рисунок 76).

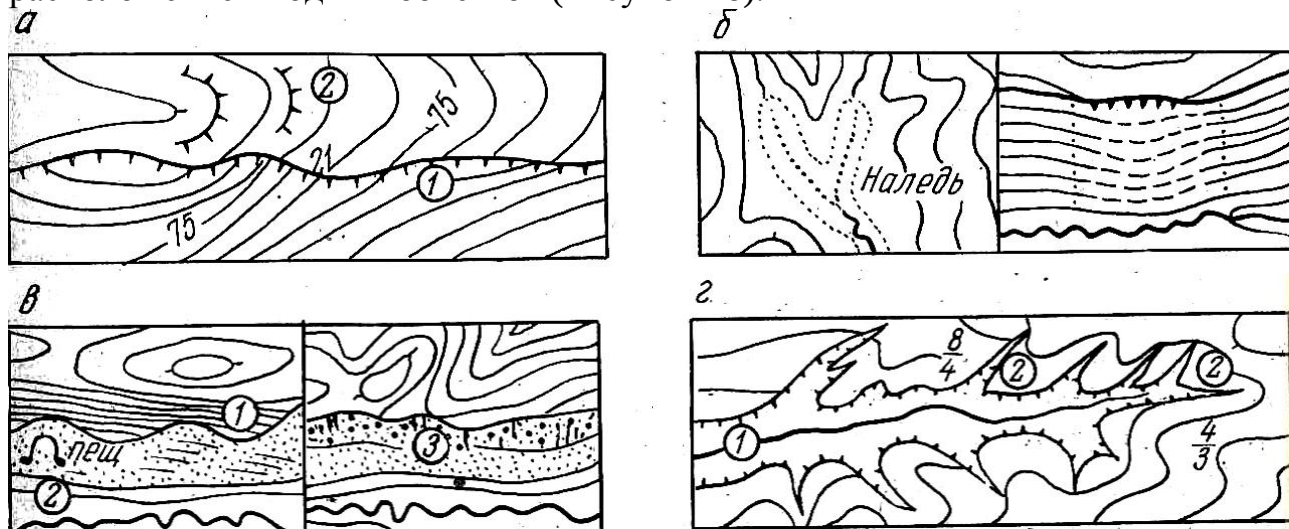


Рисунок 75 – Условные знаки изображения рельефа

а1 – обрывы; а2 – укреплённые уступы полей на склонах;

б – наледи и оползни;

в1 – песчаные земляные осыпи; в2 – входы в пещеры и гроты;

в3 – каменные и щебёночные осыпи;

г – овраги и промоины (1 – шириной в масштабе карты более 1 мм; 2 – шириной в масштабе карты менее 1 мм (в числителе – ширина между бровками, а в знаменателе – глубина в метрах))

1 Хребет	По указателям склонов (конец штриха всегда направлен в сторону понижения)	Гора 2
Лощина 105	По отметкам горизонталей (цифры своим верхом обращены в сторону повышения склона)	Котловина 180
Хребет 106 121,5	По отметкам высот (понижение в сторону меньшей отметки)	Гора 195 94,7
Лощина	По расположению водоемов (понижение всегда в сторону водоема)	Котловина Озеро

Рисунок 76 – Определение по горизонталям форм рельефа и направления склонов.

Склон характеризуется следующими элементами (Рисунок 77):

1) крутизной, которая определяется углом наклона γ линии местности к горизонтальной плоскости;

- 2) направлением, соответствующим кратчайшему и наиболее крутому склону;
- 3) высотой – превышением h вершины склона над подошвой;
- 4) заложением S равному проекции AC линии склона AB на горизонтальную плоскость P , т.е. расстоянием между двумя смежными горизонталями.

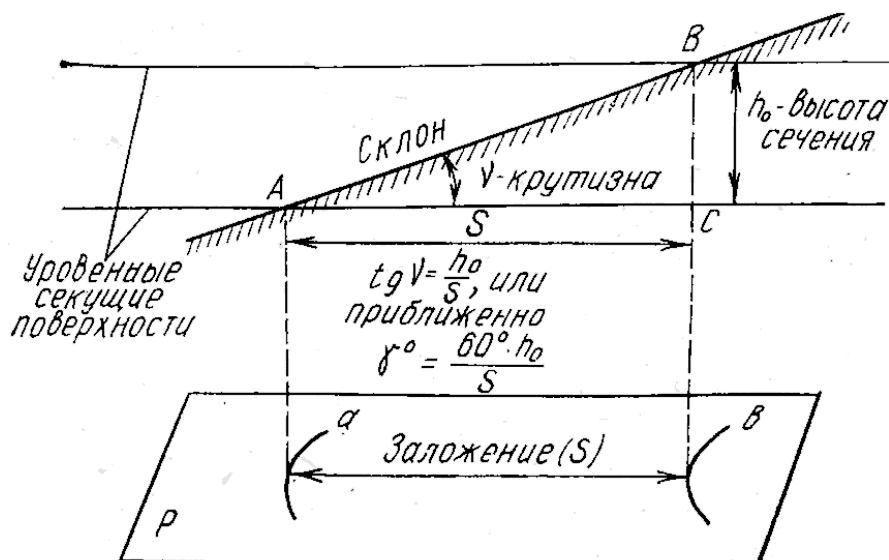


Рисунок 77 – Зависимость между элементами склона.

Чем круче склон, тем меньше заложение и, наоборот, чем заложение больше, тем меньше крутизна склона.

Крутизна склона может быть также выражена уклоном. Уклоном называется отношение превышения h_0 к заложению S и выражается через тангенс угла наклона: $\tan v = \frac{h_0}{S}$, где h_0 – высота сечения, S – заложение.

Принято $\tan v$ обозначать через i , тогда $i = \frac{h_0}{S}$.

Уклон выражается десятичной дробью в тысячных долях – промилле (например $i = 0,0183\text{‰}$), или в процентах % ($i = 1,83\%$). Это значит, что на один метр длины приходится превышение равное 1,83 см.

По взаимному расположению горизонталей на склоне можно определить его форму (Рисунок 78).

Если склон ровный, горизонтали на склоне располагаются на равных расстояниях друг от друга (Рисунок 78 а); при вогнутом – учащаются к вершине (Рисунок 78 б); при выпуклом – учащаются к подошве (Рисунок 78 в); при волнистом – учащаются и разреживаются в нескольких местах в зависимости от количества перегибов склона (Рисунок 78 г).

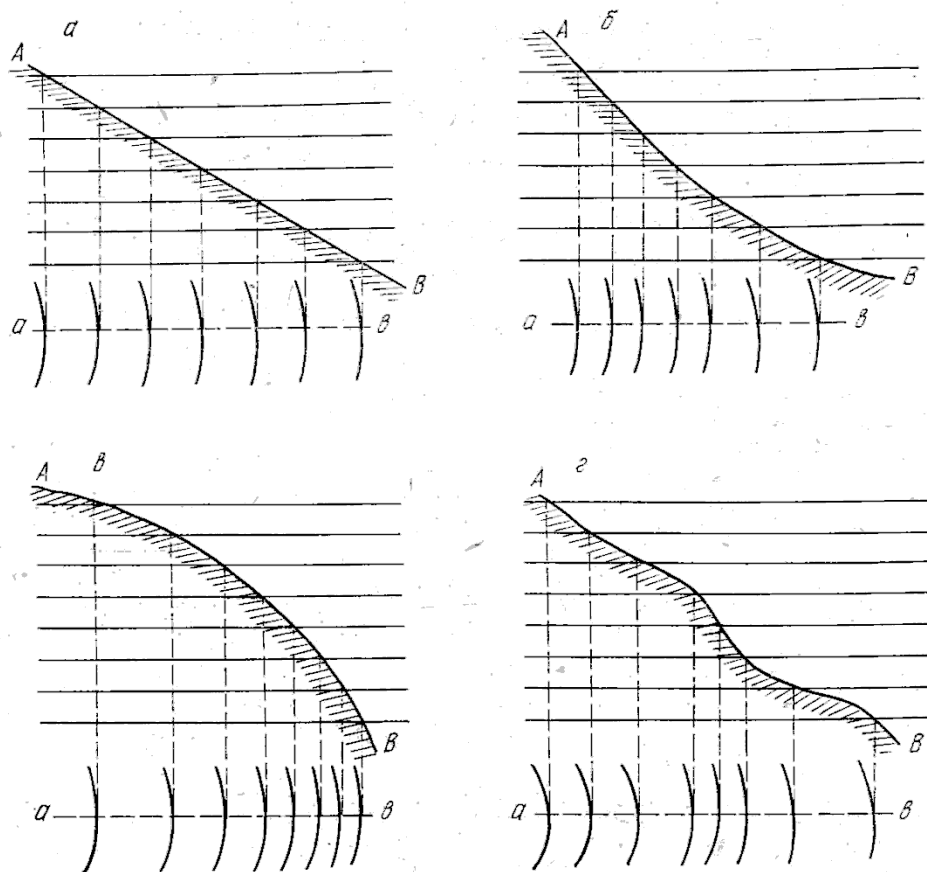


Рисунок 78. – Определение по расположению горизонталей формы склонов: а – ровный; б – вогнутый; в – выпуклый; г – волнистый.

По карте с горизонталями можно решать следующие задачи:

1. определять высоту сечения рельефа;
2. определять высоту горизонталей;
3. определять абсолютные высоты точек и взаимное превышение точек местности;
4. определять крутизну склонов и их экспозицию;
5. строить профиль местности по заданному направлению на топографической карте.
6. проводить на карте линии под заданным углом наклона.

Задача 1. Для определения высоты сечения рельефа без карты указываются значения отметки точки, высота горизонтали и количество промежутков между горизонталями. При решении задачи нужно вычислить разность отметок точки и горизонтали и разделить ее на количество промежутков.

Пример. Отметка точки – 642,5 м, высота горизонтали – 500 м, количество промежутков – 7.

$$\text{Тогда } \frac{642,5 - 500}{7} = 20,3 \text{ м.}$$

Зная, что на топографических картах РБ стандартная высота сечения горизонталей равна 2,5; 5; 10 и 20 м, определяем, что в нашем примере высота сечения рельефа будет 20 м.

Задача 2. Высоту горизонтали на карте можно определить двумя способами: по подписям ближайших горизонталей; по отметке ближайшей к ней точки, подписанной на карте.

В первом случае находят ближайшую подпись горизонтали, подсчитывают количество промежутков между горизонталями и по высоте сечения и направлению склона определяют высоту искомой горизонтали.

Пример. На карте масштаба 1:10 000 ближайшая подпись горизонтали 215, бергштрих, а также верх цифры указывают на повышение в сторону определяемой горизонтали (Рисунок 79). Между искомой и подписанной горизонталями четыре промежутка. Так как на карте масштаба 1:10 000 сечение рельефа 2,5 м, высота определяемой горизонтали будет равна $215 \text{ м} + (4 \cdot 2,5 \text{ м}) = 225 \text{ м}$.

Для определения высоты горизонтали по отметке ближайшей к ней точки, подписанной на карте, нужно помнить, что высоты сплошных горизонталей всегда кратны сечению.

Пример. Определить высоту горизонтали, оконтуривающей отметку 151,6 м на карте масштаба 1:10 000 (Рисунок 79).

По бергштриху, направленному наружу, следует, что эта горизонталь имеет высоту менее 151,6 м. Сечение рельефа 2,5 м. Следовательно, отметка горизонтали будет 150 м, так как это ближайшее к 151,6 м меньшее число, кратное высоте сечения рельефа 2,5 м.

Задача 3. Для определения абсолютной высоты точки, расположенной между двумя горизонталями, необходимо определить высоту ближайшей к ней низшей горизонтали ($H_{\text{гориз.}}$) и прибавить к этой величине превышение данной точки над горизонталью (h):

$$H_{\text{точки}} = H_{\text{гориз.}} + h.$$

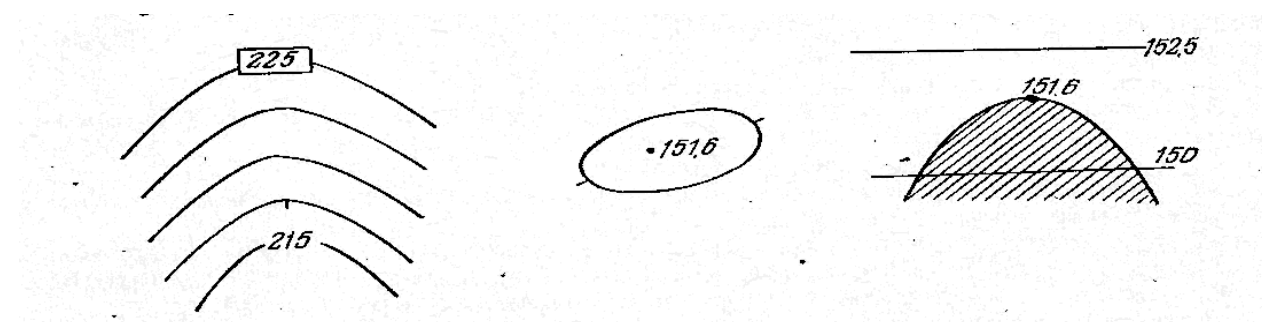


Рисунок 79. — Определение высоты горизонтали по подписи ближайшей горизонтали и по отметке точки.

Превышение точки над горизонталью определяется отношением расстояния от низшей горизонтали до точки к расстоянию между горизонталями, умноженному на высоту сечения рельефа. Согласно рисунку 80, превышение h точки C над точкой A будет равно $\frac{AC}{AB} \cdot h_0$.

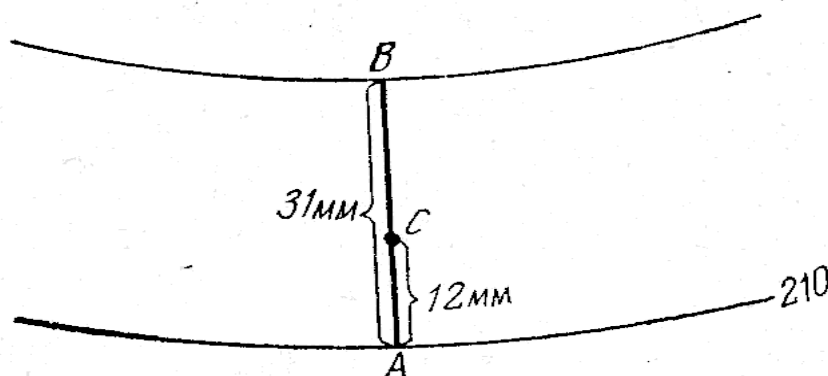


Рисунок 80 – Определение превышения точки над горизонталью.

Пример. $AB = 31$ мм, $AC = 12$ мм. Сечение 10 м. Тогда превышение точки C над 210-й горизонталью будет $\frac{12 \cdot 10}{31} = 3,9$ м, а абсолютная высота точки $C = 210$ м + 3,9 м = 213,9 м.

Превышение точки можно определить на глаз. Для этого устанавливают, какую долю составляет отрезок от горизонтали до точки от всего расстояния между горизонталями. В нашем примере $\frac{AC}{AB} = 0,4$ высоты сечения, что составит 4 м.

Задача 4. Крутизна склона на карте определяется следующими способами. По масштабу заложений (шкале заложений), помещенному под южной рамкой карты. В раствор измерителя берется расстояние между двумя смежными горизонталями по линии наибольшей крутизны, т.е. по кратчайшему расстоянию между ними. Приложив, данный раствор измерителя перпендикулярно нижней линии масштаба заложений и скользя по ней нижней иглой, передвигаем измеритель до тех пор, пока верхняя игла не пересечет кривую линию графика (измеритель 1 на рисунке 81). По масштабу заложений определяем угол – $1^{\circ}20'$. Измерителем 2 (Рисунок 81) взят раствор между горизонталью и полугоризонталью. На масштабе заложений этому раствору соответствует угол $2^{\circ}45'$. Так как масштаб заложений построен для сечения 10 м, а раствор взят при сечении 5 м, то результат измерения нужно разделить пополам. Поэтому крутизна склона будет приблизительно равна $1^{\circ}20'$.

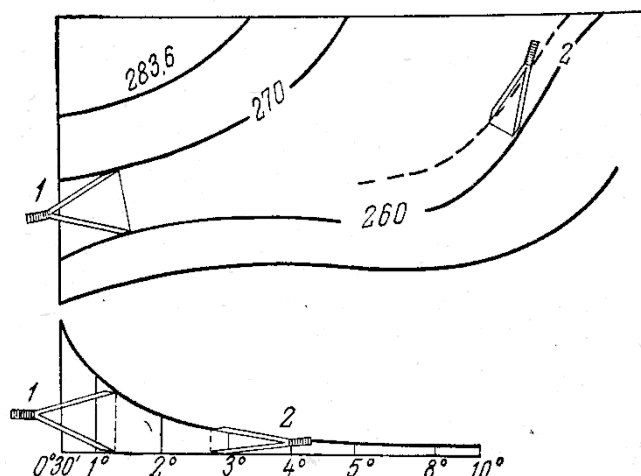


Рисунок 81 – Определение крутизны склона с помощью циркуля-измерителя по масштабу заложений.

По приближенной формуле. Величина угла ν , характеризующего крутизну склона, определяется отношением h/S , где h – превышение между горизонталями, S – заложение, измеряемое в метрах. Так как величина одного градуса выражается дробью $1/57$, то, разделив отношение h/S на $1/57$, получим крутизну склона выраженную в градусах $\nu^{\circ} = \frac{57 \cdot h}{S}$. Для упрощения расчетов величину одного градуса берут округленно равную $1/60$. Тогда приближенная формула для определения крутизны склона примет вид: $\nu^{\circ} = \frac{60 \cdot h}{S}$.

Пример. По карте масштаба 1:50 000 определить крутизну склона между двумя горизонталями с заложением в 7 мм.

Заложение в 7 мм на карте соответствует 350 м на местности. Высота сечения рельефа – 10 м,

$$\text{тогда } \nu^{\circ} = \frac{60 \cdot 10}{350} = 1^{\circ},72 \text{ или } 1^{\circ}43'.$$

Оценка на глаз. Глазомерно сравнивается крутизна склона, соответствующая заложению в 1 см, с величинами заложений между двумя смежными горизонталями. Крутизна склона определяется по правилу: во сколько раз заложение между двумя смежными горизонталями меньше 1 см, во столько раз крутизна склона больше крутизны, соответствующей заложению в 1 см.

Пример. Крутизна склона для заложения в 1 см на карте масштаба 1:50000 при высоте сечения 10 м равна $1^{\circ}12'$. Тогда при заложении в 0,5 см крутизна в 2 раза больше, т.е. $2^{\circ}24'$; при заложении в 3 см крутизна в 3 раза меньше, т.е. $0^{\circ}24'$. Для более точного измерения промежутков между горизонталями можно пользоваться линейкой с миллиметровыми делениями.

По картам с горизонталями можно определять экспозицию склонов, например, при планировании размещения садов, виноградников и других

культур. Для этого через точку в центре участка проводят линию примерно перпендикулярно к горизонталям и по ней определяют экспозицию склона относительно линий километровой сетки в 8 или 16 румбах. Величину сближения меридианов можно не принимать во внимание.

Задача 5. Для построения профиля между двумя пунктами на карте по заданному направлению (Рисунок 82) прикладывают полоску бумаги, отмечают на ней места пересечения линии профиля AB с горизонталями и всеми характерными рельефными точками (вершинами, седловинами) и возле каждого пересечения подписывают высоту горизонтали и всех характерных точек.

Построение профиля выполняют на миллиметровой бумаге. Для этого прочерчивают прямую горизонтальную линию mn – основание профиля, которую принимают за условный горизонт. Высоту линии условного горизонта выбирают таким образом, чтобы она располагалась на 2-3 см ниже минимальной отметки профиля. После чего, к линии основания профиля прикладывают полоску с местами пересечений горизонталей и переносят с нее все отмеченные точки. Во всех этих точках восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают высоты соответствующих горизонталей согласно принятому вертикальному масштабу. При этом следует учитывать, что от всех значений высот точек профиля необходимо вычитать отметку условного горизонта. Чтобы получить достаточно выразительный профиль, вертикальный масштаб выбирают в 5-10 раз крупнее масштаба горизонтального, который в данном случае равен масштабу топографической карты. Отложенные в вертикальном масштабе высоты соединяют плавной кривой линией, получая в результате линию профиля местности (Рисунок 82).

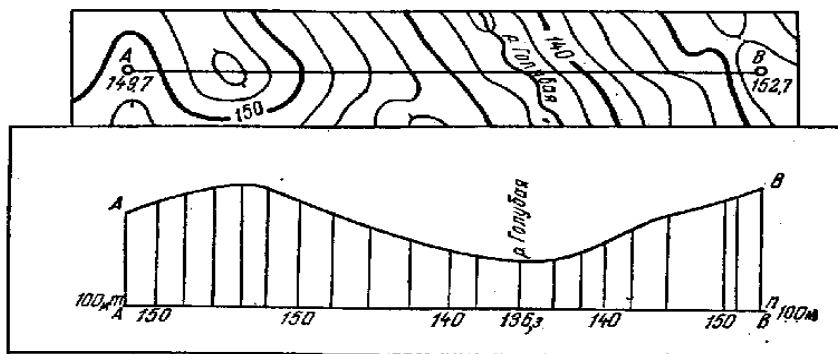


Рисунок 82 – Построение профиля местности по заданному направлению на топографической карте.

Профиль можно построить и на прозрачной кальке, перенося на нее непосредственно с карты точки пересечения линии с горизонталями, восстанавливая к ним перпендикуляры и откладывая на них высоты горизонталей.

Задача 6. Для проведения линии MN между двумя точками так, чтобы крутизна на ней не превышала заданной величины, на масштабе заложений берется раствор измерителя, соответствующий заданному заложению в градусах, например $0^{\circ}30'$ (Рисунок 83).

Поставив одну иглу измерителя в начальную точку заданного направления M , поворачивают его таким образом, чтобы вторая игла была направлена в сторону точки N . Раствор оказывается меньше расстояния между точкой M и горизонталью 210. Значит, здесь склон более пологий, чем $0^{\circ}30'$. Поэтому проводим линию от M к N до встречи с горизонталью 210 в точке A . Поставив иглу измерителя в точку A и вытянув вторую в направлении точки N , убеждаемся, что раствор больше расстояния между горизонталями 210 и 205, т.е. здесь крутизна склона больше $0^{\circ}30'$.

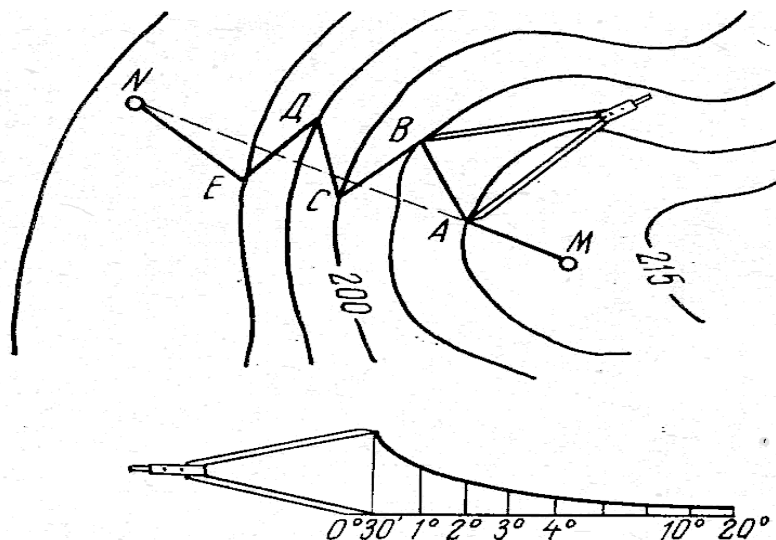


Рисунок 83 – Проведение по карте линии с углами наклона менее $0^{\circ}30'$.

Чтобы крутизна склона не превышала $0^{\circ}30'$, поворачиваем раствор измерителя вокруг точки A до тех пор, когда вторая игла встретит горизонталь в точке B , наиболее близкой к линии MN . Аналогично находим точки C , D , E . Линия $MABCDE$ не будет иметь угла наклона больше $0^{\circ}30'$.

2.1.5. Определение номенклатуры и масштабов топографических карт

Цель задания – изучить систему разграфки и номенклатуры топографических карт Республики Беларусь, а также зависимости между координатами рамок листов карт и их номенклатурой.

Задание включает решение следующих задач: 1) определение номенклатуры и масштаба по данным географическим координатам рамок листа карты; 2) определение географических координат вершин рамок листа по заданной номенклатуре; 3) определение номенклатуры карты данного масштаба, в пределах которой находится пункт с заданными географическими координатами; 4) определение номенклатуры листов карт, прилегающих к листу карты с заданной номенклатурой.

Деление топографической карты на отдельные листы называется разграфкой карты. Каждому листу карты присваивается свое буквенное и цифровое обозначение – номенклатура.

В основу номенклатуры топографических карт всех масштабов на территорию СНГ положена разграфка и номенклатура международной карты масштаба 1:1 000 000. Листы карты масштаба 1:1 000 000 представляют

трапеции, образованные меридианами, проведенными через 6° и параллелями, проведенными через 4°. Для получения трапеции карты масштаба 1:1 000 000 земной шар параллелями делится на ряды (пояса), обозначаемые заглавными буквами латинского алфавита. Обозначение рядов ведется начиная от экватора к полюсам в алфавитном порядке. В северном и южном полушариях образуется 22 пояса и по одному двухградусному поясу ограниченных параллелью с широтой 88° вокруг полюсов (Таблица 18).

Таблица 18 – Широтные пояса.

Номер ряда	Обозначение	Границы широтных поясов, °	Номер ряда	Обозначение	Границы широтных поясов, °
1	A	0 - 4	13	M	48 - 52
2	B	4 - 8	14	N	52 - 56
3	C	8 - 12	15	O	56 - 60
4	D	12 - 16	16	P	60 - 64
5	E	16 - 20	17	Q	64 - 68
6	F	20 - 24	18	R	68 - 72
7	G	24 - 28	19	S	72 - 76
8	H	28 - 32	20	T	76 - 80
9	I	32 - 36	21	U	80 - 84
10	J	36 - 40	22	V	84 - 88
11	K	40 - 44	23	Z	88 - 90
12	L	44 - 48			

Меридианами через 6° по долготе земной шар делится на 60 колонн, которые нумеруются арабскими цифрами. Счет колонн ведется к востоку от меридиана с долготой 180° (Таблица 19).

Параллели и меридианы, ограничивающие ряды и колонны, образуют трапеции, представляющие листы карты масштаба 1:1 000 000, которые обозначаются буквой ряда и номером колонны.

Сочетание буквенного обозначения ряда и номера колонны представляет номенклатуру листа карты масштаба 1:1 000 000. Так, лист карты масштаба 1:1 000 000 в пределах которого расположен город Минск имеет номенклатуру N–35. Это значит, что данный лист карты находится в ряду N и 35-й колонне (Рисунок 84). Размеры и расположение колонн листов карты масштаба 1:1 000 000 совпадают с шестиградусными координатными зонами. Так как счет зон ведется к востоку от Гринвичского меридиана с долготой 0°, а счет колонн – от меридиана с долготой 180° к востоку, номер координатной зоны всегда отличается от номера колонны на число 30 (в восточном полушарии номер колонны больше, а в западном – меньше номера зоны). Например, лист карты N–35 расположен в 5-й зоне, а лист карты N–5 в 35-й зоне.

добавлением к ней числа или буквы, указывающих, расположение в нем данного листа карты. Для разграфки и номенклатуры карт масштабов 1:500 000 – 1:100 000 основой является лист карты масштаба 1:1 000 000, а для карт масштабов крупнее 1:100 000 - лист карты масштаба 1:100 000.

В связи с тем, что длины дуг параллелей уменьшаются к северу, листы топографических карт в южных широтах имеют вид трапеции, вытянутой в ширину; в средних широтах она близка к квадрату, а в северных вытянута в высоту. Для удобства пользования листы карт всех масштабов в северных широтах издаются сдвоенными по параллелям. Номенклатура сдвоенных листов обозначается: Т-35-А, Б; Т-35-11-А, Б.

Размеры трапеций, их количество в одном листе карты масштабов 1:1 000 000 и 1:100 000 и номенклатура последней трапеции для каждого масштаба даны в таблице 20.

Таблица 20 – Размеры и номенклатура отдельных листов топографической карты в зависимости от масштаба.

Масштабы топографических карт и топографических планов	Размеры трапеции по:		Количество листов	Номенклатура последнего листа
	широте	долготе		
1:1 000 000	4°	6°	1	N-35
В одном листе масштаба 1:1 000 000				
1:500 000	2°	3°	4	N-35-Г
1:300 000	1°20′	2°	9	IX- N-35
1:200 000	40′	1°	36	N-35-XXXVI
1:100 000	20′	30′	144	N-35-144
В одном листе масштаба 1:100 000				
1:50 000	10′	15′	4	N-35-144-Г
1:25 000	5′	7′ 30″	16	N-35-144-Г-г
1:10 000	2′ 30″	3′ 45″	64	N-35-144-Г-г-4
1:5 000	1′ 15″	1′ 52, 5″	256	N-35-144 - (256)
1:2 000	25″	37, 5″	2304	N-35-144 - (256-и)

Система разграфки и обозначение номенклатур топографических карт и топографических планов приводится на рисунках 85–89.

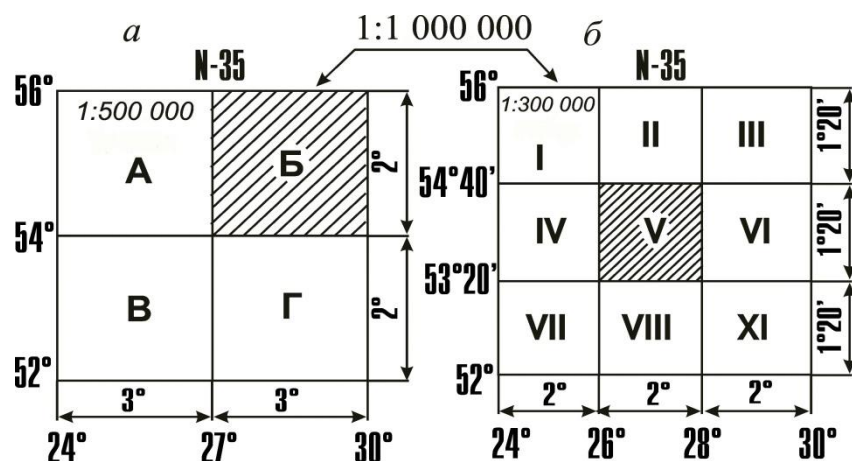


Рисунок 85– Разграфка листа карты масштаба 1:1 000 000 на листы масштабов: а) 1:500 000 (N-35-Б); б) 1:300 000 (V-N-35) (с указанием номенклатуры выделенных трапеций).

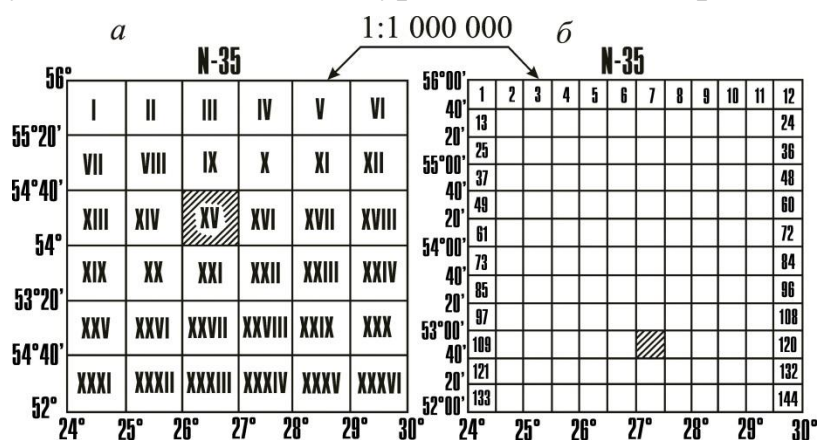


Рисунок 86 – Разграфка листа карты масштаба 1:1 000 000 на листы карт масштабов:а) 1:200 000 (N-35-XV); б) 1:100 000 (N-35-115) (с указанием номенклатуры выделенных трапеций).

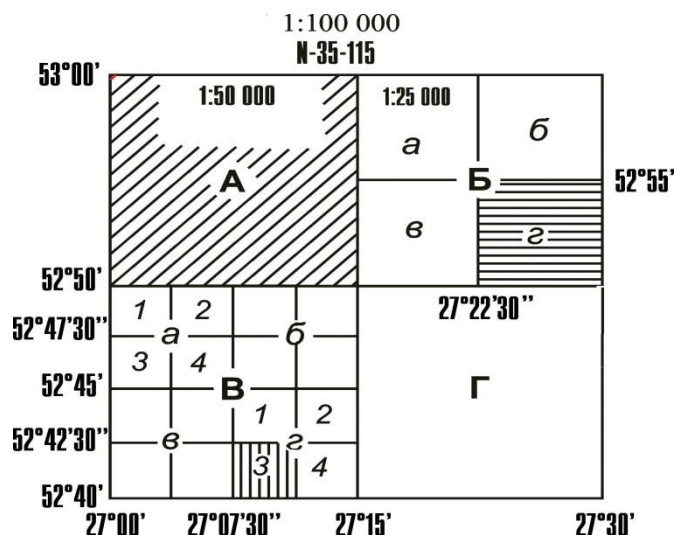


Рисунок 87 – Разграфка листа карты масштаба 1:100 000 на листы карт масштабов:1:50 000 (N-35-115-A); 1:25 000 (N-35-115-Б-Г) и 1:10000 (N-35-115-В-г-3), с указанием номенклатуры выделенных трапеций.

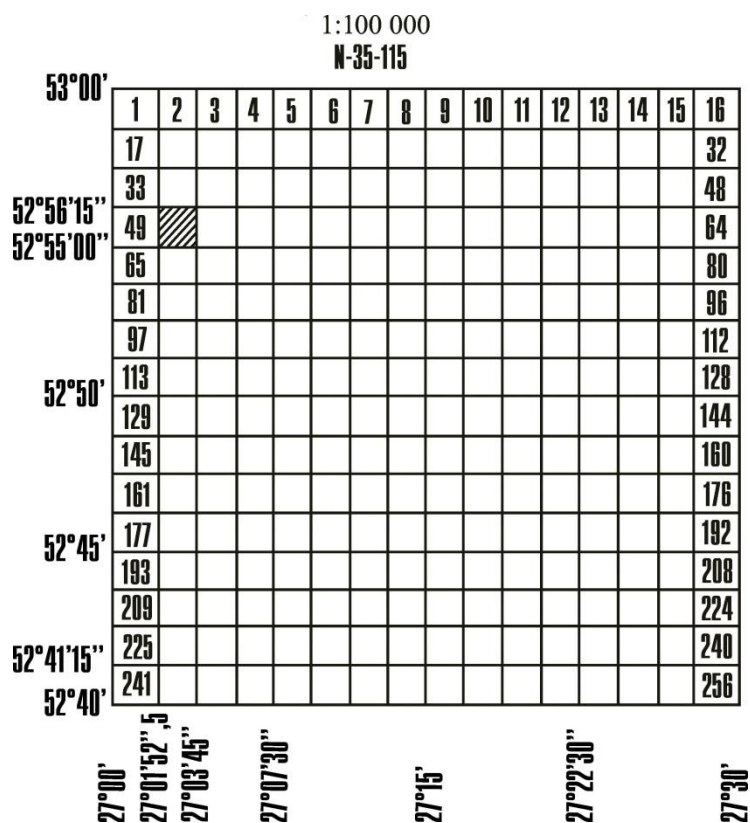


Рисунок 88– Разграфка листа карты масштаба 1:100 000 на листы масштаба 5 000, с указанием номенклатуры выделенной трапеции N-35-115-(50).

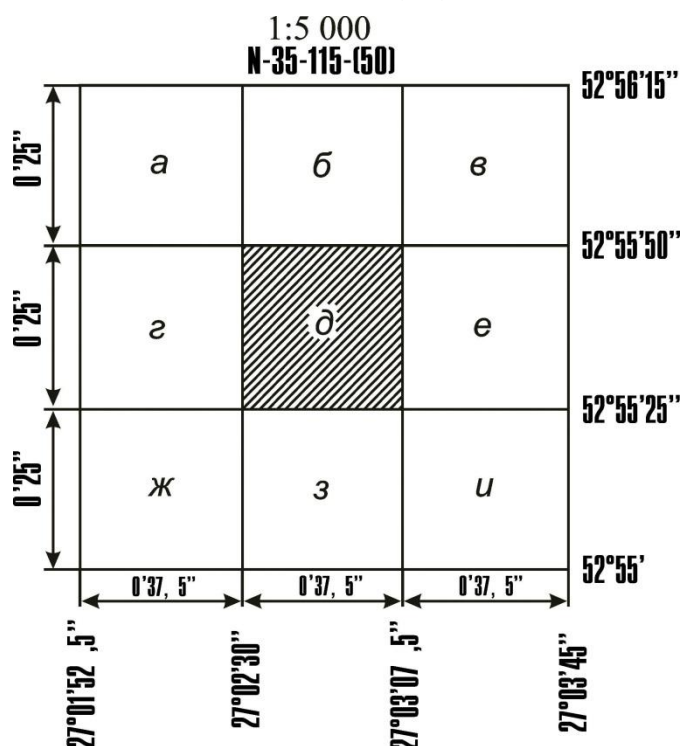


Рисунок 89 – Разграфка листа карты масштаба 1:5 000 на листы масштаба 1:2 000, с указанием номенклатуры выделенной трапеции N-35-115-(50- д).

Задание 1. Определить номенклатуру листа карты и ее масштаб по географическим координатам рамок листа карты. Для определения по известным географическим координатам рамок листа номенклатуры карты нужно уяснить связь номенклатуры карт с масштабами и размерами рамок по широте и долготе.

Чтобы определить номенклатуру карт масштаба 1:1 000 000, широту северной рамки (параллели) делят на 4° ; получившаяся цифра будет номером ряда, по которому находится соответствующая ему буква латинского алфавита. Номер колонны узнается делением долготы восточного меридиана на 6° .

Пример. Географические координаты рамок трапеции карты $B_C=56^\circ$ (северная рамка), $B_{Ю}=52^\circ$ (южная рамка), $L_B=30^\circ$ (восточная рамка), $L_3 = 24^\circ$ (западная рамка). Порядковый номер ряда $(56^\circ:4^\circ) = 14$, что соответствует букве N. Номер колонны получаем делением $30^\circ: 6^\circ=5$. Это 5-я колонна от Гринвичского меридиана, а от 180-го меридиана, откуда ведется счет колонн, – 35-я (5+30). Таким образом, номенклатура листа с указанными координатами будет N-35.

Для нахождения географических координат карт масштаба 1:500 000, 1:200 000 и 1:100 000 определяются долготы и широты рамок трапеции соответствующего листа карты масштаба 1:1 000 000. Нарисовав схему листа и обозначив цифрами долготу и широту рамок трапеции, этот лист делят на соответствующее количество листов карт масштаба 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000.

Рассмотрим подробнее определение географических координат вершин рамок листов карт указанных масштабов на примерах.

1. Масштаб 1:500 000. Лист карты этого масштаба составляет $\frac{1}{4}$ часть листа карты 1:1 000 000 (по охватываемой территории), обозначается заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г и имеет размеры 2° по широте и 3° по долготе. Чтобы определить географические координаты заштрихованного листа карты (Рисунок 85а), необходимо рассчитать координаты рамок трапеции N-35, а затем координаты листа N-35- Б. Разделив лист карты 1:1 000 000 на 4 листа карты масштаба 1:500 000 и подписав их нумерацию, определяем по координатам рамок листа карты 1:1 000 000 долготу и широту рамок листа масштаба 1:500 000. Они будут: $B_C=56^\circ$, $B_{Ю}=54^\circ$, $L_B=30^\circ$, $L_3=27^\circ$.

2. Масштаб 1:200 000. Лист карты масштаба 1:1 000 000 разграфляется на 36 листов масштаба 1:200 000, т. е. каждая сторона трапеции листа карты масштаба 1:1 000 000 делится на 6 частей (Рисунок 86а). Размер трапеции – $40'$ по широте и 1° по долготе. Каждая трапеция обозначается римской цифрой, помещаемой после номера ряда и номера колонны (в отличие от листов масштаба 1:300 000, где римская цифра ставится впереди номеров ряда и колонны (Рисунок 85б)). Определим долготу и широту углов рамок заштрихованного листа карты масштаба 1:200 000 – N-35-XV: $B_C=54^\circ40'$, $B_{Ю}=54^\circ00'$, $L_B=27^\circ00'$, $L_3=26^\circ00'$ (Рисунок 86а).

3. Масштаб 1:100 000 (Рисунок 86б). Лист карты масштаба 1:1 000 000 делится на 144 листа карты масштаба 1:100 000 (каждая сторона трапеции

делится на 12 частей). Листы обозначаются арабскими цифрами от 1 до 144 и имеют размеры: 20' по широте и 30' по долготу. Разделив лист карты масштаба 1:1 000 000 на 144 части, определяют и подписывают долготу и широту углов рамок листа карты масштаба 1:100 000. Заштрихованный лист с номенклатурой N-35-115 имеет координаты: $B_C=53^{\circ}00'$, $B_{Ю}=52^{\circ}40'$, $L_B=27^{\circ}30'$, $L_3=27^{\circ}00'$ (Рисунок 86б).

Для определения географических координат листов масштаба 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000 и 1:2 000 предварительно следует установить долготы и широты углов рамок, соответствующего листа карты масштаба 1:100 000, т. к. карта данного масштаба является исходной для разграфки листов карт более крупных масштабов.

Определим координаты углов трапеций указанных масштабов.

Лист карты масштаба 1:50 000 составляет $\frac{1}{4}$ часть трапеции масштаба 1:100 000, обозначается заглавной буквой русского алфавита (А,Б,В,Г) и имеет размеры: 10' по широте и 15' по долготу. По координатам вершин рамок листа карты масштаба 1:100 000 определяем долготу и широту углов рамок листа масштаба 1:50 000. На рисунке 87 заштрихованный наклонными штрихами лист будет иметь номенклатуру N-35-115-А и координаты углов рамок трапеции: $B_C=53^{\circ}00'$, $B_{Ю}=52^{\circ}50'$, $L_B=27^{\circ}15'$, $L_3=27^{\circ}00'$.

Лист карты масштаба 1:25 000 составляет $\frac{1}{4}$ часть листа карты масштаба 1:50 000, обозначается строчной буквой русского алфавита (а,б,в,г) и имеет размеры: 5' по широте и 7'30" по долготу. Заштрихованный горизонтальными штрихами лист (Рисунок 87) будет иметь номенклатуру N-35-115-Б-г и координаты углов рамок трапеции: $B_C=52^{\circ}55'$, $B_{Ю}=52^{\circ}50'$, $L_B=27^{\circ}30'$, $L_3=27^{\circ}22'30''$.

3. Лист карты масштаба 1:10 000 составляет $\frac{1}{4}$ часть листа карты масштаба 1:25 000, обозначается арабскими цифрами (1, 2, 3, 4) и имеет размеры 2'30" по широте и 3'45" по долготу. Заштрихованный вертикальными штрихами лист (Рисунок 87) будет иметь номенклатуру N-35-115-В-г-3 и координаты углов рамок трапеции: $B_C=52^{\circ}42'30''$, $B_{Ю}=52^{\circ}40'00''$, $L_B=27^{\circ}11'15''$, $L_3=27^{\circ}07'30''$.

4. Лист карты масштаба 1:5 000 составляет $\frac{1}{256}$ часть карты масштаба 1:100 000, обозначается арабскими цифрами от 1 до 256 и имеет размеры 1'15" по широте и 1'52,5" по долготу ($\frac{1}{16}$ часть сторон трапеции карты масштаба 1:100 000). Номенклатура трапеции данного масштаба состоит из номенклатуры карты масштаба 1:10 000 и номера листа масштаба 1:5 000, помещенного в скобки. На рисунке 88 заштрихованный лист имеет номенклатуру N-35-115-(50) и координаты вершин рамок: $B_C=52^{\circ}56'15''$, $B_{Ю}=52^{\circ}55'00''$, $L_B=27^{\circ}03'45''$, $L_3=27^{\circ}01'52,5''$.

5. Лист карты масштаба 1:5 000 делится на 9 листов карты (или топографического плана) масштаба 1:2 000, обозначаемых строчными буквами русского алфавита (а,б,в,г,д,е,ж,з,и) и имеющих размеры: 25" по широте и 37,5" по долготу. Номенклатура заштрихованного листа на рисунке 89 будет N-35-115-(50-д) и координаты вершин рамок: $B_C=52^{\circ}55'50''$; $B_{Ю}=52^{\circ}55'25''$; $L_B=27^{\circ}03'07,5''$; $L_3=27^{\circ}02'30''$.

Таким образом, для определения координат вершин рамок трапеций крупного масштаба (например, 1:10 000) вычерчивают схему листа масштаба 1:1 000 000 и определяют его координаты, а затем вычерчивают схемы листов масштабов 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000 и находят их координаты.

Задание 2. Определить масштаб и географические координаты вершин рамок трапеции по заданной номенклатуре. Вначале устанавливают географические координаты рамок листа карты масштаба 1:1 000 000, в пределах которой находится данная трапеция. Затем делят трапецию листа карты масштаба 1:1 000 000 на части до тех пор, пока не получают заданную трапецию, и устанавливают ее географические координаты.

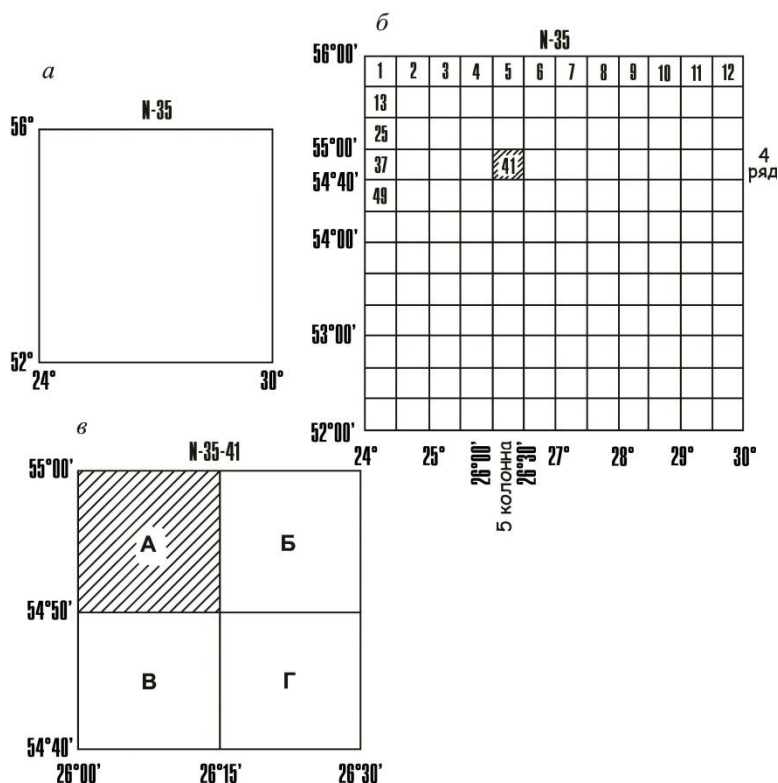


Рисунок 90 – Координаты углов рамок листа карты с номенклатурой N-35-41-А.

Рассмотрим трапецию листа карты масштаба 1:1 000 000 N-35 (Рисунок 90а). По номенклатуре определяем координаты рамок этой трапеции. Так как N– 14-я буква латинского алфавита, то географическая широта (В) северной рамки будет равна – $14 \cdot 4^\circ = 56^\circ$ с.ш., а южной рамки – $56^\circ - 4^\circ = 52^\circ$ с.ш.; географическая долгота (L) восточной рамки – $(35 - 30) \cdot 6^\circ = 30^\circ$ в.д., а западной рамки – $30^\circ - 6^\circ = 24^\circ$ в.д.

Определим координаты углов рамок листа карты масштаба 1:100 000 (Рисунок 90б). Так как 41-й лист карты масштаба 1:100 000 расположен в 4-м ряду от северной рамки к югу и в 5-й колонне от западной рамки к востоку трапеции масштаба 1:1 000 000, а размеры листа карты данного масштаба составляют по широте 20' и по долготе 30', определяем его координаты. Географическая широта (В) южной рамки будет равна – $56^\circ - (4 \cdot 20') = 54^\circ 40'$ с.ш., а северной рамки – $54^\circ 40' + 20' = 55^\circ 00'$ с.ш.; географическая долгота (L)

восточной рамки – $24^{\circ} + (5 \cdot 30') = 26^{\circ}30'$ в.д., а западной рамки – $26^{\circ}30' - 30' = 26^{\circ}00'$ в.д.

Определим координаты углов рамок трапеции масштаба 1:50 000 N-35-41-A, которая расположена в северо-западном углу трапеции карты масштаба 1:100 000 (Рисунок 90в). Северная и западная рамки данной трапеции совпадают с рамками листа карты масштаба 1:100 000 и имеют ту же широту и долготу ($B_C=55^{\circ}00'$, $L_3=26^{\circ}00'$). Размер листа карты масштаба 1:50 000 составляет 10' по широте и 15' по долготу. Тогда, географическая широта (B) южной рамки будет равна – $55^{\circ}00' - 10' = 54^{\circ}50'$ с.ш., а географическая долгота (L) восточной рамки – $26^{\circ}00' + 15' = 26^{\circ}15'$ в.д.

Таким образом, координаты углов рамок листа карты с номенклатурой N-35-41-A будут: $B_C=55^{\circ}00'$ с.ш., $B_{Ю}=54^{\circ}50'$ с.ш., $L_B=26^{\circ}15'$ в.д., $L_3=26^{\circ}00'$ в.д.

Задание 3. Определить номенклатуру листа карты заданного масштаба, в пределах которого находится пункт с заданными географическими координатами. По географическим координатам заданного пункта находим широту северной параллели того ряда и долготу восточного меридиана той колонны международной разграфки, в которой расположен лист карты масштаба 1:1 000 000, включающей в себя заданный пункт.

Значение широты северной параллели ряда равно ближайшему к значению широты пункта числу градусов в сторону увеличения, кратному 4. Разделив значение заданной широты на 4° получаем номер ряда и определяем соответствующую ему букву латинского алфавита.

Значение долготы восточного меридиана колонны равно ближайшему к значению долготы пункта числу градусов в сторону увеличения, кратному 6 и измененному на 180° (долготы отсчитываются от Гринвичского меридиана, а счет колонн ведется от меридиана с долготой 180°). Затем разделяем лист карты масштаба 1:1 000 000 на листы карт более крупного масштаба до тех пор, пока не определим номенклатуру требуемого листа.

Пример. Определить номенклатуру листа карты масштаба 1:100 000, в пределах которого находится пункт с широтой $54^{\circ}56'$ и долготой $27^{\circ}10'$.

По таблице 20 находим, что пункт с широтой $54^{\circ}56'$ располагается в ряду N с координатами $B_C=56^{\circ}$, $B_{Ю}=52^{\circ}$ и 35-й колонне с координатами $L_B=30^{\circ}$ и $L_3=24^{\circ}$. Номенклатура листа масштаба 1:1 000 000 будет N-35. Разделив лист карты масштаба 1:1 000 000 на листы карт масштаба 1:100 000 и обозначив на рисунке географические координаты вершин углов трапеции, найдем, что искомый лист карты находится в четвертом ряду к югу и в седьмой колонне к востоку (Рисунок 91), а его номенклатура будет N-35-43.

Задание можно выполнить вторым способом. Чтобы определить, в каком месте карты масштаба 1:1 000 000 находится заданный пункт, широту $54^{\circ}56'$ делим на 4° (протяженность ряда). Если при делении получается остаток, то частное увеличивается на единицу. В нашем примере $54^{\circ}56':4=13$ (с остатком), т.е. пункт расположен в 14-м ряду, который обозначается буквой N и имеет северную и южную рамки с широтами соответственно 56° и 52° . Для нахождения номера колонны долготу пункта делим на 6° ($27^{\circ}10' : 6 = 4$ (с остатком), т.е. пункт находится в 5-й зоне от Гринвичского меридиана или в 35-

й колонне от 180-го меридиана с долготами 24° и 30° . Следовательно, номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000 будет N-35. Разграфим лист N-35 на 144 части, каждая из которых соответствует листу карты масштаба 1:100 000. Так как заданный пункт находится между параллелями $54^\circ 40'$ и $55^\circ 00'$ (4-й ряд к югу) и меридианами $27^\circ 00'$ и $27^\circ 30'$ (7-я колонна к востоку), следовательно, он расположен в пределах 43-го листа карты масштаба 1:100 000, номенклатура которого составит – N-35-43.

N-35												
56°00'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	13											
55°00'	25											
54°40'	37						43					
	49											
54°00'												
53°00'												
52°00'												
	24°	25°	26°			27°00'	27°30'	28°	29°	30°		
						7 колонка						

Рисунок 91 – Определение номенклатуры листа карты масштаба 1:100 000 в пределах которого находится пункт с широтой $54^\circ 56'$ и долготой $27^\circ 10'$.

Задание 4. Определить номенклатуру смежных листов карт, прилегающих к рамкам трапеции заданного масштаба.

Пример. Определить номенклатуру восьми смежных трапеций масштаба 1:100 000, прилегающих к листу карты N-35-84.

Представим схему разграфки карты масштаба 1:1 000 000 на листы масштаба 1:100 000 (Рисунок 92). Лист 84 находится в 7-м ряду листа карты масштаба 1:1 000 000 с номенклатурой N-35. К нему прилегают листы N-35-72; 71; 83; 95; 96. К востоку от листа N-35-84 располагается лист карты масштаба 1:1 000 000 N-36 с листами карт масштаба 1:100 000, имеющих следующую номенклатуру: N-36-73; 61; 85.

N-35			N-36		
10	11	12	1	2	3
		24	13		
		36	25		
		48	37		
		60	49		
	71	72	61		
	83	84	73		
	95	96	85		

Рисунок 92 – Определение номенклатуры смежных листов карт, прилегающих к трапеции заданного масштаба

2.2. Математическая обработка топографо-геодезических измерений. составление топографического плана

Для выполнения крупномасштабной топографической съемки производятся полевые геодезические измерения по созданию планового и высотного съемочного обоснования с целью достижения необходимой плотности пунктов геодезических сетей. Основным методом построения планового обоснования является проложение теодолитных ходов с последующим вычислением координат точек. Высотное съемочное обоснование создается методом геометрического нивелирования, для чего, определяются отметки высот точек существующего планового съемочного обоснования. Теодолитные ходы представляют собой системы ломаных линий, в которых измеряются горизонтальные углы на поворотных точках хода и длины линий между этими точками. При углах наклона линий по отношению к горизонтальной плоскости более $1,5^\circ$ измеряются вертикальные углы для введения поправок за наклон линий и вычисляются их горизонтальные проложения. Теодолитные ходы прокладываются между геодезическими пунктами с известными координатами, которые служат исходными пунктами. В случае отсутствия исходных геодезических пунктов на участки местности площадью до 1 км^2 могут создаваться самостоятельные съемочные сети в своей условной системе координат.

Различают следующие виды теодолитных ходов:

Разомкнутый ход, начало и окончание которого опираются на два исходных пункта;

Замкнутый ход представляет собой многоугольник, опирающийся на один исходный пункт;

Висячий ход, один из концов которого примыкает к пункту геодезического обоснования. Проложение висячих теодолитных ходов допускается лишь в отдельных случаях, когда необходимо создать обоснование для съемки неотчетливых объектов.

Данный раздел предусматривает выполнение лабораторного практикума по трем заданиям:

Математическая обработка замкнутого теодолитного хода;

Математическая обработка результатов тахеометрической съемки;

Составление топографического плана участка местности в заданном масштабе.

В разделе содержатся подробные методические указания с необходимыми расчетными формулами и решением примера.

2.2.1. Математическая обработка замкнутого теодолитного хода

Результаты полевых измерений в теодолитном ходе повariantно выписывают из приложения 1 «Исходные данные для уравнивания теодолитного хода» [21] в соответствующие графы ведомости вычисления координат.

Математическую обработку замкнутого теодолитного хода выполняют согласно п.1.7.3. и таблицы 10.

2.2.2. Математическая обработка данных тахеометрической съемки

Цель задания: выполнить математическую обработку данных тахеометрической съемки помещенных в приложении 2 «Журнал тахеометрической съемки» [21].

В результате вычислений определяют:

- горизонтальное проложение линий S от пунктов съёмочного обоснования до пикета;
- превышение пикета h относительно отметки станции $H_{ст.}$;
- отметку пикета $H_{пк.}$.

Совмещенные пункты планового и высотного съёмочного обоснования служат станциями с которых производится тахеометрическая съемка. Отметки высот для каждой станции $H_{ст.}$ приводятся в [21].

Съемка контуров, объектов местности и рельефа выполняется относительно пунктов съёмочного обоснования. За начальное направление принимается направление на следующую по ходу станцию с отсчетом по горизонтальному кругу равным $0^{\circ}00'$.

В результате съемки местности теодолитом 2Т30П при положении КЛ по рейкам, устанавливаемым поочередно на пикетах определяются:

- расстояния в метрах по оптическому нитяному дальномеру D ;
- отсчет по горизонтальному кругу (ГК), равный значению угла, отсчитываемого относительно начального направления до направления на пикет;
- отсчет по вертикальному кругу (ВК) при визировании на высоту наведения визирного луча на рейку, установленную на пикете.

Вычисление горизонтальных проложений линий S , измеренных нитяным дальномером D выполняется по формуле: $S = D \cos^2 v$,

где v – угол наклона местности, вычисляемый по формуле: $v = ВК - М0$.

Затем вычисляются превышения пикетов съемки h на каждой станции по формуле: $h = S \operatorname{tg} v + i - v$, где i – высота установки теодолита (тахеометра) над центром пункта съёмочного обоснования; v – высота наведения визирного луча на рейку, установленную на пикете; v – угол наклона. Значения i и v измеряют рулеткой перед выполнением съемки на станции с точностью до 0,01м.

В случае равенства значений i и v , формула принимает упрощенный вид:

$$h = S \operatorname{tg} v.$$

Вычисление отметок пикетов $H_{пк.}$ производится по формуле: $H_{пк.} = H_{ст.} + h$, где $H_{ст.}$ – отметка высоты, указанная для каждой станции съемки [21].

2.2.3. Составление топографического плана участка местности по результатам тахеометрической съемки в заданном масштабе.

Топографический план составляется по уравненным координатам точек теодолитного хода (п. 2.2.1.) и обработанным результатам тахеометрической

съемки (п. 2.2.2.) в масштабе 1:2000 с высотой сечения рельефа горизонталями через 1 м.

Топографический план создается в последовательности, описанной в п.1.9.4 рисунки 57,58,59 или [21].

Построить координатную сетку можно также при помощи обыкновенной линейки, поперечного масштаба и циркуля измерителя (см. рисунок 93).

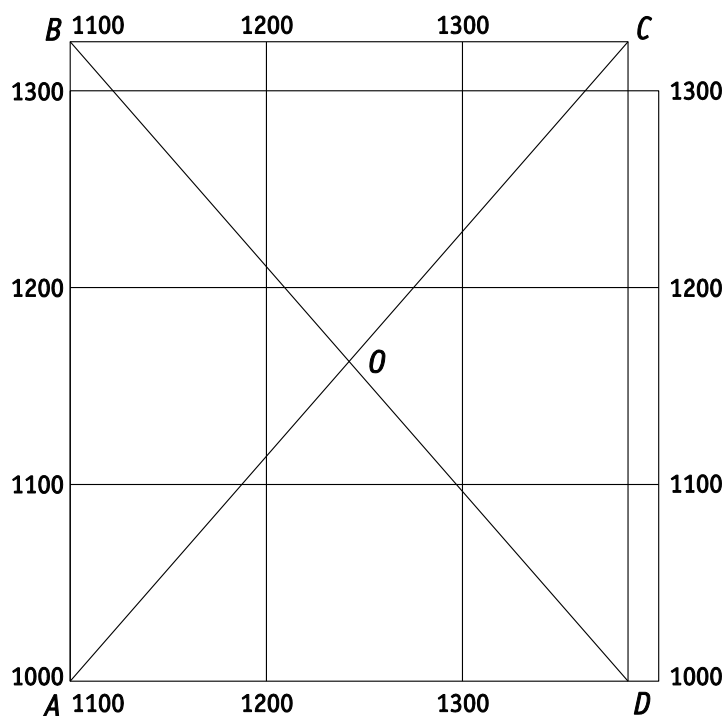


Рисунок 93 – Построение и оцифровка координатной сетки с использованием линейки, поперечного масштаба и измерителя.

На листе ватмана проводят две взаимно пересекающиеся линии. Из точки пересечения O по линиям откладывают равные отрезки $OA = OB = OC = OD$. Стороны полученного квадрата $ABCD$ будут являться исходными для построения координатной сети. Из точек A и B по сторонам AD и BC пользуясь поперечным масштабом и измерителем откладывают отрезки длиной 5 или 10 см. Аналогичная разбивка производится из точек A и D по сторонам AB и DC . После разбивки по сторонам основного квадрата $ABCD$ проводят линии координатной сетки, последовательно соединяя засечки на противоположных сторонах квадрата. Правильность построения сетки квадратов со стороной 5 (10) см проверяют измерением их диагоналей при помощи циркуля-измерителя. Отклонения вершин квадратов не должно превышать 0,1 мм.

После этого оцифровывают координатную сетку и наносят по координатам точки теодолитного хода. Пользуясь ведомостью вычисления координат подписывают выходы координатной сетки согласно значениям прямоугольных координат в заданной условной системе координат (см. ведомость вычисления координат задания №1) и согласно принятому масштабу топографического плана.

При нанесении по координатам точек теодолитного хода на план, вначале определяется квадрат, в котором будет находиться данная точка в принятой

условной системе координат. При помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба по координатам наносят точки теодолитного хода, относительно линий координатной сетки.

Правильное нанесение точек контролируется по длине линии и ее направлению. Для этого из ведомости вычисления координат берут в раствор измерителя по поперечному масштабу горизонтальное проложение линии между этими точками и сравнивают с полученной на плане.

Затем приступают к нанесению на план пикетов тахеометрической съемки. Пикеты съемки наносят на план по результатам вычисления тахеометрической съемки при помощи тахеографа (см. п 1.9.4., рисунок 60), способом, соответствующим их полевой съемке (по горизонтальному углу, отсчитываемому от направления, принятого за начальное и вычисленному горизонтальному проложению линии S между станцией съемки и пикетом). Пикет обводят кружком и подписывают его номер и отметку высоты.

Составление контурной части плана (ситуации местности) выполняют, руководствуясь местоположением объекта в журнале тахеометрической съемки и абрисами. Карандашом наносят объекты местности и контуры растительности, которые относятся к тому или иному пикету. Также отображают объекты гидрографии (реки, ручьи, родники, мелиоративную сеть) и строения.

Рельеф местности на топографических планах изображается горизонталями [1.3.7]. Перед проведением горизонталей наносят формы рельефа, которые не выражаются горизонталями, а именно: обрывы, промоины, курганы, ямы, насыпи дорог, дамбы и т.п. [1.3.7].

Горизонтали проводят, пользуясь подписанными значениями отметок высот пикетов способом интерполирования. Интерполированием называется процесс нахождения вспомогательных точек, высоты которых кратны принятой высоте сечения рельефа. Через эти вспомогательные точки и будут проходить основные сплошные горизонтали. Опытными специалистами интерполирование обычно проводится «на глаз», но можно выполнять этот процесс и с помощью палетки параллельных линий [1.3.7]. Необходимо помнить, что интерполирование выполняется только по линиям, расположенным на одном склоне. Не следует проводить горизонтали через изображения строений (сооружений), карьеров, оврагов, водных объектов.

Для улучшения читаемости форм рельефа, которые недостаточно отобразились основными горизонталями, на плане проводят дополнительные и вспомогательные горизонтали. После нанесения всех горизонталей, их «укладывают», т.е. сглаживают ломанные линии и проводят их сплайном.

После окончательного просмотра плана, составленного карандашом, приступают к его чистовому вычерчиванию и оформлению согласно условным знакам для данного масштаба. При изображении содержания топографических планов используются следующие цвета: все горизонтали и их высоты отображают коричневым цветом (отметки высот местности – черным), объекты гидрографии – синим или голубым, пересечения линий координатной сетки – зеленым. Все остальные элементы карты показывают черным цветом. На

топографических планах подписывают количественные и качественные характеристики лесных массивов, дорог, мостов, бродов, объектов гидрографии, указывают названия населенных пунктов, урочищ, рек, озер, болот.

Картографическое изображение плана ограничивается внутренней рамкой.

В зарамочном оформлении указывают: вариант задания; вид топографической съемки по материалам которой составлен план местности; масштаб плана; высоту сечения рельефа; фамилию студента, выполнившего работу, а также номер группы, в которой он обучается. Образец оформления плана представлен на рисунке 94.

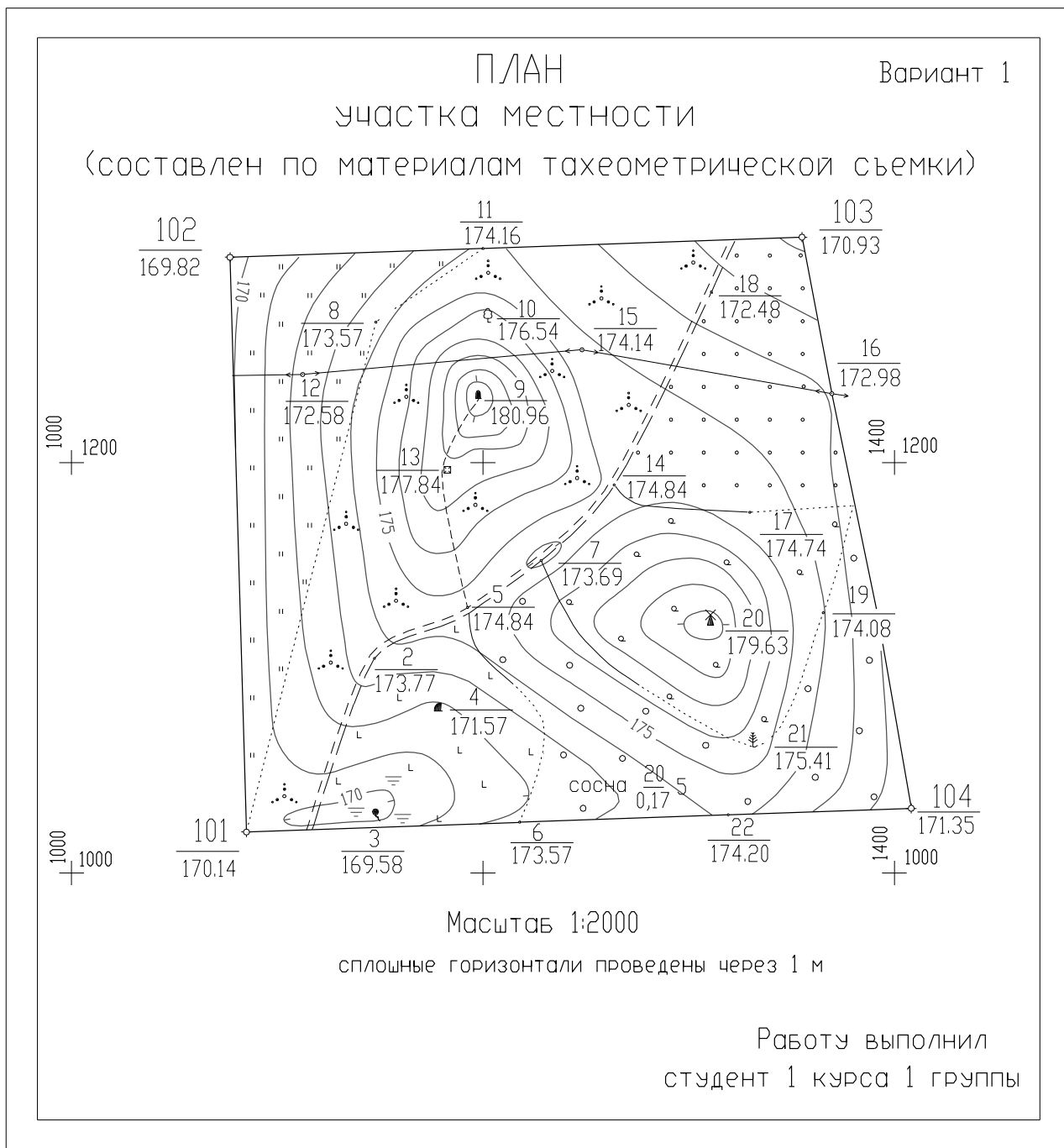


Рисунок 94 – Образец оформления плана.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1. Вопросы к экзамену по дисциплине «Топографии с основами геодезии»

3.1.1. Теоретические вопросы

1. Предмет, задачи и методы топографии и геодезии, связь с другими науками.
2. История возникновения и развития топографии и геодезии.
3. Форма и размеры Земли, методы их определения.
4. Размеры участков земной поверхности, применяемые в топографии за плоские.
5. Топографические планы и карты, их основные свойства и элементы.
6. Системы координат для определения положения точек земной поверхности (прямоугольная, полярная, геоцентрическая и др.).
7. Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера.
8. Географические координаты на топографических картах. Определение географических координат объектов и нахождение объектов по заданным координатам.
9. Прямоугольные координаты на топографических картах. Определение прямоугольных координат объектов и нахождение объектов по заданным координатам.
10. Связь плоской прямоугольной и полярной систем координат. Прямая геодезическая задача.
11. Связь плоской прямоугольной и полярной систем координат. Обратная геодезическая задача.
12. Ориентирование направлений в топографии. Географический и магнитный азимуты, взаимосвязь между ними.
13. Сближение меридианов. Взаимосвязь между географическим азимутом и дирекционным углом.
14. Масштабы топографических карт. Поперечный масштаб, измерение расстояний на картах. Точность масштаба.
15. Разграфка и номенклатура топографических карт.
16. Понятие о картографической генерализации.
17. Определение по номенклатуре карты координат рамок и масштаба карты.
18. Определение по заданным координатам рамок трапеции номенклатуры и масштаба карты.
19. Особенности оформления топографических карт. Зарамочное оформление и содержание топографических карт.
20. Условные знаки топографических карт.
21. Изображение рельефа на топографических картах. Свойства горизонталей, элементы склона.
22. Задачи, решаемые на топографических картах с горизонталями (определение высот горизонталей, взаимных превышений, высот объектов)

расположенных между горизонталями, построение профиля по заданному направлению).

23. Измерения в геодезии и топографии и их виды. Единицы мер применяемые в геодезии.

24. Глобальные (спутниковые) системы позиционирования (GPS, ГЛОНАСС). Космический, наземный и пользовательский секторы системы.

25. Плановая государственная геодезическая сеть (ГГС). Сущность ГГС и методы ее создания.

26. Высотная государственная геодезическая сеть (ГГС) и методы ее создания.

27. Угломерные измерения. Оптические теодолиты, их виды и устройство теодолита 2Т30П.

28. Поверки оптического теодолита 2Т30П, их сущность и последовательность.

29. Определение места нуля (МО) теодолита 2Т30П и вычисление угла наклона.

30. Измерение горизонтальных углов способом приемов.

31. Измерение горизонтальных углов способом круговых приемов.

32. Принцип измерения горизонтального угла теодолитом. Погрешность измерения горизонтальных углов.

33. Измерение вертикальных углов, вычисление горизонтальных проложений линий.

34. Математическая обработка (уравнивание) замкнутого теодолитного хода.

35. Измерение расстояний мерной лентой, введение поправок за наклон линии. Точность измерений.

36. Определение расстояний оптическим нитяным дальномером.

37. Определение высот земной поверхности. Виды нивелирования и их сущность.

38. Геометрическое нивелирование и его способы.

39. Нивелиры, их типы, принцип конструкции и устройство.

40. Поверки нивелира, их сущность и последовательность.

41. Нивелирование трассы. Порядок выполнения работ.

42. Камеральная обработка результатов геометрического нивелирования.

43. Уравнивание нивелирного хода. Нивелирование промежуточных точек и вычисление их высот.

44. Построение профиля по данным геометрического нивелирования.

45. Тригонометрическое нивелирование и его сущность.

46. Физическое нивелирование, разновидности и их сущность.

47. Съёмки местности по созданию топографических карт и планов. Классификация съёмок.

48. Тахеометрическая съёмка, ее сущность и назначение.

49. Производство тахеометрической съёмки. Порядок выполнения работ на станции.

50. Составление плана по данным результатов тахеометрической съемки.
51. Вычисление угловой невязки в замкнутом теодолитном ходе. Оценка ее допустимости и распределение.
52. Рельеф земной поверхности и изображение его на топографических картах.
53. Анализ топографических карт. Основные способы анализа.
54. Аэрофотосъемка, сущность и назначение.
55. Ориентирование на местности и по топографической карте.

3.1.2. Практические вопросы

1. Вычислить горизонтальное проложение линии, измеренную мерной лентой и по дальномеру.
2. Определить географические координаты объекта.
3. Определить прямоугольные координаты объекта.
4. Измерить дирекционный угол по топографической карте и перевести его в магнитный или географический азимут.
5. Определить номенклатуру и масштаб карты по заданным координатам рамок топографической карты.
6. Решение прямой и обратной геодезической задачи.
7. Определить отметку промежуточной точки при геометрическом нивелировании. Дано: $H_{\text{задн.}}$, $a_{\text{задн.}}$, $a_{\text{промеж.}}$ где a - отсчет по рейке.
8. По топографической карте дать характеристику объектов гидрографии, растительности, мостов, паромов, бродов.
9. Вычислить допустимую угловую и абсолютную невязку замкнутого теодолитного хода.
10. Снять отсчет по отсчетному устройству теодолита 2Т30П.
11. Определить расстояние на топографической карте по поперечному масштабу.
12. Определить высоту горизонтали на топографической карте.
13. Вычислить угол наклона местности между горизонталями на топографической карте, пользуясь масштабом заложений.
14. Вычислить МО и угол наклона по измерениям теодолитом 2Т30П. Дано: отсчеты по вертикальному кругу КЛ, КП и МО.
15. Определить угол наклона местности по формуле и масштабу (графику) заложений.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ТОПОГРАФИЯ С ОСНОВАМИ ГЕОДЕЗИИ (90 ЧАСОВ)	1	1		1			ЭКЗАМЕН
1.	ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4						Опрос
2.	ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ И КАРТЫ	1	2		1			Опрос
2.1	Масштабы. Измерение прямых и кривых линий на топографических картах				2			Проверка работ
2.2	Определение прямоугольных и географических (геодезических) координат объектов на топографических картах				4			Проверка работ
2.3	Измерение дирекционных углов заданных направлений на топографических картах и вычисление их географических и магнитных азимутов				4			Проверка работ
2.4	Изображение рельефа на топографических картах				6			Проверка работ
2.5	Определение номенклатуры и масштабов топографических		2		2			Проверка расчетных

	карт							работ
3.	ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ		4		6			Опрос
3.1	Изучение устройства теодолита 2Т30П		2		2			Опрос
3.2	Изучение устройства нивелира 3НЗКЛ и нивелирных реек				2			Опрос
3.3	Математическая обработка теодолитного хода		2					Проверка расчетных работ
3.4	Математическая обработка результатов геометрического нивелирования				2			Проверка расчетно-графических работ
4.	ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЁМКИ		4					Опрос
4.1	Математическая обработка данных тахеометрической съемки		2		4			Проверка расчетных работ
4.2	Составление топографического плана участка местности		2		6			Проверка графических работ

4.2. Рекомендуемая литература

Основная

1. Маслов А. В., Гордеев А. В., Батраков Ю. Г. Геодезия. – М.: КолосС, 2016. – 598 с.
2. Нестеренок, М.С. Геодезия Учебное пособие для студентов специальности 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых (по направлениям)» / М.С. Нестеренок. – Мн.: БНТУ, 2018. – 296 с.
3. Плотников В.С. Геодезические приборы: Учебник для вузов. - М.: Недра, 2016. - 396 с.
4. Поклад Г.Г. Геодезия: учебное пособие для вузов/ Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Академический Проект, 2017. – 592 с. 13. В. Н. Попов, С. И. Чекалин. Геодезия: Учебник для вузов.–М.: «Горная книга», 2017. – 201 с.
5. Юнусов А.Г., Беликов А.Б., Баранов В.Н., Каширкин Ю.Ю. Геодезия: Учебник для вузов. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2016. – 409 с.

Дополнительная

6. Романкевич, А.П. Топография с основами геодезии: Курс лекций / А. П. Романкевич, П. П. Явид. – Минск., БГУ, 2004. – 151 с.
7. Поклад, Г.Г. Геодезия: учебное пособие для студентов высших учебных заведений. / Поклад Г.Г., С.П. Гриднев. – 4-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Академический Проект, 2013. – 537 с.
8. Геодезические инструменты и приборы: Основы расчета, конструкции и особенности изготовления. [Для вузов по специальности «Опт. приборы и спектроскопия»]. - Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1973. – 391 с.
9. Геодезия. Топографические съёмки: Справ. пособие / Ю. К. Неумывакин [и др.]; под ред. В. П. Савиных, В. Р. Ященко. – М.: Недра, 1991. – 318 с.
10. Дементьев В. Е. Современная геодезическая техника и ее применение: учебное пособие для вузов / В. Е. Дементьев. – Изд. 2-е. – Москва: Академический проект, 2008. – 591 с.
11. Закатов, П.С. Курс высшей геодезии. Изд. 4, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 511 с.
12. Захаров, А. И. Геодезические приборы: Справочник / А. И. Захаров – М.: Недра, 1989. – 314 с.
13. Ключин, Е. Б., Инженерная геодезия: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям укрупненного направления «Геодезия и землеустройство» / [Е. Б. Ключин и др.]. – 10-е изд., переработанное и дополненное. – М.: Академия, 2010. – 495 с. – (Высшее профессиональное образование. Геодезия).
14. Курошев, Г. Д. Космическая геодезия и глобальные системы позиционирования / Г.Д. Курошев. – Издательство Санкт-Петербургского университета, 2011. – 184 с.

15. Матвеев С. И. Инженерная геодезия и геоинформатика: Учебник для вузов / Под ред. С.И. Матвеева.— М.: Академический Проект; Фонд «Мир», 2012. — 484 с.— (Gaudeamus: библиотека геодезиста и картографа).

16. Назаров А.С. Координатное обеспечение топографо-геодезических и земельно-кадастровых работ / А. С. Назаров – Минск. – 2008. – 83с.

17. Подшивалов В. П., Инженерная геодезия: учебник для студентов учреждений высшего образования по строительным специальностям / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. - 2-е изд., исправленное. - Минск : Вышэйшая школа, 2014. – 462 с.

18. Селиханович, В.Г. Практикум по геодезии: Учебное пособие / В.Г. Селиханович, В.П. Козлов, Г.П. Логинова / Под ред. В.Г. Селиханович. 2-е изд., стереотипное. Перепечатка с издания 1978 г. – М.: ООО ИД «Альянс», 2006. – 382 с.

19. Топография с основами геодезии / Под. ред. А.П. Божок. – М.: Высшая школа, 1995. – 280 с.

4.3. Электронные ресурсы

1. Учебно-методический комплекс по дисциплине «Топография» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/40242>. – Дата доступа: 31.08.2020.

2. Математическая обработка топографо-геодезических измерений. Составление топографического плана : практикум для студентов фак. географии и геоинформатики / А. П. Романкевич [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/241796>. – Дата доступа: 31.08.2020.

3. Пересчет координат (МСК, СК 63, СК 64, СК 47, WGS 84, ПЗ 90) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geobridge.ru/proj#null>. – Дата доступа: 31.08.2020

4. Программа перевода географических координат (система коорд. 1942 года) точки в номенклатуру листа топокарты, на которой она находится [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.kakras.ru/mobile/book/MapsName.html>. – Дата доступа: 31.08.2020.

Словарь топографо-геодезических терминов

Абрис - схематический план участка местности.

Абсолютная высота – расстояние по вертикали от данного пункта до основной уровенной поверхности, принятой в стране за начало счета высот. В Республике Беларусь принята Балтийская система высот 1977 года.

Абсолютная ошибка – разность между измеренной величиной и её истинным значением.

Атмосферное давление – сила, с которой давит на единицу площади столб атмосферного воздуха, расположенный над этой площадью.

Аэрофотопография – наука, занимающаяся созданием топографических карт фотограмметрическими способами по аэрофотоснимкам.

Аэрофотоснимок – фотографическое изображение местности, полученное с самолета

Аэрофототопографическая съемка – вид топографической съемки, основанной на использовании аэрофотоснимков.

Аэрофототопография – отрасль топографии, занимающаяся созданием топографических карт по материалам фотографической аэро- и космосъемки.

Базис геодезический – расстояние между двумя закрепленными на местности точками, измеренное с высокой точностью и служащее для определения длин сторон триангуляции.

Балка – линейно-вытянутое углубление с пологими и задернованными склонами и плоским дном.

Барическая ступень – расстояние по вертикали в метрах при изменении давления на 1 мм ртутного столба.

Барометрическое нивелирование – вид нивелирования, основанный на физическом законе изменения атмосферного давления с изменением высоты над уровнем моря.

Бергштрих – короткая черточка, установленная перпендикулярно к горизонтали.

Вес измерений – вспомогательное число, характеризующее сравнительную точность результатов измерений и используемое при совместной обработке неравноточных величин.

Весовое среднее – среднее арифметическое из неравноточных измерений какой-либо величины, найденное с учетом весов этих значений

Визирная ось – мнимая линия, соединяющая оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей зрительной трубы геодезического прибора.

Водораздел – линия местности, разделяющая поверхностный сток противоположных склонов возвышенности.

Высота абсолютная – расстояние от точки по отвесной линии до основной уровенной поверхности (уровень Балтийского моря).

Высота сечения рельефа – разность высот двух смежных сплошных горизонталей или расстояние между двумя секущими смежными уровенными поверхностями.

Гаусса проекция – изображение поверхности эллипсоида на плоскости со следующими условиями, предложенными немецким ученым К.Ф. Гауссом: 1) один из меридианов эллипсоида принимается за осевой и изображается на плоскости осью абсцисс (X) с сохранением длин дуг меридиана; 2) проекция конформна (сохраняет на плоскости углы изображаемых фигур).

Географическая долгота – двугранный угол, образованный плоскостью меридиана данной точки и плоскостью начального (Гринвичского) меридиана.

Географическая широта – угол, образованный отвесной линией точки и плоскостью экватора.

Географические координаты – угловые величины, определяющие положение пункта на поверхности земного шара (эллипсоида) относительно начальных плоскостей. Начальные плоскости – плоскость экватора и плоскость нулевого (Гринвичского) меридиана.

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

Геодезическая задача обратная – вычисление по известным координатам двух точек А и В ($X_A : Y_A$ и $X_B : Y_B$) горизонтального проложения S между этими точками и дирекционного угла α направления АВ.

Геодезическая задача прямая – вычисление по известным координатам точки А ($X_A : Y_A$) горизонтальному проложению S и дирекционному углу α линии АВ приращений координат Δx и Δy с последующим определением координат точки В ($X_B; Y_B$).

Геодезическая зона – часть поверхности эллипсоида, ограниченная меридианами с разностью долгот в 6° . Начало счета зон к востоку от Гринвичского меридиана.

Геодезическая сеть – система пунктов на земной поверхности, прочно закрепленных на земной поверхности специальными центрами, положение которых определено в общей для них системе координат и высот.

Геодезия – наука, изучающая форму и размеры Земли (поверхность геоида) и разрабатывающая вопросы создания координатной плановой и высотной основы, для детального изучения физической поверхности Земли средствами и методами топографии и картографии.

Геоид – теоретическая фигура земли, образованная уровенной поверхностью Мирового океана в спокойном состоянии и мысленно продолженная под материком.

Геометрическое нивелирование – вид нивелирования по определению превышений горизонтальным лучом визирования.

Геоцентрические координаты – система, началом координат в которой принят центр масс Земли.

Главные направления – два взаимно перпендикулярных направления в точке карты и соответствующие им направления на эллипсоиде.

Глазомерная съемка – упрощенный способ топографической съемки. (Составление схематического плана участка местности).

Гора – возвышенность высотой более 200 м с хорошо выраженными склонами и подошвой.

Горизонтالي (изогипсы) – линии на карте (плане) объединяющие точки с одинаковой высотой. Выделяют сплошные горизонтали, полугоризонтали и чертветьгоризонтали.

Горизонтальные проложение – проекция наклонной линии местности на горизонтальную плоскость. $S = L * \cos V$

Гравиметр – прибор для относительного измерения силы тяжести, т.е. для измерения разности значений силы тяжести на двух пунктах.

Гравиметрия – наука, изучающая гравитационное поле Земли (поле силы тяжести) и методы его измерения.

Графическая точность масштаба – минимальная линейная величина поперечного масштаба (минимальная линейная величина поперечного масштаба (= 0,1 мм) различима невооруженным глазом.

Гринвичский меридиан – астрономический меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию в Англии. От него ведется счет долгот от 0° до 360° в направлении с запада на восток или в обе стороны от 0° до 180° с припиской "восточная" со знаком плюс и "западная" со знаком минус.

Дальность видимости – предельные расстояния, на которых невооруженным глазом можно опознать объекты.

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

Долина – выработанное рекой понижение, вытянутое в одном направлении с пологими и ясно выраженными склонами.

Заложение – расстояние между смежными горизонталями на карте.

Засечки аналитические угловые – определение положения пункта измерением направлений на него с данных пунктов (прямая засечка), или только с него на данные пункты (обратная засечка), или комбинацией прямых и обратных направлений (комбинированная засечка).

Знаки нивелирные – знаки, закладываемые с целью отметить и закрепить на местности пункты геометрического нивелирования. Существуют фундаментальные и грунтовые реперы, стенные марки и реперы.

Зрительная труба – труба для визирования на наблюдаемые предметы, состоит из объектива и окуляра.

Изогоны – линии на карте, соединяющие точки, с равным магнитным склонением.

Изоколы – линии, соединяющие на карте точки с одинаковыми значениями искажений, обусловленных свойствами картографической проекции.

Изолинии – линии, соединяющие на карте точки с равными значениями какой-либо величины

Интерполирование – отыскание по ряду табличных величин функции ее значения для промежуточного значения аргумента.

Искажения картографического изображения – изменение длин, углов и площадей при изображении поверхности земного эллипсоида (шара) на плоскости в той или другой картографической проекции.

Карта – уменьшенное и обобщенное изображение поверхности Земли или её части с учётом кривизны уровенной поверхности.

Картографическая генерализация – отбор главного, существенного и его целенаправленное обобщение согласно назначению, масштаба и географическим особенностям территории.

Картографическая проекция – математический определённый закон перехода от поверхности эллипсоида к плоскости, который устанавливает аналитическую зависимость между географическими координатами точек на эллипсоиде и прямоугольными координатами этих точек на карте $X=f_1(B,L)$
 $Y=f_2(B,L)$

Картография – наука о географических картах, методах их создания и использования. Три свойства географической карты – а). использование математической основы, б). использование картографических знаков, в). применение на картах картографической генерализации.

Компаратор – прибор для точного определения длины линейных мер.

Компас магнитный – прибор для определения сторон горизонта и измерения на местности магнитных азимутов.

Координатная сетка на топографических картах – сетка, образуемая вертикальными и горизонтальными линиями, параллельными осям прямоугольных координат (Километровая сетка).

Координаты географические – угловые величины, называемые широтой и долготой, определяющие положение точки земной поверхности относительно экватора и начального меридиана. Могут быть астрономическими и геодезическими.

Координаты плоские прямоугольные – система координат, состоящая из двух взаимно перпендикулярных прямых: оси абсцисс и оси ординат, делящих плоскость на четверти. Пересечение осей определяет начало координат.

Космическая (спутниковая) геодезия – раздел геодезии, изучающий проблемы использования искусственных спутников Земли в геодезических целях.

Котловина – вогнутое понижение местности, ограниченное со всех сторон возвышениями.

Крутизна ската – угол, образуемый направлением ската с горизонтальной плоскостью. Крутизна ската на топографический карте определяется по шкале заложений или вычисляется по формуле:

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{h}{s}, \text{ где } \nu \text{ — крутизна ската, } h \text{ - высота верха ската над его основанием,}$$

s - заложение ската. Крутизну ската, не превышающую 20-25°, обычно вычисляют по приближенной формуле: $\nu = 60^\circ \frac{h}{s}$.

Курвиметр – прибор для измерения длины кривых линий на картах и чертежах.

Легенда – пояснение к условным знакам карты.

Лимб – угломерный круг.

Локсодромия – линия на поверхности земного шара или эллипсоида, пересекающая меридианы под одним и тем же углом.

Лощина – небольшое и вытянутое углубление с пологими склонами, переходящими в равнину.

Магнетизм земной – совокупность явлений, связанных с существованием магнитного поля Земли.

Магнитная аномалия – резкое отклонение величин магнитного склонения и наклонения в различных районах поверхности Земли от их средних величин.

Магнитное склонение – угол между северными направлениями географического и магнитного меридианов проходящих через данную точку. Значение бывает положительным, если магнитный меридиан отклоняется к востоку от географического и отрицательным, когда магнитный меридиан отклоняется к западу от географического.

Магнитный азимут – угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана точки до данного направления. Изменяется от 0° до 360°.

Масштаб карты – отношение длины линии на карте к длине горизонтальной проекции (проложению) соответствующей линии местности. Масштаб карты – степень уменьшения горизонтальных проложений отрезков на карте или плане. Формы выражения масштаба – численный, именованный и линейный. Для точного измерения используют поперечный масштаб.

Масштаб топографической карты или плана – отношение длины линий на карте (плана) к длине горизонтального проложения соответствующей линии на местности Масштаб выражается в линейной или числовой форме: линейный, числовой, поперечный, клиновидный (пропорциональный).

Мензула – оборудование, применяемое в комплекте с кипрегелем при топографической съемке. Состоит из квадратной доски (планшета), штатива и механизма, посредством которого планшет закрепляется на штативе.

Мензульная съемка – вид топографической съемки, выполненной непосредственно в поле.

Мензульный ход – ход, прокладываемый для определения положения точек съемочной сети при мензульной съемке на закрытых участках местности, где нет возможности развить геометрическую сеть.

Меридиан – линия сечения земного шара (эллипсоида) плоскостью, проходящей через его ось вращения.

Меркатора проекция – прямая равноугольная цилиндрическая проекция шара или эллипсоида. Меридианы изображаются равностоящими параллельными линиями, а параллели – параллельными прямыми, перпендикулярными к линии меридианов, при постоянной разности широт расстояние между линиями параллелей увеличивается с удалением от экватора к полюсам.

Меры угловые:

1) градусная мера - единица градус $= \frac{1}{90}$ прямого угла, $1^\circ = 60' = 3600''$;

2) десятичная (децимальная) или градусная мера, единица град $= \frac{1}{100}$ прямого угла, обозначается символом g, $1^g = 100^c = 10000^{cc} = 0,9^\circ$;

3) радианная мера, единица - радиан - центральный угол, опирающийся на дугу, длина которой равна ее радиусу, обозначается буквой р, $p = \frac{2}{\pi}$ прямого угла $= 57,2957795131^\circ$;

4) часовая мера, единица - угловой час $\frac{1}{6}$ прямого угла, обозначается буквой h, $1^h = 60^m = 15^\circ$;

Место зенита – отсчет по вертикальному кругу теодолита, если визирная ось зрительной трубы вертикальна.

Наклонение магнитной стрелки – вертикальный угол, образуемый осью магнитной стрелки с горизонтальной плоскостью.

Невязка – ошибка математического соотношения (условия) между измеренными величинами и соответствующими теоретическими вычислениями.

Нивелир – геодезический прибор для определения разности высот точек земной поверхности при помощи горизонтального луча визирования и реек. Нивелиры делятся на две группы: с цилиндрическим уровнем и самоустанавливающейся нивелиры.

Нивелирование – совокупность геодезических измерений и вычислений по определению превышений и высот точек.

Номенклатура карт – буквенное и цифровое обозначение отдельных листов многолистных карт по определённой системе. Основа разграфки и номенклатуры – международная карта масштаба 1:1000000.

Овраг – резко выраженное углубление на местности с крутыми и обрывистыми склонами.

Оптический микрометр в угломерных приборах – приспособление для измерения долей делений лимба путем перемещения изображений его штрихов. Бывают односторонние и двухсторонние.

Ориентирование – определение направления линии на местности или карте относительно исходного направления, а также определения своего местоположения.

Осевой меридиан – средний меридиан геодезической зоны.

Ось цилиндрического уровня – касательная к пузырьку уровня, когда он находится в нуль. пункте (середине).

Относительная высота (превышение) - разность высот двух точек или расстояние по отвесному направлению между уровенными поверхностями, проходящих через эти точки.

Ошибка измерений – отклонение, результатов измерений от истинных или более точных значений измеренных величин. Ошибки измерений, могут быть случайными или систематическими. Суммарное действие источников ошибки называют полной ошибкой результата

Параллель – линия сечения земного шара (эллипсоида) плоскостью, перпендикулярной к его оси вращения.

План – изображение участка местности в уменьшенном и подобном виде, полученное проецированием на горизонтальную плоскость. Бывают контурные и топографические.

Плоские прямоугольные координаты – линейные величины, определяющие положение точки на плоскости относительно начальных направлений (взаимоперпендикулярные оси абсцисс и ординат).

Полигонометрия – метод определения положения геодезических пунктов путем проложения на местности теодолитных ходов, в которых измеряются все углы и стороны и привязки их к опорным пунктам.

Полярные координаты – система координат, в которой положение точки относительно полюса и полярной оси определяется двумя величинами – углом и расстоянием. Полярные оси – географический и магнитный меридианы, а также осевой меридиан геодезической зоны.

Предельная точность масштаба карты – расстояние на местности (горизонтальное проложение) соответствующее 0,1 мм на карте или плане.

Проектор - оптический прибор, при помощи которого на экране воспроизводится то или другие изображение (негатива, диапозитива, фотоснимка, карты).

Профиль – изображение в уменьшенном виде разреза земной поверхности вертикальной плоскостью. Профиль имеет горизонтальный и вертикальный масштабы.

Пункт астрономический – точка земной поверхности, географические координаты которой и азимут ориентирного направления определены астрономическим путем (из наблюдений небесных светил).

Пункт геодезический – пункт геодезической сети, отмеченный на местности заложённым в землю центром и возведённым над ним знаком, окопанным канавой.

Разграфка топографических карт – система деления топографических карт и планов на отдельные листы более крупного масштаба. Разделительные линии – меридианы и параллели.

Рекогностировка участка – предварительное ознакомление с территорией местности.

Рельеф – совокупность неровностей земной поверхности, разных по величине и форме.

Референц-эллипсоид – эллипсоид вращения принятых размеров, определённым образом установленный в теле Земли, на поверхность которого относятся геодезические сети при их вычислении. В СНГ принят эллипсоид Красовского, большая ось $a = 6378246$ м, сжатие эллипсоида - 1:298,3. Малая ось при вычислении равна 6356863 м.

Рефракция горизонтальная – горизонтальный угол между касательной к визирному лучу в месте наблюдений и прямолинейным направлением на наблюдаемый предмет, возникает вследствие неоднородности по плотности и влажности слоев воздуха.

Румб – угол образованный ближайшим направлением меридиана и направлением на объект. Изменяется от 0^0 до 90^0 и обозначается названиями сторон горизонта : СВ, ЮВ, СЗ, ЮЗ.

Сближение меридианов (Гауссово) – угол между географическим и осевым меридианами (или линией ему параллельной) проходящих через данную точку. Бывает восточные (+), если осевой меридиан или линия параллельная ему находятся к востоку от географического и западные (-).

Седловина – понижение между двумя смежными вершинами или возвышенностями.

Способ круговых приемов, способ повторений – методы измерения горизонтальных углов.

Тальвег – линия, соединяющая наиболее низкие точки дна долины, балки, оврага.

Топография – наука, изучающая земную поверхность и расположенные на ней объекты в геометрическом отношении, а также способы её изображения на плоскости. Основной метод изучения – топографическая съёмка.

Трансформирование аэрофотоснимков – преобразование плановых или перспективных снимков в горизонтальные, приведение их к заданному масштабу и уменьшение искажений. Бывают способы: фотомеханический, аналитический, оптико-графический, графический и дифференциальный.

Триангуляция – метод определения взаимного планового положения геодезических пунктов путем построения на местности систем смежно-расположенных треугольников, в которых измеряют все углы, а в сети - длину хотя бы одной стороны, называемой базисом. По последовательности и

точности определения пунктов, а также длин сторон треугольников триангуляция делится на 4 класса и обозначается арабскими цифрами 1,2,3,4.

Тригонометрическое нивелирование – вид нивелирования по определению превышений наклонным лучом визирования и в общем случае сводится к решению прямоугольного треугольника. На местности измеряется угол наклона и наклонное расстояние.

Увал – пологая и вытянутая возвышенность с относительной высотой до 200 м с плоской или слегка выпуклой вершиной и подошвой.

Угловая невязка – разность между суммой измеренных углов и теоретической суммой замкнутого и разомкнутого многоугольника.

Угол вертикальный – угол, лежащий в вертикальной плоскости и называемый углом наклона (от 0° до 90°), вниз от 0° до -90° .

Уровенная поверхность – поверхность, пересекающая отвесные линии во всех ее точках под прямым углом; с физической точки зрения уровенная поверхность – поверхность, во всех точках которой значение потенциала силы тяжести одно и то же.

Условные знаки – обозначения, применяемые на картах и планах для изображения различных объектов местности и определения их качественных и количественных характеристик.

Условные знаки карт – графические обозначения, при помощи которых на картах показываются местоположение предметов и явлений, а также качественные и количественные характеристики. Условные знаки подразделяются на немасштабные, линейные и контурные или площадные.

Фотограмметрия (измерительная фотография) – техническая дисциплина, имеющая своей задачей определение вида и размеров какого-либо объекта путем изучения и измерения не самого объекта, а его фотографического изображения.

Фотоплан – фотографическое изображение местности, полученное в результате монтажа по опорным точкам полезных площадей трансформированных аэрофотоснимков.

Фототеодолитная съемка (наземная стереофотограмметрическая съемка) – метод создания топографических карт по стереоскопическим парам фотоснимков, полученных с точек земной; поверхности.

Фототриангуляция – метод определения опорных точек в камеральных условиях при помощи фотограмметрических приборов или графических построений.

Футшток – рейка с делениями, укрепленная отвесно и неподвижно у прочного берегового сооружения, чтобы делать отсчеты максимального и минимального уровня воды.

Кронштадтский футшток – черта на медной пластине, вделанной в гранитный устой моста через Обводной канал в Кронштадте. На пластине надпись: "Исходный пункт нивелирной сети СССР".

Холм – небольшое округлое возвышение высотой до 200 м с пологими склонами и неясно выраженной подошвой.

Хребет – горная возвышенность относительно большой протяженности с крутыми склонами.

Центр геодезического пункта состоит из заложенных в землю бетонных монолитов, отмечающих и долговременно сохраняющих на местности положение пункта. Точное положение пункта обозначается чугунными марками, заделанными в верхние части монолита. На верхний монолит устанавливается опознавательный столб, выступающий над землей.

Широта – одна из географических координат, может быть астрономической и геодезической. Геодезическая широта точки земной поверхности - угол, образуемый проходящей через эту точку нормалью к поверхности референц-эллипсоида с плоскостью экватора.

Шкала заложений – график, позволяющий по измеренному на топографической карте заложению определить крутизну склона по выбранному направлению. Шкала заложений помещается на каждом листе топографической карты масштабов 1:200000 и крупнее.

Экватор – линия сечения земного шара (эллипсоида) плоскостью, перпендикулярной к его оси вращения и проходящей через его центр.

Экер – прибор, служащий для построения на местности прямых углов.

Эклиметр – портативный прибор для измерения углов наклона линий с точностью до десятых долей градуса.

Элевационный винт – винт с приспособлением, позволяющим изменять в небольших пределах наклон зрительной трубы нивелира.