

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

# **ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
для студентов специальности 1-56 02 01  
«Геодезия»

Составление и общая редакция  
Л.Ф. Зуевой

Новополоцк 2004

УДК 528.48 (075.8)  
ББК 26.11 я73  
О 75

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Л.М. Богданов, главный специалист отдела архитектуры и градостроительства  
Витебского горисполкома;  
С.А. Хохлов, директор коммунального унитарного предприятия по землеустройству,  
геодезии и картографии «Геосфера»;  
Р.З. Мурашко, старший преподаватель;  
В.В. Ялтыхов, канд. техн. наук, старший преподаватель

Рекомендован к изданию методической комиссией геодезического факультета

**О75 Основы инженерных изысканий:** Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-56 02 01  
«Геодезия» / Сост. и общ. ред. Л.Ф. Зуевой. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – 208 с.  
ISBN 985-418-285-1

Разработан на модульной основе согласно действующему в настоящее время образовательному стандарту РД РБ 02100.5.201 – 98. Приведены темы изучаемого курса с указанием объема в часах лекционных и лабораторных занятий, самостоятельной работы студентов. Кратко изложены теоретические основы инженерных изысканий, приводятся глоссарий, литература. Представлены задания, методические указания к выполнению лабораторных работ, примеры решения некоторых типовых задач, вопросы для самоконтроля, вопросы к экзамену, пример экзаменационного теста.

Предназначен для студентов геодезического факультета УО «ПГУ».

**УДК 528.48 (075.8)**  
**ББК 26.11 я73**

ISBN 985-418-285-1

© УО «ПГУ», 2004  
© Л.Ф. Зуева, составление, 2004

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Модуль 0. Введение в курс «Основы инженерных изысканий»	8
Вопросы и задания для самопроверки	10
Глоссарий	11
Рекомендуемые учебно-методические материалы по дисциплине	14
Модуль 1. Виды инженерных изысканий	16
1.1. Инженерно-геодезические изыскания	17
1.2. Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания	23
1.3. Инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка	24
1.4. Геофизические методы разведки	25
1.5. Горно-разведочные и буровые работы	26
1.6. Исследование и испытания грунтов	28
1.7. Инженерно-гидрологические изыскания	29
1.8. Метеорологические изыскания	35
1.9. Экологические изыскания	36
Лабораторный практикум	38
Вопросы и задания для самопроверки	46
Модуль 2. Инженерно-геодезические опорные сети	47
2.1. Назначение, виды и особенности построения опорных геодезических сетей	48
2.2. Принципы проектирования и расчет точности построения опорных геодезических сетей	50
2.3. Системы координат и высот, применяемые в инженерно-геодезических работах	54
2.4. Триангуляционные сети. Методы оценки проектов.	56
Особенности угловых измерений	56
2.5. Сети трилатерации. Оценка точности проектов.	64
Особенности линейных измерений	66
2.6. Линейно-угловые построения	66
2.7. Инженерная полигонометрия. Оценка проектов полигонометрических сетей	74
2.8. Развитие плановых и съемочных сетей теодолитными ходами	81
2.9. Высотные инженерно-геодезические сети	83
2.10. Особенности закрепления геодезических пунктов на территории городов и промышленных площадок	89
Лабораторный практикум	90
Вопросы и задания для самопроверки	102
Модуль 3. Крупномасштабные инженерно-геодезические съемки	105
3.1. Характеристика крупномасштабных планов	105
3.2. Обоснование крупномасштабных съемок	110
3.3. Методы съемки застроенной и незастроенной территории	112
3.4. Особенности топографических съемок застроенных территорий	118
3.5. Съемка подземных коммуникаций	120
3.6. Автоматизация крупномасштабных съемок	127

Вопросы и задания для самопроверки	131
Модуль 4. Инженерные изыскания площадных и линейных сооружений	134
4.1. Состав работ при изысканиях площадных и линейных сооружений	134
4.2. Стадии проектирования	136
4.3. Трассирование линейных сооружений	136
4.4. Параметры и правила трассирования	138
4.5. Технология изысканий магистральных трасс	139
4.6. Камеральное трассирование	140
4.7. Полевое трассирование	143
Лабораторный практикум	158
Вопросы и задания для самопроверки	167
Модуль 5. Геодезические работы при изысканиях, проектировании и строительстве отдельных видов сооружений	169
5.1. Изыскания мостовых переходов	171
5.2. Изыскания трубопроводов	177
5.3. Изыскания воздушных линий электропередач	179
5.4. Геодезические работы при изысканиях аэропортов	181
5.5. Виды гидротехнических сооружений. Стадии их проектирования	187
5.6. Геодезические работы при изысканиях и строительстве каналов	189
5.7. Геодезические работы при гидромелиоративном строительстве	190
Вопросы и задания для самопроверки	193
Модуль-резюме (заключение)	194
Модуль-контроль. Материалы, обеспечивающие проведение итогового контроля качества усвоения знаний студентами	195
Список литературы	207

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит модернизация современного образования. Появились новые тенденции в системе высшего образования: массовость, глобализация, конкуренция в сфере подготовки специалистов, информатизация мира.

Главной задачей образования по-прежнему остается обеспечение высокого качества подготовки специалистов. Также система образования должна быть направлена на формирование социальной и гражданской компетенции у выпускников высших учебных заведений.

Учебно-методический комплекс как педагогическая категория является одним из средств достижения планируемых результатов обучения.

Под УМК будем понимать дидактические материалы, обеспечивающие проективную деятельность обучающихся и обучаемых в образовательном процессе в соответствии с его целями и содержанием, а также спецификой изучаемой дисциплины.

При разработке УМК учитывался общий контекст педагогических инноваций:

- 1) современные дидактические требования к содержанию образования;
- 2) проектирование по принципам модульного обучения;
- 3) соблюдение требований технологизации процесса обучения (образовательных стандартов, педагогических технологий).

Структура учебно-методического комплекса разработана на основании действующего в настоящее время образовательного стандарта РД РБ 02100.5.201 – 98 по специальности 1-56 02 01 – «Геодезия», и рабочей программы по дисциплине «Основы инженерных изысканий», поставленной на кафедре прикладной геодезии и фотограмметрии УО «ПГУ».

В образовательной программе дисциплины «Основы инженерных изысканий» отражаются:

- цель, виды и содержание инженерных изысканий;
- классификация инженерных объектов;
- инженерно-геодезическая основа изысканий, классификация и методы создания;
- требования к расположению и закреплению на местности пунктов инженерно-геодезических построений;
- системы координат в инженерно-геодезических работах;
- состав и виды инженерных изысканий для строительства различных инженерных объектов, стадии проектирования и точность изысканий;

- инженерно-геодезические изыскания, состав документации по их материалам, основные методы и технологии изысканий;
- особенности инженерно-геодезических построений, пути уменьшения искажений в них;
- особенности выполнения крупномасштабных инженерно-геодезических съемок;
- съемки застроенных территорий;
- съемки подземных коммуникаций и линейных сооружений;
- геодезические работы при изысканиях под строительство основных видов сооружений;
- инженерно-геологические и инженерно-гидрометеорологические изыскания;
- основы и роль экономических изысканий;
- методы автоматизации изыскательских работ.

Согласно учебному плану, на изучение данной дисциплины отводится 200 часов (42 ч. – лекций; 42 ч. – лабораторных занятий; 116 ч. – самостоятельная работа студентов).

Структурной единицей УМК является учебный модуль. Модуль – это укрупненная, по сравнению с традиционной темой, единица содержания и процесса обучения, логически заверченный блок, обладающий относительной самостоятельностью и целостностью в рамках учебного курса.

Структура учебного курса определяется в результате следующих действий:

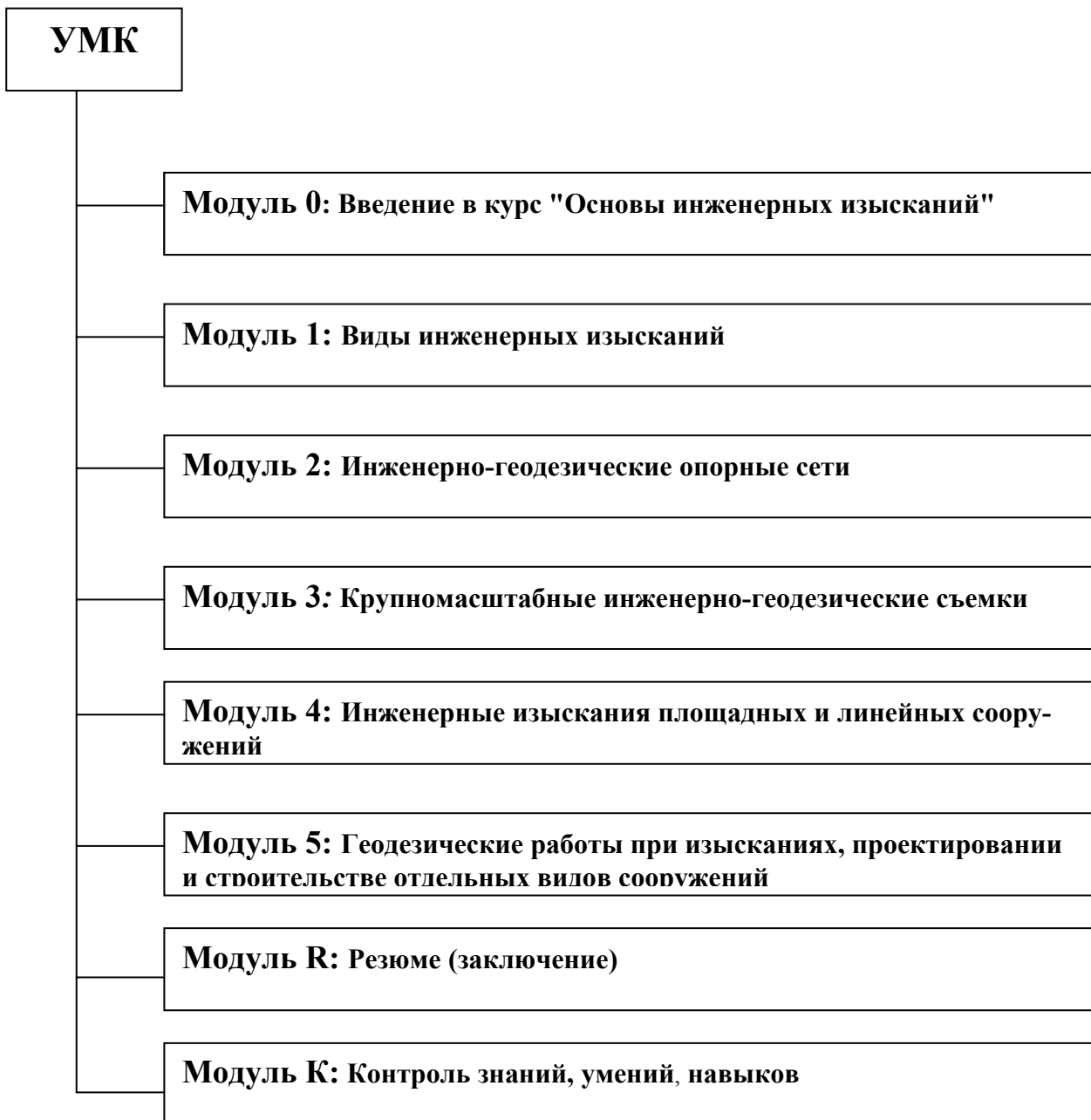
- разделение предметного содержания учебного курса на модули на основе теоретического содержания учебного материала (модули 1,2,3, ..., n);
- выделение модулей дополнительного порядка (вводный, резюме, контроль).

Построение каждого учебного модуля включает в себя следующие действия:

- 1) определение дидактической цели модуля (выражает требования к знаниям, умениям, навыкам и качествам обучаемого);
- 2) выделение учебных элементов в содержании модуля (структура модуля);
- 3) определение дидактических целей учебных элементов, проектирование учебно-познавательной деятельности студентов и управление этой деятельностью со стороны преподавателя;
- 4) определение организационных форм обучения и их координация;
- 5) разработка системы текущего, промежуточного и итогового контроля и коррекции познавательной деятельности студентов (тестирование в сочетании с традиционными методами контроля).

## Модульная структура УМК по дисциплине

### «Основы инженерных изысканий»



## МОДУЛЬ 0: ВВЕДЕНИЕ В КУРС «ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ»

Дидактическая цель

<b>Студент должен знать:</b>	<b>Студент должен уметь:</b>
– виды инженерных сооружений; – основные задачи курса; – состав инженерных изысканий при проектировании различных сооружений.	– определить значение каждого вида изысканий для конкретного проектного решения.

### Учебно-информационный блок вводного модуля

Тема занятия	Тип занятия	Вид (форма) занятия	Количество часов
Введение в курс	Усвоение научных знаний	Лекция	1

**Предмет и задачи дисциплины.** Дисциплина «Основы инженерных изысканий» освещает общие, экономические и технические вопросы, которые решаются на различных этапах создания инженерного сооружения; дает понятие о задачах, решаемых специалистами смежных с геодезией дисциплин, таких, как инженерная геология, гидрогеология, геофизика, гидрология; определяет место и роль топографо-геодезических работ в общем комплексе изысканий.

**Задачи курса:** освоение методов построения инженерно-геодезических сетей; рассмотрение изысканий по видам изучаемых условий с последующим их учетом при проектировании и строительстве тех или иных сооружений.

Успешное проектирование возможно лишь на основе полноценных материалов, собранных в процессе специальных инженерных изысканий.

**Изыскания для строительства.** По направленности изыскания делятся на экономические и технические.

Экономические изыскания проводят для определения географического района размещения и экономической целесообразности строительства, реконструкции или расширения существующего объекта строительства.

Технические изыскания заключаются во всестороннем изучении природных условий района строительства, для рационального размещения зданий и сооружений на местности, а также для разработки проектных решений.



Технические (инженерные) изыскания, в зависимости от изучаемого фактора, подразделяются на следующие виды: инженерно-геодезические (топографо-геодезические), инженерно-геологические, гидрогеологические, гидрологические, гидрометеорологические, почвенно-грунтовые, климатологические, геоботанические изыскания; изыскания месторождений местных строительных материалов; обследование состояния существующих сооружений; сбор данных для составления проекта организации строительства и смет.

Технические изыскания выполняют в три периода: подготовительный, полевой и камеральный. В подготовительный период собирают и изучают необходимые данные по объекту изысканий и намечают организационные мероприятия по проведению изыскательских работ. В полевой период, кроме полевых работ, производят часть камеральных и лабораторных работ, необходимых для обеспечения непрерывности полевого изыскательского процесса и контроля полноты и точности полевых работ. В камеральный период осуществляют обработку всех полевых материалов.

Используемые материалы предыдущих изысканий уточняют путем полевых обследований и проведения полевых и камеральных работ в требуемом объеме. Объем и точность изыскательских работ должны соответствовать требованиям проектирования и строительства, а также предусматривать возможность их использования впоследствии.

Инженерные изыскания выполняют тресты инженерных изысканий и проектно-изыскательские организации соответствующих министерств и ведомств. Производство инженерных изысканий регламентируется государственными стандартами и нормативными документами. На территории Республики Беларусь основными нормативными документами являются: СНБ 1.02.01-96 «Инженерные изыскания для строительства»; СТБ 21303-99 «Система проектной документации для строительства».

**Инженерные сооружения.** К инженерным сооружениям относят различного назначения здания, дорожно-транспортные, гидротехнические сооружения, инженерные сети, специальные сооружения.

**Здания** – это сооружения, имеющие помещения для жилья, культурно-бытовых или производственных целей. Различают промышленные, гражданские и сельскохозяйственные здания. По этажности различают одноэтажные и многоэтажные здания. Здания могут быть бесподвальными, с подвалами, бесчердачными, с чердаками, монолитными и сборными и др.

К **промышленным** зданиям относят производственные, вспомогательные, энергетические, складские и другие здания.

**Гражданские** здания делятся на жилые (дома, гостиницы, общежития) и общественные (школы, театры, магазины, больницы).

**Сельскохозяйственные** – это здания для содержания скота и птицы, хранения и ремонта сельскохозяйственной техники.

По материалу, применяемому для возведения стен, здания делят на каменные, кирпичные, бетонные, железобетонные, деревянные и т. д.

**Дорожно-транспортные** сооружения: железные (сухопутные) и автомобильные (безрельсовые) дороги, тоннели метрополитена, трубопроводы (нефте-, газо-, водопроводы, канализация), водный транспорт (порты, причалы, пристани, паромы), воздушный транспорт (аэродромы, аэропорты) и специальные (подвесные дороги, мостовые переходы, виадуки, эстакады, акведуки и дюкеры).

**Гидротехнические** сооружения: плотины ГЭС, каналы, шлюзы, затворы, судоподъемники, лесопропускные и гидротехнические тоннели, водохранилища, дамбы, волнобой и др.

**Инженерные сети:** воздушные линии электропередач (ЛЭП) и кабельные сети (электросети высокого и низкого напряжения, телефон, телеграф, сигнализация).

**Специальные** сооружения: ускорители, телескопы, радиотелескопы, телевизионные башни, технологические линии, башенные сооружения, высотные здания (16 и более этажей).

### **Вопросы и задания для самопроверки**

1. Какие вопросы освещает данная дисциплина?
2. Как по направленности делятся изыскания?
3. Какова цель технических и экономических изысканий?
4. Назовите инженерные сооружения.
5. Какие здания различают?
6. Что относится к дорожно-транспортным сооружениям?
7. Что относится к гидротехническим сооружениям?
8. Охарактеризуйте инженерные сети.
9. Что относится к специальным сооружениям?

## ГЛОССАРИЙ

**Инженерные изыскания** – это комплексное изучение природных условий предполагаемого участка строительства для получения необходимых данных при проектировании и строительстве для принятия технически правильных и экономически целесообразных решений.

**Технические изыскания** – это изучение природных (естественных) условий возведения сооружений.

**Экономические изыскания** позволяют охарактеризовать хозяйственно-экономическое состояние района будущего строительства и экономически обосновать целесообразность этого строительства.

**Инженерно-геодезические изыскания** позволяют определить пространственно-геометрические характеристики условий, оказывающих влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию инженерных сооружений.

**Инженерно-геологические изыскания** – выяснение геологических условий, оказывающих влияние на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений.

**Геофизические методы разведки** позволяют установить глубинное геологическое строение Земли, ведут его региональное изучение, поисково-съёмочные и поисково-разведочные работы.

**Электроразведка** – изучение электропроводности горных пород.

**Магнитная разведка** – изучение магнитной проницаемости горных пород.

**Гравиметрическая разведка** – изучение плотности горных пород.

**Сейсморазведка** – изучение упругости горных пород.

**Гидрогеологические изыскания** – определение влажности, влагоемкости, водоотдачи, водопроницаемости грунта и наблюдения за режимом грунтовых вод.

**Инженерно-гидрологические изыскания** – изучение вопросов, связанных с водохозяйственным строительством – исследование водного баланса речных систем, водных ресурсов и гидравлического режима рек, формирование русел, зимнего режима водоемов и др.

**Гидрометрические работы** – определение уровней воды в реках, озерах, морях и водохранилищах.

**Промерные работы** – измерение глубин в водоемах и координация точек промеров.

**Инженерно-метеорологические изыскания** изучают влияние различных физических явлений и процессов, происходящих в атмосфере, на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений, на их долговечность и надежность.

**Опорные сети** создаются для обеспечения всех видов инженерно-геодезических работ и служат основой для съемочных и разбивочных работ, составления исполнительной документации и наблюдений за деформациями инженерных сооружений.

**Триангуляция** – геодезическая сеть, в которой измерены все углы и две базисные стороны.

**Трилатерация** – геодезическая сеть, в которой измерены все стороны.

**Линейно-угловая сеть** – геодезическая сеть, в которой измерены все или часть углов и сторон.

**Строительная сетка** – линейно-угловое построение, пункты которого образуют сетку квадратов или прямоугольников.

**Полигонометрия** – линейно-угловое построение, состоящее из одиночных ходов, систем ходов с узловыми точками или систем замкнутых полигонов.

**Геометрическое нивелирование** – нивелирование при помощи геодезического прибора с горизонтальной визирной осью, превышение определяется как разность отсчетов по нивелирным рейкам.

**Тригонометрическое нивелирование** – нивелирование наклонным лучом геодезического прибора, состоящее в измерении расстояния и угла наклона между двумя точками с последующим вычислением превышения по тригонометрическим формулам.

**Генеральный план** – крупномасштабный топографический план, на котором изображают весь комплекс наземных, воздушных и подземных сооружений.

**Топографическая съемка** – комплекс геодезических работ, выполняемых на местности для составления топографических карт и планов.

**Точность плана** – суммарная средняя квадратическая погрешность в плановом и высотном положении точек ситуации и рельефа.

**Детальность плана** – степень генерализации изображения, т. е. степень соответствия контуров и элементов рельефа на плане и на местности.

**Полнота плана** – степень его насыщенности элементами ситуации и рельефа, изображение которых необходимо для проектирования и возможно при принятом масштабе плана и высоте сечения рельефа.

**Горизонтальная съемка** – составная часть аналитического метода съемки застроенной территории, съемке подлежат фасады зданий и ситуация проездов, а также внутриквартальная застройка и ситуация.

**Высотная съемка** – составная часть аналитического метода съемки застроенной территории, выполняемая геометрическим нивелированием.

**Съемка подземных коммуникаций** – специальная съемка, включающая отыскание и координирование точек подземных инженерных сетей.

**Инженерно-топографическая съемка** – применяется в строительстве и включает аналитическое координирование точек зданий и сооружений (углов опорных зданий, центров колодцев подземных коммуникаций, вершин поворотов и примыканий путей сообщения и др.).

**Габаритная съемка** – специальная съемка, включающая обмер зданий.

**Стадии проектирования:**

1. технико-экономическое обоснование (стадия предпроектной документации)

2. технический проект

3. стадия рабочих чертежей.

**Линейные сооружения** – большая группа инженерных строительных объектов или сооружений, имеющих значительное превышение одного из своих измерений (длины) над двумя другими.

**Площадные сооружения** – различного назначения здания; комплексы гражданских и промышленных зданий и сооружений.

**Трасса** – ось проектируемого линейного сооружения, которая обозначена на местности или нанесена на топографическую карту, фотоплан или же задана координатами в цифровой модели местности.

**Трассирование** – комплекс инженерно-изыскательских работ по выбору трассы, которая должна соответствовать всем техническим требованиям проектирования и иметь наименьшие затраты на возведение и эксплуатацию.

**Камеральное трассирование** – проектирование трассы по топографическим картам, фотопланам или цифровым моделям местности.

**Полевое трассирование** – выбор и разбивка трассы непосредственно на местности.

**Ватерпасовка** – измерение линий в наклонной местности и пересеченной местности с помощью мерных приборов (без введения поправки за наклон).

**Круговая кривая** – кривая постоянного радиуса, которая разбивается на поворотах трассы линейных сооружений.

**Переходная кривая** – кривая переменного радиуса, которая разбивается на поворотах трассы линейных сооружений и обеспечивает более плавный переход от прямого участка к участку круговой кривой.

**Вертикальная кривая** – кривая большого радиуса, которая разбивается на переломах продольного профиля трассы.

**Детальная разбивка кривых** – получение точек на кривой так часто, чтобы дугу между ними можно было принять за прямую линию.

**Нивелирование трассы** выполняют по пикетным точкам, поперечным профилям и установленным вдоль трассы реперам для составления продольного и поперечных профилей.

**Автоматизированная система выбора и проектирования трасс** основана на применении цифровой модели местности в качестве топографической основы и ЭВМ большой мощности для расчетов, проектирования вариантов и составления проектной документации.

## РЕКОМЕНДУЕМЫЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### Основная литература:

1. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. – М.: Недра (1 часть), 1981.
2. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. – М.: Недра (2 часть), 1983.
3. Климов О.Д. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений. – М.: Недра, 1991.
4. Лебедев Н.Н. Практикум по курсу прикладной геодезии. – М.: Недра, 1977.
5. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2001.
6. СНБ 1.02.01. – 96 Инженерные изыскания для строительства. – Мн., 1996.

#### Дополнительная литература:

7. Климов О.Д. Основы инженерных изысканий. – М.: Недра, 1974.
8. Большаков В.Д., Ключин Е.Б., Васютинский И. Ю. Изыскания и проектирование инженерных сооружений (справочное пособие), – М.: Недра, 1991
9. Инструкция о построении государственной геодезической сети. – М.: Недра, 1991.
10. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – М.: Недра, 1982.
11. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Недра, 1990.
12. Справочное пособие по прикладной геодезии под ред. В.Д. Большакова. – М.: Недра, 1987.
13. Батраков Ю.Г. Геодезические сети сгущения. – М.: Недра, 1987.
14. Бронштейн Г.С. Строительные геодезические сетки. – М.: Недра, 1984.
15. Бронштейн Г.С., Эфенден П.С. Инженерно-геодезические разбивочные сети. Справочник. – М.: Недра, 1993.

#### Методические указания:

16. Методические указания к выполнению лабораторных работ по разделу «Плановые инженерно-геодезические сети» для студентов специальности 3001 / Составитель Мурашко Р.З., – Новополоцк: НПИ, 1989.
17. Методические указания «Предрасчет точности геодезических сетей на ПЭВМ IBM PS/AT» для студентов специальности 3001 / Составитель Мицкевич В.И., – Новополоцк: ПГУ, 1993.

# МОДУЛЬ № 1 «ВИДЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ»

## Дидактические цели

Студент должен знать:	Студент должен уметь:
<ul style="list-style-type: none"> <li>– виды инженерных изысканий;</li> <li>– состав работ при инженерно-геодезических изысканиях;</li> <li>– состав работ при инженерно-геологических изысканиях;</li> <li>– состав работ при гидрогеологических изысканиях;</li> <li>– состав работ при гидрологических изысканиях;</li> <li>– состав работ при инженерно-метеорологических изысканиях;</li> <li>– геодезическое обеспечение проведения всех видов технических изысканий;</li> <li>– особенности проведения экономических изысканий.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– рекомендовать состав инженерных изысканий для проектирования различных сооружений;</li> <li>– разрабатывать программу комплексных изысканий для различных стадий проектирования;</li> <li>– обосновать точность геодезических работ при проведении различных видов изысканий.</li> </ul>

## Учебно-информационный блок

Тема занятия	Тип занятия	Вид (форма) занятия	Количество часов
УЭ – 1. Инженерно-геодезические изыскания: – состав работ; – геодезическое обеспечение других видов изысканий.	Усвоение научных знаний Углубление и систематизация знаний	Лекция Лабораторные занятия Самост. работа	1 2 6
УЭ – 2. Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания: – состав работ при инженерно-геологических изысканиях;	Усвоение научных знаний Углубление и систематизация знаний	Лекция Лабораторные занятия	1 2
– состав работ при гидрогеологических изысканиях.		Самост. работа	10
УЭ – 3. Гидрологические и инженерно-метеорологические изыскания: – состав работ при гидрологических изысканиях; – состав работ при инженерно-метеорологических изысканиях.	Усвоение научных знаний Углубление и систематизация знаний	Лекция Лабораторные занятия Самост. работа	1 4 6
УЭ – 4. Экономические изыска-	Усвоение научных		



ния: – виды экономических изысканий; – принципы планирования и организации изысканий; – расчет затрат на строительство.	знаний Углубление и систематизация знаний	Лекция	1
		Самост. работа	2
<i>Всего по модулю: 36 часов</i>			
УЭ – К. Контроль знаний по модулю: <b>опрос, защита лабораторных работ</b>			

### 1.1. Инженерно-геодезические изыскания

В состав **инженерно-геодезических изысканий** для строительства входят:

- 1) сбор и обработка материалов изысканий прошлых лет, топографо-геодезических, картографических и других материалов и данных;
- 2) рекогносцировочное обследование территории;
- 3) создание (развитие) опорных геодезических сетей, включая геодезические сети специального назначения для строительства;
- 4) создание планово-высотных съемочных геодезических сетей;
- 5) топографическая (наземная, аэрофототопографическая, стереофотограмметрическая и др.) съемка, включая съемку подземных и надземных сооружений;
- 6) обновление топографических (инженерно-топографических) и кадастровых планов в графической, цифровой, фотографической и иных формах;
- 7) инженерно-гидрографические работы;
- 8) геодезические работы, связанные с переносом в натуру и привязкой горных выработок, геофизических и других точек инженерных изысканий;
- 9) геодезические стационарные наблюдения за деформациями оснований зданий и сооружений, земной поверхности и толщи горных пород в районах развития опасных природных и техноприродных процессов;
- 10) инженерно-геодезическое обеспечение информационных систем поселений и государственных кадастров (градостроительного и др.);
- 11) создание (составление) и издание (размножение) инженерно-топографических планов, кадастровых и тематических карт и планов, атласов специального назначения (в графической, цифровой и иных формах);
- 12) камеральная обработка материалов;
- 13) составление технического отчета.

*В состав инженерно-геодезических изысканий для строительства линейных сооружений дополнительно входят:*

- камеральное трассирование и предварительный выбор конкурентоспособных вариантов трассы для выполнения полевых работ и обследований;
- полевое трассирование;
- съемки существующих железных и автомобильных дорог, составление продольных и поперечных профилей, пересечений линий электропередач, линий связи, объектов радиосвязи, радиорелейных линий и магистральных трубопроводов;
- координирование основных элементов сооружений и наружные обмеры зданий (сооружений);
- определение полной и полезной длины железнодорожных путей на станциях и габаритов приближения строений.

При инженерно-геодезических изысканиях в период строительства и эксплуатации предприятий, зданий и сооружений в соответствии с техническим заданием заказчика выполняются следующие виды работ:

- определение проектного положения объекта строительства (зданий и сооружений) на местности;
- создание геодезической разбивочной сети (основы) для строительства;
- геодезические разбивочные и привязочные работы в процессе строительства в соответствии с рабочей документацией;
- геодезический контроль точности геометрических параметров зданий и сооружений в процессе строительства;
- исполнительные геодезические съемки планового и высотного положения зданий (сооружений) и инженерных коммуникаций;
- контрольные исполнительные съемки законченного строительством зданий (сооружений) и инженерных коммуникаций;
- наблюдения за осадками и деформациями зданий и сооружений, земной поверхности, в том числе при выполнении локального мониторинга за опасными природными и техноприродными процессами;
- специальные стереофотограмметрические съемки по определению геометрических размеров элементов зданий, сооружений, технологических установок, архитектурных и градостроительных форм;
- геодезические работы при монтаже оборудования, выверке подкрановых путей и проверке вертикальности колонн, сооружений и их элементов;
- геодезические работы по определению в натуре скрытых подземных сооружений при ремонтных работах и др.;
- составление исполнительной геодезической документации.

*Техническое задание* на выполнение инженерных изысканий для строительства составляется заказчиком, как правило, с участием исполни-

теля инженерных изысканий; подписывается руководством организации (заказчиком) и заверяется печатью.

Техническое задание на выполнение инженерных изысканий может выдаваться как на весь комплекс инженерных изысканий, так и отдельно, по видам инженерных изысканий и стадиям проектирования.

Техническое задание на выполнение инженерных изысканий для строительства должно содержать следующие сведения:

- наименование объекта;
- вид строительства (новое строительство, реконструкция, расширение, техническое перевооружение, консервация, ликвидация);
- о стадийности, сроках проектирования и строительства;
- характеристику проектируемых и реконструируемых предприятий (геотехнические категории объектов), уровни ответственности зданий и сооружений;
- характеристику ожидаемых воздействий объектов строительства на природную среду; необходимые исходные данные для обоснования мероприятий по рациональному природопользованию и охране природной среды, обеспечению устойчивости проектируемых зданий и сооружений и безопасных условий жизни населения;
- сведения и данные о проектируемых объектах, мероприятиях инженерной защиты территорий, зданий и сооружений, о необходимости санации территории;
- цели и виды инженерных изысканий;
- перечень нормативных документов;
- данные о местоположении и границах площадки или трассы строительства;
- сведения о ранее выполненных инженерных изысканиях и исследованиях;
- дополнительные требования к производству отдельных видов инженерных изысканий, включая отраслевую специфику проектируемого сооружения;
- требования к точности, надежности, достоверности и обеспеченности необходимых данных и характеристик при инженерных изысканиях для строительства;
- требования к составлению и содержанию прогноза изменений природных и техногенных условий;
- сведения о необходимости выполнения исследований в процессе инженерных изысканий;

- требования к оценке опасности и риска от природных и техноприродных процессов;
- требования к составу, срокам, порядку и форме представления изыскательской продукции заказчику;
- требование о составлении и представлении в составе договорной документации программы инженерных изысканий на согласование заказчику;
- наименование и местонахождение организации заказчика, фамилия, инициалы и номер телефона (факса) ответственного его представителя.

Техническое задание дополнительно должно содержать:

- сведения о принятой системе координат и высот;
- данные о границах и площадях топографической съемки (обновления планов);
- указания о масштабе топографической съемки и высоте сечения рельефа по отдельным площадкам, включая требования к съемке подземных и надземных сооружений;
- данные к трассированию линейных сооружений;
- требования к стационарным геодезическим наблюдениям в районах развития опасных природных и техноприродных процессов;
- требования к составу, форме и срокам представления отчетной технической документации.

К техническому заданию должны прилагаться графические и текстовые документы, необходимые для организации и проведения инженерных изысканий на соответствующей стадии проектирования: копии имеющихся топографических карт, инженерно-топографических планов, ситуационных планов (схем) с указанием границ площадок, участков и направлений трасс, генеральных планов (схем) с контурами проектируемых зданий и сооружений, картограммы, копии решений органа местного самоуправления о предварительном согласовании места размещения площадок (трасс) или акта выбора площадки (трассы) строительства, копия решения органа исполнительной власти о предоставлении земель для проведения изыскательских работ и исследований, копии договоров с собственниками земли и другие необходимые материалы.

*Проект (программа)* составляется на полный комплекс изыскательских работ и является основным документом, который состоит из текстовой части и приложений.

Проект составляют для комплекса работ, требующих предварительной разработки специальных методов их выполнения и расчета точности создаваемых геодезических сетей, а также при изысканиях для строительства крупных и сложных предприятий и сооружений или при выполнении

работ в сложных природных условиях (в районах распространения оползней, селей, лавин, карста, сейсмоактивных районах).

Программа производства геодезических изысканий составляется для несложного и небольшого по объему комплекса работ (создается по типовым схемам) и является внутренним документом исполнителя инженерных изысканий.

При отсутствии требования заказчика о включении программы инженерных изысканий в состав договора (контракта) допускается взамен программы составлять предписание на производство инженерных изысканий.

Программа инженерных изысканий должна полностью соответствовать техническому заданию заказчика и содержать его требования, принятые к выполнению исполнителем инженерных изысканий, в том числе:

- цели и задачи инженерных изысканий;
- характеристику степени изученности природных условий территории по материалам ранее выполненных инженерных изысканий и других архивных данных, а также оценку возможности использования этих материалов и данных;
- краткую характеристику природных и техногенных условий района, влияющих на организацию и производство инженерных изысканий;
- обоснование при необходимости расширения границ территории проведения инженерных изысканий, с учетом сферы взаимодействия проектируемых объектов с природной средой, категорий сложности природных и техногенных условий, а также необходимой детальности изыскательских работ, состава, объемов, методов и технологии выполнения инженерных изысканий (с учетом требований заказчика к их качеству), мест (пунктов) производства отдельных видов изыскательских работ и последовательность их выполнения;
- обоснование применения современных нестандартизированных технологий (методов) производства инженерных изысканий для строительства в различных природных и техногенных условиях;
- обоснование установления характеристик и параметров отдельных компонентов природной среды и происходящих в ней процессов на территории и в пределах зоны предполагаемого воздействия (по объектам, отнесенным к экологически опасным видам хозяйственной деятельности, а при необходимости и по другим объектам);
- мероприятия по обеспечению безопасных условий труда, охраны здоровья, по санитарно-гигиеническому и энергоинформационному благополучию работающих с учетом природных и техногенных условий и характера выполняемых работ;

- мероприятия по охране окружающей среды и исключению ее загрязнения и предотвращению ущерба при выполнении инженерных изысканий;
- требования к организации и производству изыскательских работ (состав, объем, методы, технология, последовательность, место и время производства отдельных видов работ), контроль за качеством работ;
- перечень и состав отчетных материалов, сроки их представления;
- обоснование необходимости выполнения научно-исследовательских работ при инженерных изысканиях для проектирования крупных и уникальных объектов или в сложных природных и техногенных условиях;
- сведения по метрологическому обеспечению.

К программе инженерных изысканий для строительства должна прилагаться копия технического задания и другая документация, необходимая для производства изыскательских работ.

В программе инженерно-геодезических изысканий дополнительно должны быть представлены:

- обоснование видов и схемы построения опорной геодезической сети, в том числе геодезической сети специального назначения для строительства; плотности геодезических пунктов и точности определения их планово-высотного положения;
- сведения о способе закрепления пунктов (точек) на местности;
- данные о методе выполнения топографической съемки;
- данные по трассированию линейных сооружений;
- данные по инженерно-геодезическому обеспечению выполнения других видов инженерных изысканий (исследований);
- сведения об использовании программных средств для камеральной обработки результатов геодезических измерений и создания инженерно-топографических планов (цифровых инженерно-топографических планов).

Текстовая часть содержит следующие разделы: общие сведения; краткая физико-географическая характеристика района работ; геодезическая и топографическая изученность района работ; проектируемые опорные и съемочные геодезические сети; топографические съемки; съемка подземных коммуникаций и сооружений, инженерно-геологических выработок и других точек; технический контроль и приемка работ; сроки, объемы и стоимость проектируемых работ; перечень выпускаемых материалов.

В приложениях приводятся копия технического задания заказчика; схема топографо-геодезической и картографической изученности района (площадки, трассы) работ; схема проектируемой опорной геодезической сети, в том числе геодезических сетей специального назначения для строительства; картограмма расположения площадок топографической съемки;

чертежи геодезических центров (если намечена их закладка); топографические карты, инженерно-топографические планы и планы инженерных коммуникаций с указанием проектных вариантов трасс линейных сооружений. Допускается совмещение прилагаемых схем, картограмм и других графических материалов.

## **1.2. Инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания**

Инженерно-геологические изыскания выполняются для выяснения геологических условий, влияющих на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений. К этим условиям относят общие физико-географические (рельеф, климат, гидрографию, гидрологию и др.), геоморфологические (строение рельефа и его формирование), гидрогеологические факторы, геологическое строение, геологические процессы и их интенсивность, физико-механические свойства горных пород, влияющие на прочность и устойчивость оснований сооружений. Эти изыскания выполняют геологи в тесном взаимодействии с геодезистами.

Объем и содержание изысканий зависит от степени геологической изученности района, стадии проектирования, характера использования территории для строительства и сложности геологических условий.

Инженерно-геологические изыскания делят на три периода:

1) *подготовительный*, включающий подготовку и оформление задания на проведение изысканий; сбор и анализ ранее выполненных изысканий; составление программы изысканий;

2) *полевой*, включающий рекогносцировку территории; инженерно-геологическую съемку; гидрогеологическую съемку; геофизическую разведку (электро-, сейсмо-, магнитная и гравиметрическая разведки); горно-разведочные и буровые работы; стационарные наблюдения; полевые опытные работы и лабораторные исследования;

3) *камеральный*, связанный с составлением отчета; инженерно-геологических разрезов; геолого-литологической, геоморфологической, гидрогеологической и других карт.

Гидрогеологические изыскания заключаются в изучении водно-технических свойств грунтов (влажность, влагоемкость, водоотдача, водопроницаемость), а также свойства подземных вод, скорости и направление их течения, определяют типы (верховодка, собственно грунтовая и межпластовая вода) и глубины залегания грунтовых вод. Режим грунтовых вод характеризуется изменениями во времени уровня, температуры, химического и газового состава.

Полевые гидрогеологические работы заключаются в опытных откачках, нагнетаниях, наливах, определении направления и скорости движения грунтовых вод.

К гидрогеологическим работам относят и стационарные наблюдения за режимом грунтовых вод.

### **1.3. Инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка**

Инженерно-геологическая съемка ведется в разных масштабах: при составлении проекта планировки и размещения первоочередного строительства – 1:5000 – 1:25000; для разработки проекта детальной планировки и застройки укрупняется до масштаба 1:1000 – 1:2000.

В процессе съемки изучают, фотографируют и описывают естественные и искусственные обнажения горных пород, геоморфологические элементы и геологические явления, проявления водоносности, определяют местоположение геологических выработок, производят отбор проб горных пород и подземных вод для лабораторных исследований, обследуют состояние существующих инженерных сооружений и месторождений строительных материалов. Результаты съемки отражаются в дневнике и полевых картах. Может проводиться аэро- и наземная инженерно-геологическая съемка (маршрутная или площадная).

Одновременно с инженерно-геологической съемкой ведется гидрогеологическая съемка, в ходе ее дают описание поверхностных водоемов и рек; естественных источников – колодцев, шахт, разведочных выработок. В процессе выполнения съемки бурятся неглубокие (10 – 15 м) скважины, проводят пробные откачки воды.

При описании водных источников по возможности указывают глубину залегания подземных вод, химический состав, расходы воды в реках и другие данные.

Проведение гидрогеологических изысканий особенно важно для гидротехнических сооружений.

Инженерно-геологические и гидрогеологические карты составляют на основе топографических карт.

Для составления карт используют результаты геологической съемки, геофизических и геохимических исследований, результаты изучения образцов горных пород, руд, флоры и фауны, гидрологических и инженерно-геологических наблюдений, опробывания полезных ископаемых, проходки горных выработок и буровых скважин.

Привязка обнажений, скважин, шурфов и других выработок производится по имеющимся топографическим картам наиболее крупного мас-



штаба, фотопланами фотосхемам или к пунктам геодезической сети. Отметки устьев выработок определяют по карте или методом барометрического нивелирования. При поисково-разведочных работах перенос в натуру проекта выработок и их привязка осуществляется по четким контурным точкам на топографических картах и фотопланах или от пунктов геодезической опорной сети (засечками, полярным методом, проложением теодолитных и тахеометрических ходов). Погрешности привязки определяют масштабом карты. Отметки устьев выработок находят с погрешностью 1 – 2 м. Перенос в натуру и привязка выработок в плановом положении – с погрешностью не более 1 м, в высотном – 0,3; 0,5; 1 м и более в зависимости от назначения горных выработок. Обычно отметки устьев выработок определяются методами тригонометрического или геометрического нивелирования с погрешностью порядка 0,3 м.

#### **1.4. Геофизические методы разведки**

Геофизические методы разведки основаны на изучении физических явлений и процессов, обусловленных строением Земли и земной коры.

Электроразведка основана на изучении условий прохождения электрического тока через различные горные породы (изучение разности электропроводности). Используется с целью геологического картирования при инженерно-геологических изысканиях различных сооружений. Применяются электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование, способ вызванной поляризации, аэроэлектроразведка (метод бесконечно длинного кабеля и индукционный), радиопросвечивания и радиолокации.

Геодезическое обеспечение электроразведки состоит в разбивке на местности профиля или системы параллельных профилей, закреплении на местности точек наблюдений. Плановая погрешность – 2 мм в масштабе карты, высотная – 2 % от глубины залегания опорного горизонта.

Магнитная разведка основана на изучении особенностей геомагнитного поля Земли, то есть изучаются магнитные свойства горных пород. Различают площадную и маршрутную (профильную) магнитную съемку.

К геодезическим работам при магнитной разведке можно отнести маршрутную съемку при поисковых работах, точность измерения расстояний допускается порядка 1:50. В случае обнаружения аномалий ведется площадная съемка, прокладывают систему параллельных маршрутов. Плановая привязка выполняется с точностью 1 – 2 мм в масштабе карты, высоты, как правило, не определяют.

Сейсмическая разведка основана на наблюдениях за скоростью распространения упругих волн в земной коре, вызванных искусственными со-

трясениями (взрывы, удары). Сейсморазведка применяется для изучения строения земной коры, поисков и подготовки к разведочному бурению нефтегазоносных структур и др. Сейсморазведка ведется одиночными маршрутами с шагом 2 – 10 м и площадями, производится методом отраженных волн или корреляционным методом преломленных волн.

Геодезическое обеспечение сейсморазведки состоит в разбивке на местности профилей с закреплением на них точек взрыва и точек расположения сейсмоприемников, также производится определение координат и высот этих точек, составлении вертикальных разрезов по линии профиля. Погрешность в положении профиля по отсчетной карте относительно пунктов плановой геодезической основы не должна превышать 2 мм, а в высотном положении в зависимости от скорости распространения волн от 3 см при  $v = 200$  м / с до 1 м при  $v = 5000$  м / с.

Гравиметрическая разведка основана на измерениях силы тяжести, которые ведутся специальными приборами – гравиметрами, вариометрами и градиентометрами. Применяется для тектонического районирования больших территорий, выявления и локализации геологических структур с пониженной плотностью, благоприятных для скопления полезных ископаемых (нефти, газа, отчасти – угля).

Гравиметрические пункты располагают на четких, хорошо опознаваемых контурах местности. Гравиметрические работы ведутся для определения аномалий силы тяжести, по которым составляются специальные гравиметрические карты.

Геодезические работы при гравиметрической съемке заключаются в определении координат и высот пунктов наблюдений, учете влияния рельефа местности и подготовке топографической основы для составления гравиметрических карт. Для введения поправки за рельеф на площадке вокруг гравиметрического пункта выполняют нивелирование.

В настоящее время применяется и аэрогравиразведка с усовершенствованными морскими гравиметрами. Однако этот метод находит ограниченное применение как малопроизводительный и дорогостоящий для изысканий.

## **1.5. Горно-разведочные и буровые работы**

Горно-разведочные и буровые работы ведутся с целью поиска подземных ископаемых и осуществления съемочных работ при проведении инженерно-геологических изысканий. Они необходимы для отыскания наиболее благоприятного места для расположения инженерного сооружения и оценки инженерно-геологических условий выбранного для строительства участка.

Данный вид работ позволяет определить напластования грунтов и их характеристики более детально, нежели при выполнении инженерно-геологической съемки. Расстояния между выработками могут составлять 20 – 200 м в зависимости от вида проектируемого сооружения.

Горные выработки могут быть открытыми и подземными. Кроме того, различают вертикальные, наклонные и горизонтальные выработки.

К открытым выработкам относятся: прикопка, полушурф, шурф, карьер, расчистка, канава, траншея, шахта, штольня. К подземным можно отнести: гезенок, тоннель, квершлаг, штрек, орг, бремсберг, уклон, скат, камера.

Горно-разведочные работы предварительно проектируют на топографической основе, а затем выработки переносят в натуру. Для устройства горных выработок выполняют маркшейдерские работы, которые состоят из разбивки горных выработок и задания их направления, контроля за состоянием выработок, выполнения горизонтальной и вертикальной съемок, соединительной съемки (ориентирования), составления маркшейдерских планов и разрезов, изучения геометрии залегания и качества полезного ископаемого, составления горнометрических графиков.

При горно-разведочных работах обнажаются значительные участки месторождений, что позволяет определить элементы залегания и зарисовать или сфотографировать их.

Буровые работы выполняют для определения параметров, нужных для подсчета запасов полезных ископаемых; изучения геологических разрезов; дают возможность выявления последовательности залегания пластов, их мощности, состава, плотности, влажности, водоносности, а также отбора образцов пород, проб воды и испытания грунтов.

В процессе бурения горные породы разрушаются и образуется цилиндрическая горная выработка для взрывных работ – шпур (диаметром до 75 мм и глубиной до 6 м) или скважина (диаметром более 75 мм и глубиной свыше 6м). Скважины при инженерно-геологических изысканиях проходят диаметром от 89 до 168 мм, для гидрогеологических работ – 253 мм и более.

Различают механическое, термическое и ручное бурение. Бурение скважин выполняют ударным, вращательным и ударно-вращательным способами. Из скважин отбирают керны через определенные интервалы с забоя или стенок скважины грунтоносом, они используются для определения элементов залегания пород.

По результатам буровых журналов составляются инженерно-геологические разрезы, направление разрезов выбирается с таким расчетом, чтобы с наибольшей полнотой отразить характеристики грунтов.

Также проводятся мероприятия по поиску месторождений местных строительных материалов (песка, галечника, камня и др.) для установления запасов материалов, их качества и выяснения условий эксплуатации (мощность, наличие подземных вод и др.).

### **1.6. Исследование и испытания грунтов**

Для успешного расчета оснований инженерных сооружений необходимо хорошо знать основные строительные свойства грунтов, таких, как объемный и удельный вес, влажность, пористость, консистенция, модуль деформации, сцепление, сопротивление сдвигу.

В основном характеристики грунтов получают лабораторным путем (испытания горных пород). Но эти исследования могут быть выполнены и полевыми методами, чаще всего это необходимо для уточнения расчета основания сооружения – это сопротивление грунта сжатию и сдвигу.

Испытания грунтов статической нагрузкой проводят для определения модуля сжимаемости и выяснения просадочных свойств при замачивании, их ведут в шурфах глубиной до 6 м и буровых скважинах до 15 м. Испытания доводят до нагрузок, несколько превышающих нагрузку на породы от основания.

Иногда ведут испытания до предельной (критической) нагрузки, которую определяют по появлению валика выпирания или трещин вокруг штампа, по деформированию пород, которое продолжается не менее суток, по резкому увеличению осадки при незначительном увеличении нагрузки. Осадку измеряют с точностью до 0,2 – 1 мм с помощью нивелира или прогибомера. Эти измерения выполняют относительно 2 – 4 реперов. До начала и после окончания испытаний со дна шурфа отбирают монолиты, их используют для изучения физико-технических свойств грунта. Разгружают платформу штампа также ступенями с определением упругой отдачи грунта.

Определяют расчетное сопротивление основания, то есть определяют наибольшее давление, при котором осадка сооружений или разность осадок под отдельными частями их не превышает допустимой величины.

Полевое испытание прочности грунтов осуществляется методами зондирования. При этом используют зонды в виде конуса или цилиндра, их соединяют со штангами и углубляют в породу. Различают динамическое (зонд погружается в грунт под ударами стандартного груза) и статическое (основанное на вдавлении зонда в толщу пород) зондирование.

При динамическом зондировании характеристикой плотности и прочности грунта является число стандартных ударов молота (обычно пять) – испытание штампом.

При статическом зондировании характеристикой плотности и прочности пород служит усилие, необходимое для вдавливания зонда на определенную глубину. Применяют самоходные установки – пенетрационно-каротажные станции, которые снабжены датчиками и имеют устройство для непрерывной записи результатов испытаний.

Для определения консистенции глинистых грунтов с ненарушенной структурой применяют методы микропенетрации, основанные на определении глубины погружения в породу различных наконечников (игл, конусов, штампов). В полевых условиях используется ручной пружинный пенетромтр.

Для исследований глинистых пород в стенках горных выработок и в естественных обнажениях пользуются методом резания, применяют прибор – искиметр, режущими частями которого являются армированные твердым сплавом резы различной формы.

Для определения деформативных свойств песчано-глинистых пород в буровых скважинах применяют метод прессиометрии, который заключается в измерении осадки породы в стенке скважины под действием давления (прибор – прессиометр).

В горных выработках и строительных котлованах производят опытные сдвиги и обрушения пород для определения их прочностных свойств при помощи специальных установок.

В последнее время актуальны коррозионные изыскания, в которые входят исследования почвенной коррозии и электрокоррозии.

### **1.7. Инженерно-гидрологические изыскания**

Данный вид изысканий необходим для проектирования гидротехнических сооружений; водоснабжения населенных мест, промышленных предприятий, электростанций; мостовых переходов; переходов через реки трубопроводов и других линейных сооружений; рыбного хозяйства; водного транспорта; защиты территорий от наводнений и подтоплений, а также для создания зон отдыха, для научных целей (исследование водного обмена в водоемах, гидрохимические и гидробиологические исследования).

В состав гидрологических изысканий входят следующие виды работ:

- наблюдения за уровнями воды в реках, озерах и искусственных водоемах;
- определение уклонов, направлений и скоростей течения рек;
- промерные работы;

- русловые съемки;
- определение площадей живых сечений и площадей затопления;
- определение расходов воды в реках и объемов водохранилищ;
- изучение наносов твердого стока (речных наносов).

Основной частью гидрологических изысканий являются гидрометрические работы, которые выполняются на гидрологических постах и станциях.

Геодезическое обеспечение гидрологических изысканий состоит в выполнении крупномасштабных съемочных и нивелирных работ на территории водомерных постов и гидрометеостанций, на створах плотин и участках переходов через реки, определении водосборных площадей, производстве русловых съемок, устройстве водомерных постов и организации наблюдений за уровнями воды, определении скоростей течения и уклонов рек. Важной задачей геодезиста является определение проектных отметок моста, высоты плотины и др.

Основной частью гидрологических изысканий являются гидрометрические работы, которые выполняют на гидрологических постах и станциях.

Гидрологические станции относятся к гидрометеослужбе (материковые, речные, озерные, болотные, морские), предназначены для обслуживания отраслей народного хозяйства (судоходства, гидроэнергетики и др.). На станциях ведутся регулярные наблюдения, там возникает необходимость в организации гидрометрического створа.

Гидрометрический створ располагают перпендикулярно к направлению реки. Его местоположение от базисов разбитых на берегу реки и закрепленных двух поперечников. На створах определяют глубины, скорости течения, расходы воды и исследуют береговые и донные наносы.

На постах определяют уровни воды в реках, озерах, морях, водохранилищах относительно неподвижной плоскости, называемой нулем наблюдений (самый низкий уровень воды, когда-либо наблюдавшийся).

Кроме нуля наблюдений, для каждого водомерного поста устанавливают нуль графика – условную плоскость, к которой приводятся результаты измерений уровня воды. За нуль графика принимается наиболее низкая отметка дна в створе поста или ниже его.

По способу определения уровня воды и применяемых приспособлений различают простые и передаточные водпосты. Простые посты делятся на речные, свайные и смешанные (речно-свайные). Передаточные посты бывают мостовые и с автоматической непрерывной передачей.

Для каждого водпоста составляется технический список поста, к которому приводятся подробные сведения о местоположении поста, описание участка реки в районе поста, конструкция поста, отметки реперов, свай

и рек, а также прилагаются: схематический профиль поста, поперечный профиль русла и план участка в районе расположения поста.

Каждый пост имеет 1 – 2 репера, которые необходимы для определения отметки нуля наблюдений, отметок свай, рек и других приспособлений.

На водомерных постах производят нивелирные и промерные работы, выполняют русловые съемки.

Нивелирование выполняют для передачи отметок от реперов государственной нивелирной сети на рабочие репера водпостов. Для определения уклонов водной поверхности и нахождения отметок подводного рельефа дна устанавливают сеть временных постов и точек однодневной связи (ТОС), с помощью которых выполняют наблюдения на отдельных участках реки и приводят их к одному моменту времени. Прокладывают двойной ход нивелирования, допустимая невязка между прямым и обратным ходом – допустимая невязка  $f_h = 30 \sqrt{L_{км}}$  (мм). Передача отметок с одного берега на другой может быть выполнена геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

Русловые съемки ведут с целью получения крупномасштабных топографических планов (1:1000, 1:2000 и 1:5000). Размеры площади, подлежащей съемке, на участках водомерных постов и гидрометрических створов, определяют так: вдоль по течению 2 – 3 ширины реки, в сторону от берега – до границы, превышающей наивысший уровень паводковых вод на 1 м.

Если площадь меньше 250 га, то в качестве планового обоснования используют полигонометрию 2 разряда или теодолитные ходы, а высотного – нивелирование IV класса.

Основным методом съемки ситуации и рельефа берегов служит тахеометрическая и мензульная съемка. На больших площадях применяется аэрофотосъемка, для отдельных видов сооружений (мостовые переходы, плотины и др.) – наземная фототеодолитная съемка.

Промерные работы ведут для составления планов водоемов, поперечных профилей русла реки, вычисления площадей живых сечений, изучения рельефа их дна, построения изобат, определения подводных навигационных опасностей, выявления удобного для прохода судов фарватера, мест подхода судов к берегу, определения объема дноуглубительных работ и выбора мест расположения гидротехнических сооружений. Они включают измерения глубин, скоростей и направления течения; координирования точек промеров.

Измерения наиболее удобно производить в период низких вод (летняя межень).

Для измерения глубины используются:

- наметки (деревянный шест до 6 м) – точность 3 – 5 см;
- лотлины (размеченный шнур со свинцовым или чугунным грузом) – точность 5 – 10 см;
- речные и морские эхолоты – точность 10 см.

Эхолоты позволяют получить эхограмму, представляющую профиль дна.

При промерах необходимо знать не только глубину, но и место, к которому отнесена эта глубина. Плановое положение промерных вертикалей можно определить:

- оптическим дальномером по переброшенному через реку тросу;
- по размеченному металлическими бляшками или цветной тканью тросу, натянутому поперек реки;
- в зимнее время промерами по льду;
- прямой угловой засечкой;
- с помощью электронного тахеометра.

Оптический дальномер можно применить на нешироких и неглубоких реках, в теплое время года, когда рабочий может войти в воду и установить рейку на дно в требуемом месте. Теодолит устанавливают на берегу на оси гидрометрического створа или промерного поперечника на точке с известным пикетажным значением или координатами. Точность данного способа  $m_l / l = 1 / 300 - 1 / 500$  (при  $m_l \leq 0.5$  м ширина реки может быть 150 – 20 м).

При использовании троса, его разметка производится через 1, 2 или 5 м. Начало разметки совмещают с известной точкой на створе или поперечнике, трос натягивают и глубину измеряют на каждой размеченной точке. Способ применим для несудоходных рек шириной 70 – 100 м.

Промеры глубин со льда ведут по предварительно размеченным точкам, их разбивают рулеткой. В намеченных точках бурят отверстия, и с помощью лотлины или наметки измеряют глубину. Такой способ целесообразно применять при достаточно прочном (0,2 – 0,4 м) ледовом покрове в начале зимы.

На широких судоходных реках плановое положение промерных точек определяют прямой угловой засечкой с концов разбитого на берегу базиса. Базис желательно разбить под прямым углом к створу, тогда для определения расстояния достаточно измерить базис (с точностью 1 / 1000) и один горизонтальный угол ( $m_\beta \leq 3'$ ). Для контроля и повышения точности определения расстояния разбивают два базиса, длины которых должны быть не менее половины ширины реки.

Наиболее успешно ведут гидрологические исследования таким образом:



- глубины определяют эхолотом;
- для определения планового положения применяют радиотехнические средства и электронные тахеометры.

Скорости течения определяют по гидрометрическим створам, которые часто совпадают с промерными створами. В местах створов желательно, чтобы русло было прямолинейным, без островов и мелей, без притоков и озер, течение – параллельным, пойма – незаросшей, имела минимальную ширину. По гидрометрическим створам разбивают пикетаж, закрепляют створы реперами и вехами.

Для измерения скоростей и направлений течения используется способ поплавков, где применяются поверхностные и глубинные поплавки.

Поверхностные поплавки представляют собой деревянные или пластиковые кружки, в центре которых закреплены разного цвета флажки или с разными номерами флажки. Поплавковые измерения ведут в безветренную погоду в утренние или вечерние часы. Применяют почти на всех реках достаточной глубины для определения скорости течения и для наблюдений за ледоходом.

Измерения скорости воды ведут с некоторого створа (стартового), в момент пуска поплавок включают секундомер и фиксируют прохождение поплавка через другой створ (наблюдательный). Для получения более точных результатов делают 2 – 3 наблюдательных створа. Створы закрепляют кольями и ставят вехи. Расстояние между створами выбирают таким образом, чтобы при самом быстром течении поплавков проходил это расстояние за 30 – 40 сек.

С помощью поверхностных поплавков определяется скорость на поверхности водного потока  $v = L / t$ . При переходе от поверхностной скорости к средней используют коэффициент  $k = 0,80 - 0,85$ .

Фиксацию местоположения поплавка производят с помощью теодолита прямой угловой засечкой, разбивая через главный створ на берегу базис. Расстояние до поплавка  $S = h / \operatorname{tg} \nu$ , где  $h$  – превышение горизонта инструмента над рабочим уровнем воды в створе засечки;  $\nu$  – вертикальный угол.

В качестве глубинных выступают поплавки-интеграторы, с помощью которых определяется средняя скорость течения воды по вертикали. Устройство состоит из штанги, рейки с делениями и поплавка. В качестве поплавка используются шарики из воска, дерева или пластмассы диаметром 2 – 4 см, которые на шнуре крепятся внизу штанги. При измерениях поступают следующим образом: штангу с поплавком устанавливают на дно реки; рейку кладут на водную поверхность по направлению течения; при помощи шнура или тросика поплавков отводят от штанги, и он всплывает на поверхность.

Всплывая, поплавков проходит слои воды с разными скоростями течения и как бы интегрирует их, получая тем самым среднюю скорость  $v = L / t$ , где  $L$  – отсчет по рейке в месте всплытия поплавка, время засекают секундомером. Применяют на реках с небольшой скоростью течения (менее 0,5 м / с).

Более точное и наиболее распространенное средство для определения скоростей – гидрометрическая вертушка (конструкции Жестовского, Бурцева).

Для измерения скорости вертушку опускают в воду на различную глубину либо на штанге, либо на тросе. При глубине свыше 3 м скорости измеряют в пяти точках вертикали (поверхность; 0,2*h*; 0,6*h*; 0,8*h* и дно). При  $h = 1 - 3$  м ограничиваются тремя точками (поверхность; 0,6*h* и дно), при глубине реки меньше 1 м, скорость измеряют только на глубине 0,6*h*.

Средняя скорость водного потока, м / с, определяется в зависимости от числа точек на вертикали по формулам:

$$\bar{V} = 0.1(V_{нов} + 3V_{0.2h} + 3V_{0.6h} + 2V_{0.8h} + V_{дно}); \quad (1)$$

$$\bar{V} = 0.1(3V_{нов} + 5V_{0.6h} + 2V_{дно}); \quad \bar{V} = V_{0.6h}.$$

Также для измерения скоростей могут использоваться специальные приборы – батометры-тахиметры, при помощи которых одновременно с измерением скорости берут и пробу воды на мутность, и при экономической целесообразности – аэрометоды. Многократную аэрофотосъемку применяют при изучении динамики ледохода, одновременно определяют отметки уреза воды.

Определение расходов воды  $Q$  (м<sup>3</sup> / с) выполняют одним из способов: графомеханическим, графоаналитическим и объемным.

При графомеханическом способе на миллиметровой бумаге вычерчивают профиль живого сечения в крупном масштабе. Наносят кривую средних скоростей, затем строят график элементарных расходов. Площадь, ограниченная линией уровня воды и кривой элементарных расходов, равна секундному расходу в данном сечении, ее измеряют планиметром.

В графоаналитическом способе расход воды получают как сумму частичных расходов по формуле

$$Q = \sum \Delta Q = k_1 q_1 b_1 + \frac{q_1 + q_2}{2} b_2 + \dots + \frac{q_{n-1} + q_n}{2} b_n + k_2 q_n b_n, \quad (2)$$

где  $q_1, q_2, \dots, q_n$  – элементарные расходы в м<sup>2</sup> / с;  $b_1, b_2, \dots, b_n$  – расстояния между вертикалями в м;  $k_1, k_2$  – коэффициенты, зависящие от характера берега.

Объемный способ применяется для небольших источников. Вода поступает в мерный сосуд, объем которого известен. Измеряя по секундомеру время, в течение которого наполняется сосуд, определяют расход воды.

При изучении речных наносов измеряют скорости течения в различных точках живого сечения и определяют мутность в этих же точках. Для измерения расходов твердого стока, проходящих через живое сечение реки, определяют наносности.

Наносностью называется количество взвешенных наносов, проходящих за 1 с через  $1 \text{ м}^2$  живого сечения реки, а мутностью – в единице объема воды ( $\text{г} / \text{м}^3$ ).

Для определения мутности берут пробы батометрами, а затем выделяют из взятой пробы содержащиеся в ней наносы. Наносы определяют отстаиванием и фильтрованием.

## 1.8. Метеорологические изыскания

Инженерно-метеорологические изыскания производятся для того, чтобы выяснить влияние различных физических явлений и процессов, происходящих в атмосфере, на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений, на их прочность и долговечность. Например, для учета динамического действия ветровой нагрузки на высотные сооружения.

Основными характеристиками являются: температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, скорость и направление ветра, облачность.

Измерение температуры  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) производится на метеорологических станциях. Кроме температуры воздуха, измеряют температуру почвы, снега и воды. Применяют жидкостные, ртутные полупроводниковые и деформационные термометры.

Атмосферное давление  $P$  (Па) измеряют ртутными барометрами, anerоидами, термобарометрами, газовыми и дифференциальными барометрами.

При выполнении геодезических измерений для учета влияния внешних условий используют барометры-анероиды. Для определения разности высот центров фотографирования при аэрофотосъемке применяется дифференциальный барометр-статоскоп. Для барометрического нивелирования применяют чашечные и сифонные ртутные барометры различной конструкции, барометры-анероиды, баронивелиры и др.

Влажность воздуха характеризуют такие показатели, как упругость водяного пара, абсолютная влажность, относительная влажность.

Влажность измеряют психрометрическим методом и гигрометрами. При психрометрическом методе пользуются двумя термометрами – смо-

ченным и сухим. У смоченного термометра поверхность его резервуара постоянно увлажняется, и с нее испаряется вода.

На метеорологических станциях используют стационарный психрометр, в котором имеются два термометра с резервуарами одинаковой формы и размеров. В полевых условиях используется портативный психрометр конструкции Ассмана.

Гигрометры бывают нескольких типов: волосяной и пленочный. Волосяной гигрометр основан на гигроскопических свойствах обезжиренного человеческого волоса (при изменении влажности окружающего воздуха волос изменяет свою длину). У пленочного гигрометра чувствительным элементом является органическая пленка. Гигрометры являются основными приборами в зимнее время при температуре ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ . Существуют приборы с непрерывной регистрацией, с суточным и недельным заводом.

Ветер характеризуется скоростью и направлением. Направление определяется точкой горизонта, откуда он дует. При этом указывают географический азимут или румб направления на розе ветров. Единицы измерения скорости ветра – м / с, км / ч. Кроме того, ее характеризуют в условных единицах – баллах, взятых по шкале Бофорта.

Направление ветра можно определить с помощью флюгарки (флюгер Вильда) – системы из пластины и противовеса, вращающейся вокруг вертикальной оси. Также используется матерчатый усеченный конус, натянутый на металлический круг, сцепленный с металлической трубкой, вращающейся вокруг вертикальной оси.

Скорость ветра измеряется анемометрами, а скорость и направление – анеморумбометрами. Для регистрации скорости применяются анемографы, а скорости и направление – анеморумбографы, или самописцы ветра.

Совокупность облаков называется облачность небесного свода, она характеризуется количеством облаков, их формой, высотой, направлением и скоростью движения. Облачность оценивается по 10-балльной системе: чистое небо – 0 баллов, сплошная облачность – 10 баллов.

## **1.9. Экономические изыскания**

Экономические изыскания выполняют с целью получить характеристику хозяйственно-экономического состояния района будущего строительства, экономическое обоснование проекта и составить проект хозяйственного преобразования территории в связи с возведением проектируемого сооружения. Эти изыскания проводят на основании материалов перспективного планирования центральных и местных органов, также используются материалы ведомственного планирования.

Экономические изыскания играют решающую роль при выборе площадки под строительство. При этом исследуются вопросы близости площадки к источникам сырья, наличие существующих транспортных и подземных сетей, местных строительных материалов, материально-технической базы, энергии, воды и т. п.

Экономические изыскания делят на комплексные, проблемные, титульные, внутриобъектные.

Комплексные экономические изыскания выполняют при решении комплекса вопросов, связанных с будущим сооружением.

Проблемные экономические изыскания рассматривают несколько вариантов решения одной и той же хозяйственной задачи и выбор оптимального в экономическом отношении варианта. Комплексные и проблемные изыскания выполняют на стадии технико-экономического обоснования.

Титульные (объектные) экономические изыскания проводятся для определенного объекта с учетом конкретного размещения на местности, их выполняют на стадии технического проекта.

В процессе предварительных технических изысканий возникает несколько вариантов, а окончательное решение принимается на основе сравнения экономических показателей по каждому варианту. Такое сравнение называют внутриобъектными изысканиями.

Для строительства линейных сооружений возникает необходимость в экономическом трассировании, т. е. в выборе трассы на основании сравнения стоимостных показателей нескольких вариантов.

Большое значение имеют экономические изыскания при проектировании городов и рабочих поселков. Наиболее значительны они на стадии разработки генерального проекта планировки.

К экономическим изысканиям относятся расчеты, связанные с определением наиболее выгодного расположения сооружения на местности. Для этого вычисляют *прямые затраты*, которые складываются из стоимости рабочей силы, стройматериалов, транспорта, электроэнергии и других расходов, а также *дополнительные*, которые в отдельных случаях могут достигать 50 % прямых затрат.

Дополнительные затраты для каждого возводимого сооружения идут на покрытие ущерба, связанного с отчуждением территории при изъятии ее под строительство из того фонда, где она ранее находилась. Самые большие дополнительные затраты возникают при создании водохранилищ.

В экономических изысканиях существенное место отводится оценке экономической эффективности капитальных вложений, для этого сравнивают два варианта будущего сооружения, определяя капитальные и экс-

плуатационные затраты. Затем подсчитывают экономическую эффективность, она определяется расчетным сроком, в течение которого дополнительные вложения окупаются сбережениями на себестоимости продукции. Наиболее эффективными считают те варианты затрат, срок окупаемости которых не превышает заданный нормативный срок. Сопоставлением расчетного срока окупаемости с нормативным оценивается экономичность вариантов и принимается решение о выборе одного из них.

При проведении изысканий во всех случаях стараются обеспечить минимум затрат.

*Для более глубокого изучения теоретического материала по модулю № 1 можно воспользоваться литературой [1, 3, 4, 6, 7, 8] из перечня учебно-методических материалов по дисциплине.*

## Лабораторный практикум

### Лабораторная работа № 1

#### Вычисление координат ственных знаков полигонометрии

Пункты планового обоснования инженерно-геодезических сетей закрепляются обычно знаками, имеющими особенности в конструкциях, местах расположения и способах использования. Так, насыщенность городских проездов подземными сетями, необходимость периодического ремонта и реконструкции улиц затрудняют закладку грунтовых знаков пунктов полигонометрии. Часто их закрепляют стенными знаками различных конструкций. При этом возникает задача привязки полигонометрических ходов к этим знакам, так как непосредственное центрирование теодолита на знаке исключается – центры знаков расположены, как правило, на расстоянии 3 – 4 см от стены или цоколя здания. На рисунке 1 представлена схема части полигонометрического хода, проложенного для определения координат ственных знаков 1, 2, 3, 4 и 5.

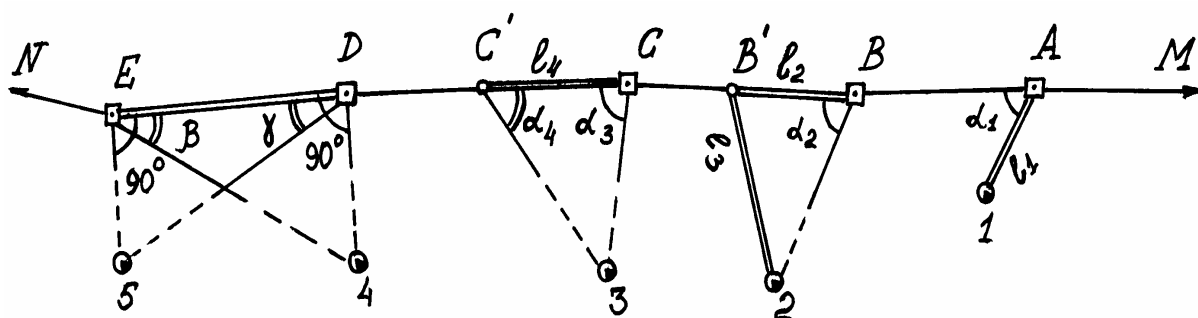


Рис.1. Схема привязки ственных знаков

Исходными данными для выполнения лабораторной работы служат координаты точек полигонометрического хода (см. табл. 1). Кроме того, на схеме указаны результаты угловых и линейных измерений, выполненных на точках хода для вычисления координат ственных знаков.

Для индивидуального выполнения лабораторной работы каждым студентом размеры отрезков изменяются в соответствии с формулой

$$l_i^k = l_{исх.} + 10_{мм} \cdot k, \quad (3)$$

где  $k$  – номер варианта.

Таблица 1

Каталог координат пунктов полигонометрического хода  
и элементы привязки ственных знаков

Название точек	Координаты, м		Элементы привязки	
	X	Y	угловые	линейные
A	16385,789	10285,594	$\alpha_1 = 44^{\circ}33'18''$	$l_1 = 2.725 \text{ м}$
B	16311,658	10131,602	$\alpha_2 = 56^{\circ}17'18''$	$l_2 = 9.268 \text{ м}$
C	16249,654	10027,765	$\alpha_3 = 85^{\circ}14'42''$	$l_3 = 8.864 \text{ м}$
D	16167,690	9894,255	$\alpha_4 = 41^{\circ}38'30''$	$l_4 = 13.434 \text{ м}$
E	16081,394	9792,002		

Аналогично значение углов  $\beta$  и  $\gamma$  при точках D и E определяются для каждого варианта по формулам.

$$\begin{aligned} \beta^k &= 0^{\circ}17'36'' + 10'' \cdot k \\ \gamma^k &= 0^{\circ}25'41'' - 10'' \cdot k \end{aligned} \quad (4)$$

*Последовательность выполнения работы.* Используя данные табл.1 и формулы 3 и 4, получаем линейные элементы привязки ственных знаков к пунктам полигонометрии по своему варианту. А затем, применяя известные формулы для решения прямой геодезической задачи, следует вычислить координаты ственных знаков. При этом значения отрезков B2, C3, D4, E5 можно получить после решения соответствующих треугольников: BB'2, CC'3, DE4, DE5.

Например, для ственного знака 3

$$\begin{aligned} X_3 &= X_C + \Delta X_{C3}; Y_3 = Y_C + \Delta Y_{C3}; \\ \Delta X_{C3} &= l_{C3} \cos \alpha_{C3}; \Delta Y_{C3} = l_{C3} \sin \alpha_{C3}; \\ \alpha_{C3} &= \alpha_{CD} - \alpha_3; l_{C3} = l_4 \frac{\sin \alpha_4}{\sin(180^{\circ} - \alpha_3 - \alpha_4)}; \end{aligned} \quad (5)$$

Далее, применяя формулы для решения обратной геодезической задачи, должны быть получены длины линий и дирекционные углы между центрами стенных знаков. Их необходимо занести в каталог стенных знаков полигонометрии с указанием координат, длин линий (с точностью до миллиметров) и их дирекционных углов (с точностью до секунд).

## Лабораторная работа № 2

### Применение угловой засечки в инженерно-геодезических работах

При проведении изысканий широкое применение находит угловая засечка. Она используется при определении планового положения точек геологических выработок, гидрометрических створов, буровых скважин; для привязки полигонометрических и теодолитных ходов; выноса в натуру осей зданий; для определения неприступных расстояний, кренов и наклонов высотных сооружений, диаметров дымовых труб и резервуаров;

В случае привязки полигонометрических или теодолитных ходов к пунктам триангуляции, расположенным на зданиях, или в случаях, когда координаты пункта отнесены к выдающемуся местному предмету (шпиль здания, колокольня церкви и т.п.), не допускающему непосредственной установки теодолита над центром, возникает необходимость снесения координат на точку расположенную непосредственно на земле.

На рисунке 2 представлена схема передачи координат вершины знака пункта триангуляции  $A$  на точку  $P$ .

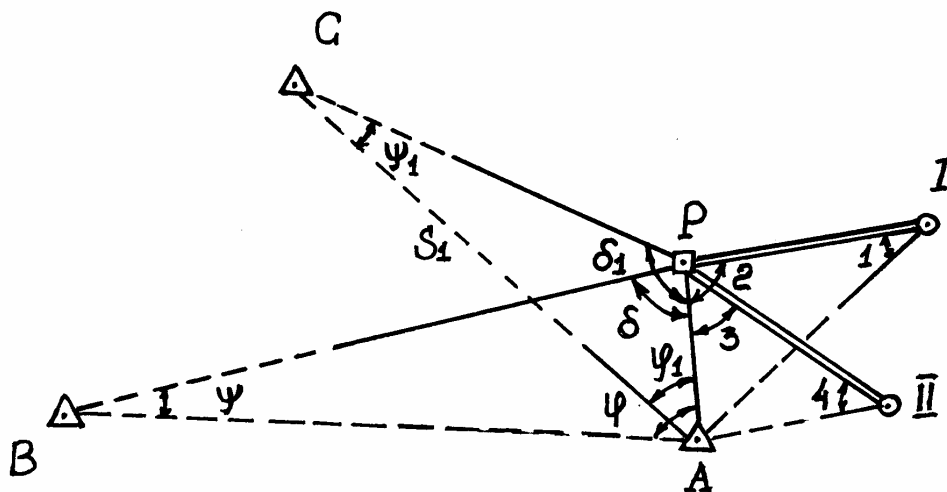


Рис.2. Схема передачи координат

Исходными данными для выполнения работы служат координаты пунктов триангуляции  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , а также результаты измерения базисов  $b_1$  и  $b_2$ , углов  $1$ ,  $2$ ,  $3$ ,  $4$  и  $\delta$ .



Для решения этой задачи необходимо определить расстояние  $AP$  и дирекционный угол этой линии  $\alpha_{AP}$ . Определение расстояния производится из двух треугольников  $API$  и  $APII$ , в которых измеряются базисы  $PI$  и  $PII$ , и углы при них  $1,2$  и  $3,4$ . Для определения дирекционного угла при точке  $P$  измеряется угол  $\delta$  между направлениями на пункты  $A$  и  $B$ .

В целях контроля правильности определения положения (координат) снесенного центра  $P$  при нем должен быть измерен угол на второй пункт триангуляции  $C$ . В случае отсутствия видимости с земли на второй пункт необходимо измерить угол на пункт триангуляции  $B$  при другом конце одного из базисов (при точке I или II).

*Последовательность выполнения работы.* Из треугольников  $API$  и  $APII$  вычисляются два значения сторон  $AP = d$  по формулам

$$\left. \begin{aligned} d_1 &= b_1 \frac{\sin 1}{\sin(1+2)}; \\ d_2 &= b_2 \frac{\sin 4}{\sin(3+4)}; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

и берется в дальнейших вычислениях среднее арифметическое значение.

Затем определяются вспомогательные углы  $\psi$  и  $\varphi$

$$\left. \begin{aligned} \sin \psi &= \frac{d_{cp.} \sin \delta}{S_{AB}}; \\ \varphi &= 180^\circ - (\psi + \delta) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Вычислив значение дирекционного угла  $\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \varphi$  и используя известные формулы для решения прямой геодезической задачи, находят приращение координат и координаты определяемого пункта  $P$ .

Для проверки вычислений из решения обратной геодезической задачи определяется дирекционный угол  $\alpha_{PB}$ .

Разность дирекционных углов  $\alpha_{PB}$  и  $\alpha_{PA}$  должна дать измеренный угол  $\delta$ , на основании которого производились вычисления координат точки  $P$ . Расхождения измеренного и вычисленного значений угла  $\delta$  не должно превышать  $5''$ .

В целях контроля правильности определения положения точки  $P$  (полевых измерений) определяется дирекционный угол  $\alpha_{PC}$ . Разность дирекционных углов  $\alpha_{PC}$  и  $\alpha_{PA}$  должна дать измеренный угол  $\delta_1$  в пределах двойной точности измерения углов.

Для выполнения работы по вариантам каждый студент индивидуально определяет значения углов  $\delta$  и  $\delta_1$  из соотношений

$$\delta = 72^{\circ}17'42'' + k;$$

$$\delta_1 = 138^{\circ}57'42'' + 1,055 \cdot k; \quad (8)$$

где  $k$  – номер варианта.

При значении изменения величины  $\delta_1$  по каждому варианту округляется до целых значений секунд. Например, для варианта 25 значения углов будут:  $\delta = 72^{\circ}42' 42''$ ;  $\delta_1 = 139^{\circ}24' 04''$ .

Все вычисления предлагается производить в табл. 2 – 5.

Таблица 2

Вычисление расстояний

№ № углов	Названия углов	Углы, ° ' "	Стороны, м
1	I	38 26 00	$b_1=532,24$
2	P	70 08 54	$d_1=$
3	P	87 28 00	$b_2=396,75$
4	II	42 26 36	$d_2=$

Таблица 3

Вычисление вспомогательных углов

$d_{cp.}$		$\psi$	
$\delta$		$\psi + \delta$	
$S_{AB}$	10550,96	$\varphi$	

Таблица 4

Вычисление координат

$\alpha_{AB}$	$262^{\circ}07'51''$
$\alpha_{AP}$	
$X_P$	
$X_A$	+7049,75
$Y_A$	+17577,28
$Y_P$	

Таблица 5

Контроль измерений и вычислений

$Y_B$	+7125,68	$Y_C$	+14 428,51
$Y_P$		$Y_P$	
$X_B$	+5605,18	$X_C$	+ 12 317,49
$X_P$		$X_P$	
$\alpha_{PB}$		$\alpha_{PC}$	
$\alpha_{PA}$		$\alpha_{PA}$	

$\delta_{\text{выч.}}$		выч. $\delta_1$	
$\delta_{\text{исх.}}$		исх. $\delta_1$	

### Лабораторная работа № 3

#### Определение расхода воды графо-аналитическим способом

Одной из наиболее важных характеристик водного потока является расход воды. Знание расхода воды необходимо при строительстве большинства инженерных сооружений.

В гидрологии имеется несколько способов для непосредственного измерения расходов воды, а также его можно определить из вычислений на основе измеренных глубин и скоростей течения или с использованием аэрометодов. На средних и больших реках расход воды получают из вычислений.

Наиболее распространенными способами вычисления расходов воды являются графо-аналитический и графомеханический. Для вычисления расхода воды в реке воспользуемся данными табл. 6, полученными из непосредственных измерений.

Таблица 6

Исходные данные

№ п / п промерных вертикалей	Расстояния между вертикалями, м	Глубина $h$ , м	Скорость $v$ , м / с	Примечания
Урез лев. бер.		0,00	0,00	По номеру варианта изменяем: расстояния между промерными вертикалями  $S_N = S_{\text{исх}} \pm 0,1 \text{ м N}$ ,  «+» – для нечетных расстояний, «-» – для четных рас- стояний;  скорость течения $V_N = V_{\text{исх}} + 0,008 \text{ N}$
	13,7			
1		2,56	0,12	
	10,8			
2		2,69		
	10,5			
3		2,50	0,24	
	12,1			
4		2,54	0,48	
	8,3			
5		2,48		
	11,7			
6		2,70		
	6,2			
7		2,51	0,75	
	10,4			
8		2,37		
	7,9			

9		2,30	0,62
	10,3		
10		2,18	0,59
	12,6		
11		2,15	
	11,4		
12		1,93	0,47
	6,2		
13		1,77	
	7,3		
14		1,34	0,38
	10,6		
15		1,15	
	15,1		
16		0,80	0,29
	16,7		
17		0,72	
	15,8		
Урез прав. бер.		0,00	0,00

*Последовательность выполнения работы.* В удобном для построения горизонтальном и вертикальном масштабах строят водное сечение реки (рис.3) по расстояниям между промерными вертикалями и глубинам. Поперечный профиль дна изображают ломаной линией. В соответствующие графы профиля заносят значения измеренных скоростей  $V$  и глубин  $h$ .

На основании измеренных скоростей, в выбранном масштабе, над уровнем воды строится кривая средних скоростей. Кривая скоростей должна иметь форму плавной кривой.

Поскольку число скоростных вертикалей в водном сечении обычно меньше, чем число промерных, то, пользуясь построенной кривой, определяют значения скоростей для тех вертикалей, где были измерены только глубины. Их записывают в соответствующих местах графы скоростей в скобках, чтобы было видно, что они получены по кривой средних скоростей, а не по непосредственным измерениям.

Далее для всех промерных вертикалей вычисляют элементарные расходы  $q$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ) по формуле

$$q = h \cdot v, \quad (9)$$

их значения записываются в соответствующей графе с удержанием второго знака после запятой.

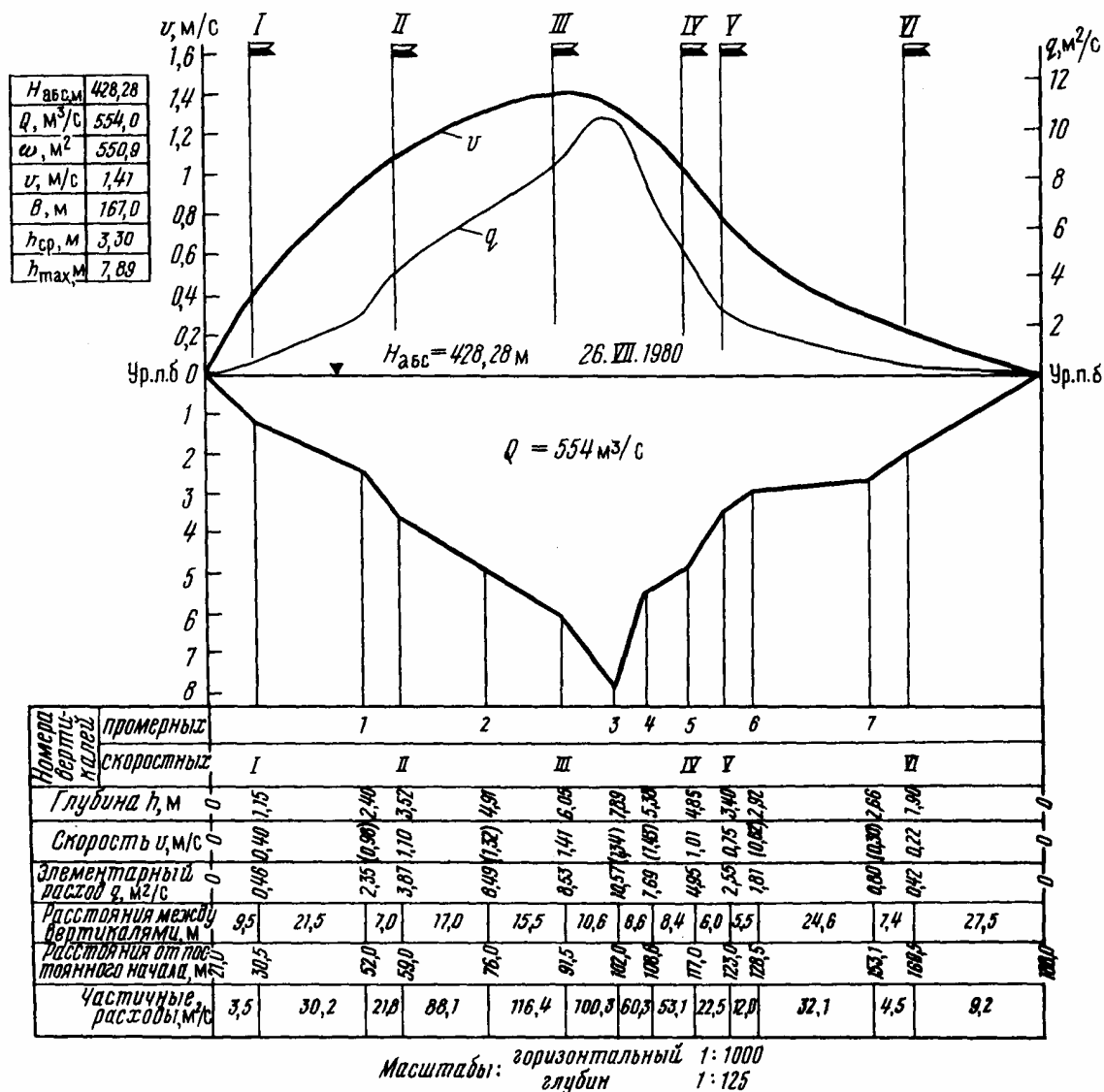


Рис. 3. Гидрометрический профиль

Общий расход воды  $Q$  ( $м^3/с$ ) равен сумме частных расходов

$$Q = \sum \Delta Q = k_1 q_1 b_1 + \frac{q_1 + q_2}{2} b_2 + \dots + \frac{q_{n-1} + q_n}{2} b_n + k_2 q_n b_n,$$

где  $q_1, q_2, \dots, q_n$  – элементарные расходы в  $м^2/с$ ;  $b_1, b_2, \dots, b_n$  – расстояния между вертикалями в м;  $k_1, k_2$  – коэффициенты, зависящие от характера берега:  $k = 0.7$  – для пологого берега;  $k = 0.8$  – для обрывистого;  $k = 0.9$  – для обрывистого с гладкой стенкой. С учетом того, что скорости определены гидрометрической вертушкой с погрешностью 3 – 5 % расход воды округляется до трех значащих цифр и выписывается на график.

Для составления гидрометрического профиля рекомендуются следующие масштабы: горизонтальный – 1:1000, глубин – 1:100, скоростей – 1:20, элементарных расходов – 1:50.

## Вопросы и задания для самопроверки

1. Каковы цели и задачи каждого вида инженерных изысканий?
2. Каков состав инженерно-геодезических изысканий для строительства?
3. Охарактеризуйте техническое задание, программу инженерно-геодезических изысканий.
4. Что включает полевой период инженерно-геологических изысканий?
5. В чем заключаются гидрогеологические изыскания?
6. В чем заключается геодезическая привязка геологических выработок и буровых скважин?
7. Назовите геофизические методы геологической разведки.
8. Охарактеризуйте магнитную, сейсмическую и электроразведку.
9. Что является геодезической основой инженерно-геологических карт?
10. Что показывают на инженерно-геологических картах?
11. Охарактеризуйте гравиметрическую разведку.
12. Какова цель исследований грунтов?
13. Охарактеризуйте строительные свойства грунтов.
14. Какие испытания грунтов производят лабораторным путем?
15. Что входит в состав гидрологических изысканий?
16. Охарактеризуйте наблюдения за уровнями воды в реках, озерах и водохранилищах.
17. Перечислите наблюдения, проводимые на гидрологических станциях.
18. Что такое гидрометрический створ?
19. Какие промерные работы выполняют на водомерных постах?
20. Как определить плановое положение промерных точек?
21. Как можно определить направление и скорость течения водного потока?
22. Назовите средства измерения глубин.
23. Какими способами можно определить расход воды в реке?
24. Какие характеристики определяют из метеорологических изысканий?
25. Назовите средства измерения температуры, давления, влажности.
26. Назовите средства измерения направления и скорости ветра.
27. Как характеризуется облачность?
28. Какими расчетами представлены экономические изыскания?

*В качестве контроля знаний и умений по вводному и первому модулям рекомендуется устный или письменный опрос (студенту предлагается 8 – 10 вопросов). По модулю № 1 планируется защита выполненных лабораторных работ (лично каждым студентом).*

## МОДУЛЬ № 2 «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ СЕТИ»

### Дидактические цели

Студент должен знать:	Студент должен уметь:
<ul style="list-style-type: none"> <li>– назначение опорных сетей;</li> <li>– виды плановых и высотных опорных сетей;</li> <li>– системы координат и высот в инженерно-геодезических работах;</li> <li>– принципы построения геодезических сетей;</li> <li>– характеристики точности геодезических измерений;</li> <li>– методы расчета точности геодезических сетей.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– анализировать и выбирать вид геодезического обоснования в зависимости от решаемой задачи;</li> <li>– проектировать опорную сеть, состоящую из одной или нескольких ступеней;</li> <li>– рассчитывать точность каждой ступени запроектированной сети</li> <li>– рекомендовать приборы и методики измерений в опорных сетях.</li> </ul>

### Учебно-информационный блок

Тема занятия	Тип занятия	Вид (форма) занятия	Количество часов
<b>Инженерно-геодезические опорные сети</b>			
УЭ – 1. Общие сведения об опорных сетях: – назначение, виды плановых и высотных сетей; – проектирование сетей по ступеням развития; – системы координат и высот, применяемые в инженерно-геодезических работах.	Усвоение научных знаний	Лекция	2
	Углубление и систематизация знаний	Самост. работа	4
УЭ – 2. Триангуляция: – классификация, типовые схемы; – полевые измерения; – методы оценки точности проектов сетей.	Усвоение научных знаний	Лекция	1
	Углубление и систематизация знаний	Лабораторные занятия Самост. работа	8 6
УЭ – 3. Трилатерация: – типовые схемы; – полевые измерения; – классификация, точностные характеристики; – особенности линейных измерений.	Усвоение научных знаний	Лекция	1
	Углубление и систематизация знаний	Самост. работа	2
УЭ – 4. Полигонометрия:			

– типовые схемы; – полевые измерения; – классификация, точностные характеристики; – особенности угловых и линейных измерений. УЭ – 5. Линейно-угловые сети – типовые схемы; – соотношение точности линейных и угловых измерений; – строительная геодезическая сетка, ее проектирование и методы создания; – расчет точности пунктов строительной сетки. УЭ – 6. Высотные сети – назначение высотных сетей, требования к их точности; – проектирование высотных сетей; – методика инженерно-геодезического нивелирования.	Усвоение научных знаний	Лекция	1
	Углубление и систематизация знаний	Лабораторные занятия	2
		Самост. работа	4
	Усвоение научных знаний	Лекция	2
	Углубление и систематизация знаний	Лабораторные занятия	8
		Самост. работа	4
		Доклад	7
	Усвоение научных знаний	Лекция	2
	Углубление и систематизация знаний	Реферат	10
	<i>Всего по модулю: 64 часов</i>		
<b>УЭ – К. Контроль знаний по модулю: опрос; защита лабораторных работ</b>			

## **2.1. Назначение, виды и особенности построения опорных геодезических сетей.**

Опорные сети создаются для обеспечения всех видов инженерно-геодезических работ. Их пункты хранят на территории работ плановые координаты и высоты. Эти сети служат основой:

- для производства топографических съемок при изысканиях;
- для выполнения различных работ на территории городов;
- при составлении исполнительной документации;
- для выполнения разбивочных работ при строительстве зданий и сооружений;
- для наблюдений за деформациями оснований сооружений и самих сооружений.

Инженерно-геодезические плановые и высотные опорные сети представляют собой систему геометрических фигур, вершины которых закреплены на местности специальными знаками. Плановые и высотные опорные



сети создают в соответствии с заранее разработанным проектом производства геодезических работ (ППГР). При составлении этого проекта собирают сведения, относящиеся к опорным геодезическим сетям во всех организациях, производящих работы на территории предстоящего строительства; в отделах по делам строительства и архитектуры; в изыскательских, проектно-изыскательских, а также специальных геодезических организациях. По собранным материалам составляют схему расположения пунктов ранее выполненных опорных сетей всех классов и разрядов в пределах территории предстоящих работ. В геодезической практике достаточно часто сеть создают заново, даже при наличии близкорасположенных пунктов ранее созданных сетей. Поступают так с целью обеспечения повышенной точности определения взаимного положения пунктов.

Инженерно-геодезические опорные сети обладают рядом характерных особенностей:

- а) сети часто создаются в условной системе координат;
- б) форма сети определяется обслуживаемой территорией или формой объектов;
- в) сети имеют ограниченные размеры, часто с незначительным числом фигур или полигонов;
- г) короткие длины сторон;
- д) к пунктам сети предъявляются повышенные требования по стабильности их положения;
- е) неблагоприятные условия наблюдений.

Также имеются особенности, связанные с целевым назначением сети (сети для гидротехнического строительства, для строительства мостов и тоннелей различного назначения, прецизионных сооружений). Например, при строительстве плотины ГЭС возникает необходимость в создании многоярусной сети для выполнения поярусных разбивок строящегося объекта. При создании сети для строительства моста необходимо помнить, что затруднительно производить измерения вдоль берегов. При строительстве тоннелей и некоторых видов прецизионных сооружений предъявляются высокие требования к точности лишь по одному определенному направлению.

Выбор вида построения и его конфигурация зависит от следующих причин:

- типа объекта, его формы и занимаемой площади;
- назначения сети;
- физико-географических условий;
- требуемой точности;

– наличия измерительных средств у исполнителя.

Так, триангуляцию применяют на объектах, значительных по площади и протяженности, проектируемых в открытой пересеченной местности. Полигометрию используют на закрытой местности или застроенной территории; линейно-угловые сети – при необходимости создания сетей повышенной точности; трилатерацию – на небольших объектах, где требуется высокая точность и строительные сетки – на промышленных площадках.

В зависимости от площади проектируемого объекта и технологии строительного производства опорные сети создаются в несколько последовательных стадий (ступеней).

Высотные опорные сети, в основном, создают методом геометрического нивелирования в виде одиночных ходов или полигонов, проложенных между исходными реперами. В отдельных случаях, при наличии электронных тахеометров, может применяться способ тригонометрического нивелирования.

## **2.2. Принципы проектирования и расчет точности построения опорных геодезических сетей**

При проектировании инженерно-геодезических сетей необходимо решить следующие задачи:

- выяснить исходные требования к точности построения сети;
- определить количество ступеней развития сети;
- выбрать для каждой ступени вид построения сети;
- назначить общие требования к точности построения сети на каждой ступени;
- найти требуемую точность отдельных видов измерений (угловых, линейных, превышений) на каждой ступени построения сети.

Эти задачи можно решить двумя путями.

*Первый путь.* Исходя из условий проектирования, определяют конкретный вид сети и класс ее построения. Затем, по известным из нормативных документов геометрическим и точностным параметрам, разрабатывают проект сети и выполняют его оценку. Результаты оценки (с.к.о. измерений, относительные ошибки) сравнивают с заданными или нормативными значениями и делаются соответствующие выводы. Далее выбираются рекомендованные инструкциями методы и средства измерений. Такой принцип решения применяется при проектировании сетей, служащих основой для выполнения крупномасштабных топографических съемок и

выноса в натуру основных (габаритных) осей зданий и сооружений при строительстве населенных пунктов.

*Второй путь.* Для опорных сетей специального назначения проектирование и расчет точности ведутся, руководствуясь назначением сети; исходные точностные требования могут задаваться или рассчитываться. Схема построения сети проектируется, исходя из необходимой плотности и возможных мест расположения пунктов; при этом можно придерживаться геометрических параметров, соответствующих определенному классу выбранного вида построения. Далее на основе расчетов определяется действительный класс построения, а также определяется методика и выбираются средства измерений для каждой степени развития сети.

Основу расчетов для обоих случаев проектирования составляет решение точностного уравнения вида

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} \quad (10)$$

где  $m_F$  – погрешность функции наиболее слабо определяемого или требуемого элемента в уравненной сети;  $\mu$  – погрешность единицы веса измерений;  $1/P_F = Q_F$  – обратный вес оцениваемого элемента.

В первом случае, найдя обратный вес и задавая погрешность единицы веса, соответствующую какому-либо нормативному классу, определяют погрешность  $m_F$  функции оцениваемого элемента сети и сравнивают ее с нормативной. Во втором – по вычисленной величине обратного веса и заданной погрешности функции оцениваемого элемента находят погрешность единицы веса  $\mu$ . На основе полученной величины  $\mu$  и выбирают методику измерений.

При строгом решении обратный вес функции оцениваемого элемента обычно находят из уравнивания. Хотя измерения еще не производились, можно использовать принципы и приемы уравнивания. Поскольку оценивается обратный вес функции уравненных элементов, то для его вычисления свободные члены соответствующих уравнений принимают равными нулю.

Основу любого геодезического проектирования составляют требования к точности выполнения работ. Применительно к построению опорных сетей задача состоит в назначении или расчете ошибки функции того или иного элемента сети. Поскольку опорные сети могут развиваться в несколько этапов, то существуют понятия исходной и поэтапной точности. Под *исходной точностью* понимают точность определения положения пункта плановой основы, съемочной точки, отметки, осадок реперов и т. п.

*Поэтапная точность* является функцией от исходной, ее долей, приходящейся на каждый этап построения.

Исходная точность может быть задана в техническом задании, в нормативных документах или получена расчетным путем.

Например, при расчете точности планового обоснования для съемочных работ в качестве исходной принимают среднюю квадратическую погрешность планового положения съемочной точки. Рассчитывают ее по формуле

$$m_{исх} = 0,2мм \cdot M \quad (11)$$

где  $M$  – знаменатель масштаба съемки.

При расчете точности высотного обоснования для съемочных работ в качестве исходной может быть принята погрешность в определении отметки точки по горизонталям. Ее определяют по формуле

$$m_{Hисх} = \frac{1}{5}h \quad (12)$$

где  $h$  – высота сечения рельефа.

Рассмотрим наиболее распространенный путь для определения поэтапной точности.

Пусть опорная сеть проектируется в  $n$  ступеней. Общая (исходная) погрешность будет складываться из суммарных случайных погрешностей ( $m_1, m_2, \dots, m_n$ ) построения для каждой ступени. Если погрешности слабо зависимы, можно записать

$$m^2_{исх} = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2 \quad (13)$$

Исходя из практической необходимости, для решения уравнения (13) ставится условие, чтобы на каждой последующей ступени построения сети погрешности предыдущей ступени можно было считать пренебрегаемо малыми. Это возможно, если погрешности каждой предыдущей ступени будут в  $K$  раз меньше погрешности последующей, т. е.

$$m_1 = \frac{m_2}{K}; \quad m_2 = \frac{m_3}{K} \text{ и т. д.}$$

Коэффициент  $K$  называют *коэффициентом обеспечения точности*, показывающим во сколько раз погрешность исходных данных должна быть меньше погрешности измерений, чтобы первой можно было бы пренебречь. Для массовых геодезических работ принимают  $K = 2$  и считают его одинаковым для всех ступеней построения обоснования.

Рассмотрим в качестве примера схему построения обоснования для съемки масштаба 1: 500 , состоящую из трех ступеней. Для этого случая

$$m_{\text{общ}}^2 = m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 \quad (14)$$

Исходную погрешность найдем по формуле (11)

$$m_{\text{общ}} = 0,2 \text{ мм} \cdot 500 = 10 \text{ см}.$$

Выразив  $m_2$  и  $m_3$  через  $m_1$ , будем иметь

$$m_2 = K \cdot m_1; \quad m_3 = K \cdot m_2 = K^2 \cdot m_1; \quad (15)$$

Подставляя выражения (15) в формулу (14) и принимая  $K = 2$ , получим

$$m_{\text{общ}}^2 = m_1^2 + 4m_1^2 + 16m_1^2 = 21m_1^2,$$

откуда  $m_1 = \frac{10 \text{ см}}{\sqrt{21}} = 2,2 \text{ см}; \quad m_2 = 4,4 \text{ см}; \quad m_3 = 8,8 \text{ см}.$

Полученные величины представляют собой погрешности пунктов в самом слабом месте схемы построения сети для каждой ступени по отношению к пунктам, на которые эта ступень опирается. Например, можно считать, что  $m_3$  – это погрешность в середине теодолитного хода, опирающегося на пункты ходов полигонометрии соответствующего разряда;  $m_2$  – погрешность в середине полигонометрического хода, опирающегося на пункты триангуляции соответствующего класса,  $m_1$  – погрешность в слабом месте сети триангуляции по отношению к ее исходному пункту или взаимного положения двух смежных пунктов триангуляции.

Следует отметить, что совместное уравнивание всей опорной сети, которое производят после завершения всех измерений, позволяет получить более однородную по точности сеть. Это обстоятельство важно для последующих разбивочных работ.

Для определения необходимой точности измерений на каждой ступени развития обоснования определяют зависимость между погрешностью этих измерений и погрешностью, полученной для данной ступени из общих расчетов.

Рассмотрим пример: вытянутый ход полигонометрии, для которого средняя квадратическая погрешность  $M$  в положении конечной точки хода выражается формулой

$$M^2 = m_s^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}, \quad (16)$$

и если из соответствующих расчетов для данной ступени получена погрешность  $m_2$  в середине (в слабом месте) уравниваемого полигонометрического хода, то погрешность в конце хода будет вдвое больше. Тогда, применяя принцип равных влияний, можем получить ошибки угловых и линейных измерений для конкретной схемы хода:

$$2m_2 = m_s^2 \cdot n, \text{ отсюда найдем } m_s = \sqrt{\frac{2m_2^2}{n}}$$

и таким же образом из соотношения  $2m_2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}$  выразим и найдем  $m_\beta$

$$m_\beta = \sqrt{\frac{24m_2^2 \cdot \rho^2}{(n+3)L^2}}.$$

Аналогичные расчеты могут быть выполнены для любого вида построения инженерно-геодезических сетей.

Принципы проектирования и расчета точности для высотных сетей точно такие же, но в качестве единицы веса  $\mu$  принимается погрешность на 1 км нивелирного хода, а обратный вес в секциях следует считать равным длине секции (в км); если  $\mu$  – погрешность определения превышения на станции, то обратный вес в секциях равен числу станций.

Исходная точность в зависимости от назначения высотной сети определяется требованиями к точности рисовки рельефа на топографических планах, к высотной разбивке, к точности определения осадок или деформаций и т. д.

### **2.3. Системы координат и высот, применяемые в инженерно-геодезических работах**

Государственные геодезические сети до их уравнивания должны быть отнесены на какую-то поверхность относимости (референц-эллипсоид Красовского), для этого в сетях 1 и 2 класса в измеряемые элементы вводятся редуцированные поправки. Проектирование всех последующих сетей сгущения осуществляется на единой поверхности относимости.

Редуцированные поправки вводят при выполнении геодезических измерений для того, чтобы получить результаты без искажений. Существуют две поправки: поправка за отнесение базисной стороны на поверхность относимости и поправка в длину линии при переходе на плоскость.

В качестве поверхности относимости принимают средний уровень строительной площадки (в гражданских зданиях – это уровень первого этажа), на трассах метрополитена – уровень оси тоннеля или головок рельсового пути и др.

В целях картографирования геодезические сети проецируются на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера (на территории стран СНГ).

В инженерно-геодезических работах применяют государственные системы координат (СК – 42, СК – 63, СК – 95) и местные системы координат. Для современных промышленных комплексов применяется частная (условная) система координат, начало координат которой не совпадает с началом государственной системы координат, а ее оси развернуты относительно осей государственной системы координат.

Высотные сети (государственные и инженерно-геодезические) проектируют и создают в единой системе высот. За начало высот принят средний уровень Балтийского моря. Этот уровень отмечен горизонтальной чертой на медной металлической пластине, укрепленной в устье моста через обводной канал в Кронштадте.

Основным методом создания высотных сетей является геометрическое нивелирование. При определении разности высот поверхности земли методом геометрического нивелирования возникает некоторая неопределенность в значении превышений вследствие того, что уровенные поверхности различных точек Земли не параллельны между собой. Это обусловлено неравномерностью распределения масс земной коры и суточным вращением Земли. В зависимости от принципа учета непараллельности уровенных поверхностей различают нормальные, динамические и ортометрические высоты.

По предложению М.С. Молоденского, принята система нормальных высот. Нормальные высоты точек отсчитываются по направлениям отвесных линий от поверхности квазигеоида, которая близка к поверхности геоида.

Измеренные превышения между пунктами нивелирования I и II, а также нивелирования III класса в горных районах исправляют поправками за переход к системе нормальных высот, которые вычисляются на основании гравиметрических измерений.

При выполнении инженерно-геодезических работ эта поправка, как правило, не вводится из-за достаточно не высокой точности и малой протяженности ходов. Однако, при производстве ряда инженерных работ введение поправок в измеренные превышения бывает необходимо, например

при строительстве тоннелей, плотин в горных районах, строительстве испытательных линий большой линейной протяженности.

При строительстве крупных гидротехнических сооружений на реках меридионального направления следует учитывать, что контур водохранилища или озера будет иметь различные нормальные высоты, разности которых могут достигать существенных размеров.

Динамическую систему высот целесообразно применять для инженерно-технических расчетов, связанных с учетом работы, совершаемой в гравитационном поле Земли, в метеорологии. Для вычисления результатов нивелирования при создании государственных геодезических сетей динамические высоты не применяются.

#### **2.4. Триангуляционные сети. Методы оценки проектов. Особенности угловых измерений.**

Триангуляционные сети в инженерно-геодезических работах используются в качестве основы для топографических съемок и разбивочных работ, а также для наблюдений за деформациями сооружений.

Для съемочных работ триангуляционная сеть позволяет сократить длины развиваемых на ее основе сетей сгущения и способствует уменьшению погрешностей в сетях низших разрядов и съемочных сетях. Выбор класса сети для этой цели определяется в основном площадью съемки. Так, для крупных городов применяется триангуляция до 2 класса включительно (площадь больше, чем  $50 \text{ км}^2$ ). В большинстве случаев исходным обоснованием для съемочных работ служит триангуляция 4 класса (площадь меньше, чем  $50 \text{ км}^2$ ). Триангуляция используется и для построения сетей сгущения 1 и 2 разрядов.

Технические характеристики государственной триангуляции и специальных триангуляционных сетей представлены в табл.7, 8 и 9.

Таблица 7

Государственная триангуляция

Класс (разряд) сети	Длины сторон, км	С. к. п. измеренного угла, угл. сек.	Относительная с. к. п. исходной стороны	Относительная с. к. п. слабой стороны
3 кл.	5 – 8	1,5	1:200 000	1:100 000
4 кл.	2 – 5	2,0	1:200 000	1:70 000
1 р.	0,5 – 5	5,0	1:50 000	1:20 000
2 р.	0,25 – 3	10,0	1:20 000	1:10 000



Особенностью опорных сетей, созданных в виде специальных триангуляционных построений на территории городов и промышленных площадок, является уменьшение длин сторон в 1,5 – 2 раза, а плотность пунктов составляет 1 пункт на 15 – 5 км<sup>2</sup>.

Уменьшение длин сторон приводит к повышению требований к отдельным измерительным операциям, таким как центрирование теодолита и визирных целей при угловых измерениях.

Для разбивочных работ триангуляция может служить непосредственной основой, с пунктов которой производится разбивка сооружений, или опорой для развития сетей низших классов, также используемых для разбивки. Такими примерами служат гидротехническая, тоннельная и мостовая триангуляция.

Особенностью разбивочной триангуляции является необходимость соблюдения точностных требований во взаимном положении смежных пунктов или пунктов, разделенных двумя-тремя сторонами. Это требование обусловлено необходимостью выноса в натуру системы точек, принадлежащих к единому сооружению, т. е. связанных конструктивно и технологически.

Таблица 8

Тоннельная триангуляция

Разряд	Длина тоннеля, км	Длина стороны, км	С. к. п. измеренного угла, угл. сек.	Относительная с. к. п. исходной стороны	Относительная с. к. п. слабой стороны	С. к. п. дирекционного угла слабой стороны, угл. сек.
I	Свыше 8	4 - 10	0,7	1:400 000	1:200 000	1,5
II	5 – 8	2 - 7	1,0	1:300 000	1:150 000	2,0
III	2 - 5	1,5 – 5	1,5	1:200 000	1:120 000	3,0
IV	1 – 2	1 - 3	2,0	1:150 000	1:70 000	4,0

Таблица 9

Гидротехническая триангуляция

Разряд сети	Длины сторон, км	С. к. п. измеренного угла, угл. сек.	Относительная с. к. п. исходной стороны	Относительная с. к. п. слабой стороны
I	Устанавливается спец. расчетами			
II	0,5 – 1,5	1,0	1:400 000	1:200 000
III	0,3 – 1,0	1,5	1:300 000	1:150 000
IV	0,2 – 0,8	2,0	1:150 000	1:150 000

Триангуляционные сети, предназначенные для наблюдений за плановыми смещениями сооружений, применяются на крупных гидротехнических объектах и используются для измерения смещений недоступных точек и контроля устойчивости исходных пунктов других построений. Для сетей такого вида характерны высокие требования к точности определения координат (2 – 5 мм) при небольших длинах сторон.

При развитии опорных сетей методом триангуляции наиболее типичными построениями являются: одиночные и сдвоенные цепочки треугольников (для линейно протяженных объектов), центральные системы, геодезические четырехугольники (для мостовых и гидротехнических сооружений), вставки пунктов в треугольники и небольшие сети из этих фигур (рис. 4).

Треугольники стремятся проектировать близкими к равносторонним, в отдельных случаях острые углы допускают до  $20^{\circ}$ , а тупые – до  $140^{\circ}$ . В свободных сетях, для контроля масштаба сети, необходимо иметь не менее двух непосредственно измеренных базисных сторон.

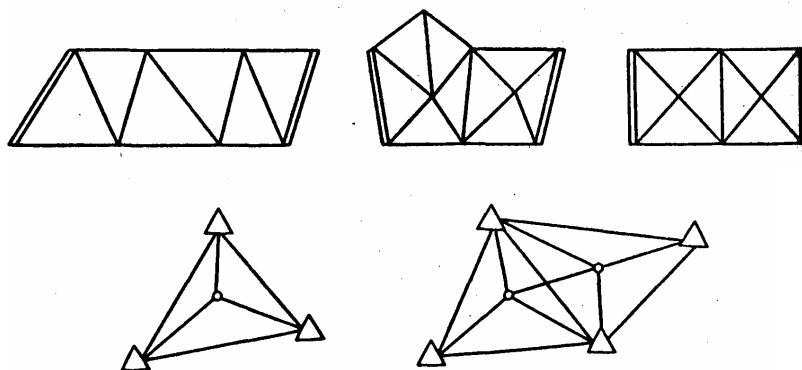


Рис. 4. Схемы инженерных сетей триангуляции

Уравнивание результатов измерений выполняют строгими способами. Среднюю квадратическую погрешность функции  $m_F$  уравненных элементов сети вычисляют по формуле (10), а с учетом погрешностей исходных данных суммарная погрешность будет равна

$$m = \sqrt{m_F^2 + m_{исх}^2}. \quad (17)$$

При разработке проектов триангуляционных сетей расчет ожидаемой точности (оценку проекта) производят, как правило, на ЭВМ, используя различные программные комплексы.

Для предварительной оценки ожидаемой точности некоторых триангуляционных построений можно пользоваться приближенными формулами.

Так, продольный сдвиг ряда, состоящего из приближенно равнобедренных треугольников, при уравнивании за условие фигур по направлениям вычисляется по формуле

$$m_L = L \cdot \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2} \cdot \frac{4n^2 + 3n + 5}{9n}, \quad (18)$$

где  $n$  – число промежуточных сторон в диагонали ряда  $L$ ;  $\left(\frac{m_b}{b}\right)$  – относительная средняя квадратическая погрешность измеренной базисной стороны;  $m_\beta$  – средняя квадратическая погрешность измеренного угла; знак «плюс» перед  $3n$  берется при четном числе треугольников в ряду, знак «минус» – при нечетном.

Поперечный сдвиг такого же ряда и при тех же условиях вычисляется по формулам:

при четном числе треугольников в ряду

$$m_q = \frac{L}{\rho} \sqrt{m_\alpha^2 + \frac{2}{15} m_\beta^2 \cdot \frac{n^2 + n + 3}{n}} \quad (19)$$

при нечетном числе треугольников в ряду

$$m_q = \frac{L}{\rho} \sqrt{m_\alpha^2 + \frac{m_\beta^2}{15} \cdot \frac{2n^2 + 5n + 5}{n}}, \quad (20)$$

где  $m_\alpha$  – средняя квадратическая погрешность дирекционного угла исходной стороны.

Средняя квадратическая относительная погрешность длины связующей стороны треугольника с номером  $K$  вычисляется по формуле

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)_k = \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2} \cdot K. \quad (21)$$

Средняя квадратическая погрешность дирекционного угла по формуле

$$m_{\alpha k} = \sqrt{m_\alpha^2 + m_\beta^2 \cdot \frac{2K + 5}{10}}. \quad (22)$$

Для треугольников произвольной формы со связующими углами  $A$  и  $B$  относительная погрешность сторон определяется по формуле

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)_k = \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \cdot \left[\sum_{i=1}^k (ctg^2 A_i + ctg^2 B_i + ctg A_i + ctg B_i)\right]}. \quad (23)$$

Если расчет для промежуточной стороны ряда ведется от двух исходных базисов, то среднее весовое из двух погрешностей, полученных по формуле (23) может быть подсчитано по формуле

$$\left(\frac{m_{S_k}}{S_k}\right)_{cp.в.} = \frac{\left(\frac{m_S}{S}\right)_{K_1} \cdot \left(\frac{m_S}{S}\right)_{K_2}}{\sqrt{\left[\left(\frac{m_S}{S}\right)_{K_1}\right]^2 + \left[\left(\frac{m_S}{S}\right)_{K_2}\right]^2}}. \quad (24)$$

Если необходимо определить погрешность взаимного положения пунктов, то ее находят по формуле

$$m = \sqrt{m_S^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2 \cdot s^2}. \quad (25)$$

При проектировании центральных систем, геодезических треугольников расчеты точности ведут с применением формул для цепочки треугольников с некоторой их конкретизацией.

Рассмотрим небольшую сеть в виде вставки пункта в треугольник триангуляции более высокого класса (рис. 5).

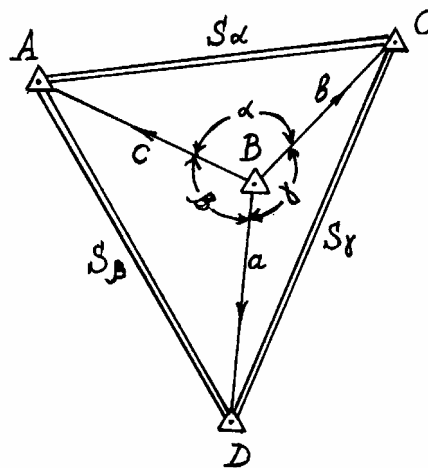


Рис. 5. Геометрическая схема вставки в треугольник

Для расчета точности положения пункта, определенного вставкой в треугольник, применяют формулу профессора Проворова

$$M = \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{a^2 b^2 + a^2 c^2 + b^2 c^2 + a^2 S_\alpha^2 + b^2 S_\beta^2 + c^2 S_\gamma^2}{8(a^2 \sin^2 \alpha + b^2 \sin^2 \beta + c^2 \sin^2 \gamma + ab \sin \alpha \sin \beta + bc \sin \beta \sin \gamma + ac \sin \alpha \sin \gamma)}}, \quad (26)$$

где  $M$  – средняя квадратическая погрешность положения пункта  $D$ , связанная с геометрией данной фигуры;  $m_\beta$  – средняя квадратическая погрешность угла по невязкам в треугольниках.

Для выполнения расчета важно правильно обозначить составляющие формулы (26).

В результате выполнения предварительной оценки проекта триангуляции необходимо определить требуемую точность угловых измерений, для этого используют формулу (10).

Единицу веса  $\mu$  принимают равной средней квадратической погрешности измерения угла  $\mu = m_\beta$  и для равноточных измерений вес  $P$  равен единице, тогда погрешность угловых измерений в триангуляции определяем так:

$$m_\beta = \frac{m_F}{\sqrt{1/P_F}}. \quad (27)$$

Таким образом, установив заранее величину  $M$  наиболее важного элемента сети, вычисляют необходимую точность угловых измерений  $m_\beta$  в сети триангуляции. Причем точность измерения базисных сторон войдет в величину  $1/P_F$ .

Оценку точности проекта триангуляции можно выполнить и способом последовательных приближений. В этом способе сначала вычисляются весовые характеристики направлений по осям координат ( $a$  – по оси абсцисс,  $b$  – по оси ординат), их вычисляют по формулам

$$a = -\frac{\rho \cdot \sin \alpha}{S}; \quad b = \frac{\rho \cdot \sin \alpha}{S}. \quad (28)$$

В первом приближении вычисляют ожидаемые средние квадратические погрешности по направлениям  $m_x$  и  $m_y$

$$m_{x_i}^2 = \frac{m_\beta^2}{a_i^2}; \quad m_{y_i}^2 = \frac{m_\beta^2}{b_i^2}, \quad (29)$$

а суммарные ожидаемые погрешности с учетом всех направлений

$$M_x^2 = \frac{m_\beta^2}{2\sum a^2}; \quad M_y^2 = \frac{m_\beta^2}{2\sum b^2}. \quad (30)$$

Вычисления во всех последующих приближениях ведутся с учетом погрешностей исходных данных.

Новые весовые характеристики вычисляются так:

$$A^2 = \frac{m_{\beta}^2}{[m_{x_i}^2]_{Nnp}}; B^2 = \frac{m_{\beta}^2}{[m_{y_i}^2]_{Nnp}} \quad (31)$$

Вычисления в приближениях выполняют до тех пор, пока погрешности в положении определяемого пункта по осям координат в двух последних приближениях не окажутся равными в пределах заданной точности вычислений.

Далее вычисляются погрешности в положении определяемых пунктов

$$M_i = \sqrt{m_{x_i}^2 + m_{y_i}^2}, \quad (32)$$

погрешность определения стороны

$$m_s = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (33)$$

и относительную погрешность слабой стороны  $\frac{m_s}{s}$ , которая дает возможность судить о принадлежности исследуемой сети к тому или иному классу (разряду) триангуляции.

Рассмотрим особенности угловых измерений в триангуляции. На качество угловых измерений в триангуляции на территории городов и строительных площадок влияют следующие факторы:

- 1) наличие своеобразного микроклимата: транспортные средства, промышленные и энергетические предприятия выделяют в атмосферу тепло, дым, пыль; происходит изменение режима теплопроводности, испарения, конденсации водяного пара от поверхности дорог (с асфальтированным и другим покрытием), железобетонных и металлических конструкций;
- 2) наличие препятствий для визирного луча теодолита;
- 3) короткие стороны и резкий перепад уровней высоты;
- 4) вибрация промышленных зданий, на которых располагаются пункты триангуляции;
- 5) боковая рефракция (может достигать  $\Delta\alpha = 3 - 10''$ )

Местные поля рефракции изменяются во времени и в пространстве, кроме этого, суточные и сезонные изменения боковой рефракции различные. Чтобы уменьшить влияние боковой рефракции на результаты угловых измерений, рекомендуется производить измерения ранней весной или поздней осенью, а в пределах суток – в утреннюю и вечернюю видимость.

В связи с короткими длинами сторон необходимо особое внимание уделять центрированию теодолита и визирных целей.

Поправка за центрировку  $c''$  в измеренное направление равна

$$c'' = \frac{l \cdot \sin(M + \theta)}{S} \cdot \rho'', \quad (34)$$

где  $l$  – величина линейной редукции;  $\theta$  – угловой элемент редукции;  $S$  – длина стороны;  $M$  – измеренное направление.

Поправка за центрировку в измеренный угол  $c_0''$  будет равна

$$c_0'' = l \cdot \rho'' \left[ \frac{\sin(M_2 + \theta)}{s_2} - \frac{\sin(M_1 + \theta)}{s_1} \right]. \quad (35)$$

Для трех направлений (максимальное значение направления  $120^\circ$ ) при равных между собой длинах линий, получим

$$c_0'' = \frac{l \cdot \rho}{s} \sqrt{3}.$$

Отсюда найдем линейную редукцию

$$l = \frac{c_0'' \cdot s}{\rho \cdot \sqrt{3}},$$

продифференцируем полученное выражение и перейдем к средней квадратической погрешности линейной редукции

$$m_l = \frac{m_c \cdot s}{\rho \cdot \sqrt{3}},$$

приняв во внимание условие  $m_c = 0,1 \cdot m_\beta$ , получим

$$m_l = \frac{0,1 m_\beta \cdot s}{\rho \cdot \sqrt{3}}. \quad (36)$$

Например, для триангуляции 4 класса  $m_\beta = 2''$ , наименьшая длина стороны  $s = 2 \text{ км}$ , получаем  $m_l = 1,2 \text{ мм}$ . Это говорит о том, что требуется с высокой точностью центрировать теодолит и визирные цели.

Если сеть триангуляции имеет короткие длины сторон и большой перепад высот, то обязательно учитывают влияние наклона оси вращения трубы теодолита на результаты угловых измерений. Поправка в горизонтальное направление вычисляется так:

$$\Delta'' = b \cdot \operatorname{ctgz} z \cdot \frac{\tau''}{2}, \quad (37)$$

где  $b$  – наклон горизонтальной оси в полуделениях уровня,  $z$  – зенитное расстояние,  $\frac{\tau''}{2}$  – цена полуделений уровня.

## 2.5. Сети трилатерации. Оценка точности проектов. Особенности линейных измерений.

Метод трилатерации применяют для построения инженерно-геодезических сетей 3 и 4 класса, а также сетей сгущения 1 и 2 разрядов различного назначения. Технические характеристики сетей трилатерации представлены в табл. 10.

Таблица 10

Трилатерация

Основные показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Длина стороны, км	1 – 5	0,5 – 6	0,25 – 3
Предельная относительная погрешность определения длин сторон	1:50000	1:20000	1:10000
Минимальный угол в треугольнике, °	20	20	20
Минимальный угол в четырехугольнике, °	25	25	25
Число треугольников между исходными пунктами	6	8	10

Сети трилатерации для решения инженерно-геодезических задач строят в виде свободных сетей, состоящих из отдельных фигур: геодезических четырехугольников, центральных систем или их комбинаций с треугольниками.

Типовой фигурой трилатерации является треугольник с измеренными сторонами  $a$ ,  $b$  и  $c$ .

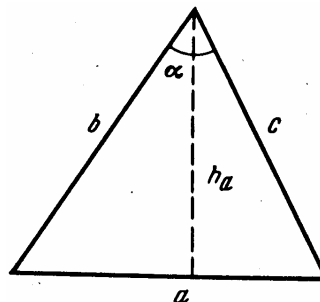


Рис. 6. Треугольник трилатерации



Средняя квадратическая погрешность вычисленного угла может быть определена по формуле

$$m_{\alpha}^2 = \rho^2 (A^2 m_a^2 + B^2 m_b^2 + C^2 m_c^2), \quad (38)$$

где  $m_a, m_b, m_c$  – средние квадратические погрешности измерения сторон; а коэффициенты  $A, B$  и  $C$  находят так:

$$A = \frac{1}{h_a}; B = A \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h_a}{b}\right)^2}; C = A \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{h_a}{c}\right)^2},$$

где  $h_a$  – высота треугольника, опущенная из вершины на сторону  $a$ .

Для линейно протяженных объектов сеть трилатерации создают из цепочки треугольников. Недостатки такого построения состоят в следующем:

- 1) поперечный сдвиг ряда существенно превышает продольный;
- 2) отсутствие полевого контроля качества измерений для каждой фигуры (при любых погрешностях измерений длин сторон сумма вычисленных углов всегда равна  $180^\circ$ ).

При оценке ожидаемой точности ряда равносторонних треугольников трилатерации используют формулы:

а) для продольного сдвига

$$m_t = m_s \sqrt{\frac{N}{2}} \quad (\text{при четном } N);$$

$$m_t = m_s \sqrt{\frac{N-1}{2}} \quad (\text{при нечетном } N), \quad (39)$$

где  $m_s$  – средняя квадратическая погрешность измерения сторон;  $N$  – число фигур ряда;

б) для поперечного сдвига

$$m_u = m_s \sqrt{0,111k^3 + 0,25k^2 + 1,3k}, \quad (40)$$

где  $k$  – порядковый номер связующей стороны;

в) для дирекционного угла связующей стороны

$$m_{\alpha k} = \frac{m_s \cdot \rho}{S} \sqrt{1,33k + 0,67}, \quad (41)$$

где  $S$  – длина сторон треугольников.

Чтобы исключить второй недостаток, сети трилатерации на практике развивают в виде геодезических четырехугольников. В каждом геодезическом четырехугольнике измеряется шесть сторон, причем одна из них (лю-

бая) является избыточной и может быть вычислена, используя результаты измерений других сторон. Это может служить полевым контролем качества измерений длин линий. Кроме того, геодезический четырехугольник является более жесткой фигурой, чем ряд составленный из таких фигур, и обладает более высокой точностью.

Оценка точности ряда геодезических четырехугольников, состоящего из квадратов и уравненного за условия фигур, может быть выполнена по следующим формулам:

$$\begin{aligned}
 m_t &= m_s \sqrt{0,9N}; \\
 m_u &= m_s \sqrt{0,67N^3 - 0,13N^2 + 0,98N + 1,4}; \\
 m_{\alpha_k} &= \frac{m_s \cdot \rho}{S} \sqrt{2N}.
 \end{aligned}
 \tag{42}$$

Широкое распространение в практике инженерно-геодезических работ сети трилатерации получили при строительстве высокоэтажных зданий, дымовых труб, градирен, атомных электростанций, а также при монтаже сложного технологического оборудования. В таких сетях с высокой точностью (до десятых долей миллиметра) измеряют длины сторон. Рассмотрим особенности линейных измерений в трилатерации. В зависимости от вида и назначения сети для линейных измерений могут быть использованы высокоточные светодальномеры, инварные проволоки и жезлы специальной конструкции. Получить длины линий можно и косвенно, применив параллактический способ. Сети трилатерации с короткими сторонами принято называть сетями микротрилатерации.

Отметим ряд достоинств микротрилатерационных построений:

- 1) при измерениях небольших расстояний значительно ослабляется влияние ошибок за центрировку и редукцию;
- 2) пропадает необходимость обеспечивать видимость сразу между несколькими пунктами;
- 3) не требуется видимости между конечными пунктами сети.

Иногда сети микротрилатерации являются единственно возможным методом создания геодезического обоснования для производства разбивочных работ.

## 2.6. Линейно-угловые построения

Широкое внедрение в практику геодезических работ светодальномерной техники привело к распространению линейно-угловых построений. В линейно-угловых сетях измеряются все или часть углов и сторон. По сравнению с триангуляцией и трилатерацией сеть, в которой удачно соче-

таются угловые и линейные измерения, в меньшей степени зависит от геометрии фигуры; существенно уменьшается зависимость между продольным и поперечным сдвигами; обеспечивается жесткий контроль угловых и линейных измерений. Линейно-угловая сеть позволяет вычислить координаты пунктов точнее, чем в сетях триангуляции и трилатерации, примерно в 1,5 раза.

При уравнивании линейно-угловых сетей важно правильно установить соотношение погрешностей угловых и линейных измерений, оно считается приемлемым, если выполняется условие

$$\frac{m_{\beta}}{\rho} = \frac{m_S}{S}. \quad (43)$$

На практике стремятся это соотношение выдержать в пределах

$$\frac{1}{3} < \frac{m_{\beta}}{\rho} \cdot \frac{S}{m_S} < 3, \quad (44)$$

так как при  $\frac{m_{\beta}}{\rho} \cdot \frac{S}{m_S} \leq \frac{1}{3}$  линейные измерения практически не повышают

точность элементов сети; при  $\frac{m_{\beta}}{\rho} \cdot \frac{S}{m_S} \geq 3$  влияние угловых измерений на

повышение точности элементов сети незначительно.

Приведем формулы вычисления погрешностей уравненных длин сторон и углов треугольника при измерении всех его элементов:

$$m_{\beta_{УРАВ}}^2 = m_{\beta}^2 \left( 1 - \frac{m_S^2 + \frac{S^2}{\rho^2} m_{\beta}^2}{3m_S^2 + \frac{S^2}{\rho^2} m_{\beta}^2} \right); \quad (45)$$

$$m_{S_{УРАВ}}^2 = m_S^2 \left( 1 - \frac{2m_S^2}{3m_S^2 + \frac{S^2}{\rho^2} m_{\beta}^2} \right) \quad (46)$$

где  $m_S$  и  $m_{\beta}$  – средние квадратические погрешности измерения длин линий и углов;  $S$  – длина стороны равностороннего треугольника.

Значительное повышение точности в линейно-угловых сетях возникает при определении координат пунктов.

При уравнивании линейно-угловых сетей важно правильно установить соотношение весов измеренных углов и длин сторон. Веса измерений обычно вычисляют по формулам

$$P_{\beta} = \frac{\mu^2}{m_{\beta}^2}; P_s = \frac{\mu^2}{m_s^2}. \quad (47)$$

Для удобства вычислений обычно принимают  $\mu^2 = m_{\beta}^2$  и при уравнивании по углам получают

$$P_{\beta} = 1; P_s = \frac{m_{\beta}^2}{m_s^2}.$$

При вычислении весов следует помнить, что размерности  $m_s$  и  $m_{\beta}$  должны соответствовать размерности вычисляемой невязки. Например, если невязки вычисляются в угловых секундах и сантиметрах, то эти размерности должны использоваться и при вычислении весов.

Оригинальным линейно-угловым построением, применяемым только в инженерно-геодезической практике, является четырехугольник без диагоналей (рис.7), в котором измерены две смежные стороны и все углы. Это построение предложено И.В. Зубрицким.

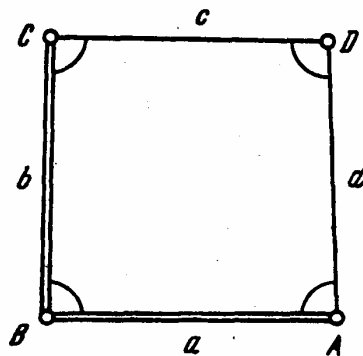


Рис.7. Бездиагональный четырехугольник

В бездиагональном четырехугольнике с измеренными сторонами  $a$  и  $b$ , две другие стороны  $c$  и  $d$  вычисляют по формулам

$$c = \frac{a \sin A + b \sin(C + D)}{\sin D}; d = \frac{b \sin C + a \sin(A + D)}{\sin D}. \quad (48)$$

Если измерены две несмежные стороны, например  $b$  и  $d$ , то в этом случае стороны  $a$  и  $c$  могут быть вычислены по формулам

$$a = \frac{d \sin D - b \sin C}{\sin(A + D)}; c = \frac{d \sin A - b \sin B}{\sin(A + D)}. \quad (49)$$

В сложных сетях, составленных из бездиагональных четырехугольников, нет необходимости измерять две стороны в каждом четырехугольнике. Они могут быть получены из решения предыдущих фигур.

При равноточных угловых измерениях средние квадратические погрешности вычисления длины стороны для прямоугольного четырехугольника равны

$$m_c^2 = m_a^2 + 2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} b^2; m_d^2 = m_b^2 + 2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} a^2. \quad (50)$$

Для цепи четырехугольников, в которой измерены сторона  $b$  и боковые стороны ( $a$  и  $c$ ) получим

$$m_{d_n}^2 = m_b^2 + \sum_1^n S^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}, \quad (51)$$

где  $S$  – длина боковой стороны ( $a$  или  $c$ ).

Для четырехугольников, близким к квадратам, получим,

$$m_{d_n}^2 = m_b^2 + n \left( \frac{m_\beta^2}{\rho^2} a^2 \right). \quad (52)$$

Геодезические четырехугольники без диагоналей применяются для создания геодезического обоснования в застроенных и лесных районах, на промышленных предприятиях в виде строительных сеток.

Другим примером линейно-угловой сети служит опорная сеть, применяемая при строительстве мостовых переходов. В таких сетях измеряют все четыре стороны и четыре угла; поэтому такие сети иногда рассматривают как своеобразный замкнутый полигонометрический ход, в котором измерены два левых и два правых угла.

Характерной особенностью строительной сетки как инженерно-геодезической сети является расположение пунктов, образующих сетку квадратов или прямоугольников, стороны которых параллельны осям проектируемых сооружений. Таким образом, строительная сетка представляет собой закрепленную на местности систему прямоугольных координат.

Строительная сетка предназначена:

1) для выноса в натуру основных осей сооружений и производства разбивочных работ;

2) служит основой для исполнительных съемок, производимых во время строительства и после его завершения;

3) пункты строительной сетки являются и высотной основой строительной площадки.

Проектирование строительной сетки выполняют на генеральном плане будущего сооружения. Точную конфигурацию и расположение пунктов проектируют заранее. При этом места расположения пунктов строительной сетки намечают таким образом, чтобы обеспечить сохранность наибольшего их числа в процессе строительства, а также видимость по сторонам строительной сетки.

В зависимости от назначения строительной сетки и типа строящегося объекта длину стороны квадрата или прямоугольника сетки принимают от 100 до 400 м. Наибольшее распространение получила сетка со стороной 200 м. В цеховых условиях для расстановки технологического оборудования сетку проектируют со стороной 10 – 20 м.

При создании строительной сетки используют частную прямоугольную систему координат. Начало этой системы выбирают таким образом, чтобы все пункты имели положительные значения абсцисс и ординат. Координатные оси в большинстве случаев обозначают буквами *A* и *B*. Нумеруют пункты арабскими цифрами, начиная с верхнего ряда (по отношению к генплану) слева направо и сверху вниз.

Рассмотрим требования к точности строительных сеток, исходя из ее назначения. Опыт строительства крупных промышленных комплексов показывает, что в большинстве случаев для выполнения основных разбивочных работ и исполнительных топографических съемок в масштабе 1:500:

а) погрешности во взаимном положении смежных пунктов строительной сетки в среднем должны составлять 1:10000 или 2 см для расстояний между ними в 200 м;

б) прямые углы строительной сетки должны быть построены с точностью порядка 20";

в) погрешности в положении пунктов в самом слабом месте относительно плановой геодезической основы (или исходного пункта сетки) не должны превышать 0,2 мм в масштабе плана 1:500, т. е. 10 см.

Технология создания строительных сеток включает в себя два этапа:

1) проектирование и вынесение в натуру исходных направлений сетки;

2) детальная разбивка строительной сетки.

Сначала в зависимости от конфигурации строительной сетки намечают исходные направления, которые будут вынесены на местность от имеющихся на стройплощадке пунктов геодезического обоснования (рис. 8).

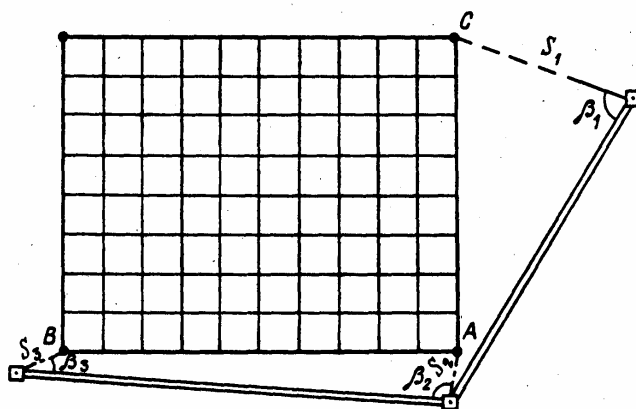


Рис. 8. Схема выноса в натуру исходных направлений строительной сетки

На одном из исходных направлений выбирают две точки:  $C$  и  $A$ , координаты которых определяют графически и, используя координаты пунктов плановой основы, из решения обратных геодезических задач, вычисляют полярные координаты  $S_1$  и  $S_2$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Для исключения грубых ошибок целесообразно вынести в натуру третью точку  $B$  по полярным элементам  $S_3$  и  $\beta_3$ .

После закрепления точек  $A$ ,  $B$  и  $C$  на местности измеряют угол между вынесенными в натуру исходными направлениями сетки, по отклонению которого от  $90^\circ$  можно судить о точности выполненных работ.

Так как координаты точек  $A$ ,  $B$  и  $C$  определялись по генплану графически, то точность их выноса в натуру составит около  $0,2 - 0,3$  мм на плане. Но это не играет существенной роли, поскольку на эту величину сместится весь комплекс проектируемых сооружений.

Однако таким способом нельзя выносить в натуру строительную сетку при реконструкции или расширении предприятия. В этом случае новую строительную сетку следует развивать как продолжение существующей. Если знаки построенной (старой) сетки не сохранились, следует восстановить на местности основные оси существующих цехов или установок, с которыми технологически связаны вновь создаваемые сооружения, и уже от них (как от исходных направлений) разбивать новую строительную сетку.

От вынесенного и закрепленного на местности исходного направления выполняют детальную разбивку строительной сетки *осевым способом* или *способом редуцирования*.

При *осевом способе* разбивки строительную сетку сразу строят на местности с расчетной точностью путем точного отложения проектных элементов.

Если площадка небольшая, а разбивка вершин сетки выполнена с высокой точностью, то полученные координаты вершин сетки будут незначительно отличаться от проектных. Однако при разбивке сеток больших размеров трудно с высокой степенью точности выполнить разбивку и учесть все поправки при откладывании длин линий. Поэтому фактические результаты могут существенно отличаться от проектных, что вызовет определенные затруднения при разбивке сооружений. Осевой способ целесообразно применять на небольших площадках или там, где точность разбивочных работ невелика и отклонением координат пунктов сетки от их проектных значений, в пределах 3 – 5 см, можно пренебречь.

Для проектирования разбивочных работ удобнее иметь такую сетку, координаты пунктов которой практически не отличаются от проектных. Это можно получить при построении сетки способом редуцирования.

При *способе редуцирования* последовательность детальной разбивки строительной сетки такова:

- 1) от закрепленных исходных направлений разбивают все пункты сетки с точностью 1:1000 – 1:2000 и закрепляют временными знаками;
- 2) создают на площадке плановые сети и определяют точные (фактические) координаты всех закрепленных временными знаками пунктов сетки;
- 3) из сравнения фактических координат с проектными определяют величины редукиции, на которые следует сместить каждый пункт предварительно разбитой сетки;
- 4) выполняют редуцирование, и пункты строительной сетки закрепляют постоянными железобетонными знаками;
- 5) производят контрольные измерения: измерения углов и длин линий выборочно.

На больших площадках плановые сети строят в несколько этапов. В качестве главной основы могут служить сети триангуляции, трилатерации, светодальномерной полигонометрии или линейно-угловые сети.

Пункты главной основы стремятся расположить по углам площадки; между ними по периметру прокладывают ходы первого порядка, между которыми с целью обеспечения координатами внутренних пунктов разбивают ходы второго порядка.



Наиболее эффективным методом определения координат пунктов строительной сетки первого порядка является светодальномерная полигонометрия.

Координаты пунктов в заполняющих сетях могут определяться различными методами: ходами полигонометрии (светодальномерной, траверсной, короткобазисной), триангуляцией, бездиагональными четырехугольниками, линейными засечками, угловыми двухфигурными засечками проф. Дурнева и др.

Для создания сетей второго порядка самым эффективным является метод четырехугольников без диагоналей И.В. Зубрицкого.

Положение заполняющих пунктов строительной сетки может быть получено на местности также способом створов с пунктов основных полигонов.

Так как предварительная разбивка строительной сетки производилась с невысокой точностью, то после уравнивания координаты пунктов сетки будут существенно отличаться от их проектных значений. Чтобы найти на местности проектное положение пунктов, выполняют редуцирование. По фактическим и проектным координатам путем решения обратных геодезических задач определяют угловые  $\beta$  и линейные  $l$  элементы редуциций по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Y_0 - Y}{X_0 - X}, \quad l = \frac{Y_0 - Y}{\sin \alpha} = \frac{X_0 - X}{\cos \alpha}, \quad (53)$$

где  $X_0, Y_0$  – проектные координаты пунктов сетки,  $X, Y$  – фактические координаты предварительно разбитых пунктов сетки.

Затем элементы редуциции откладывают от временных знаков.

Для редуцирования для каждого пункта строительной сетки составляют разбивочный чертеж (рис.9), на который выписывают дирекционные углы направлений и элементы редуциций.

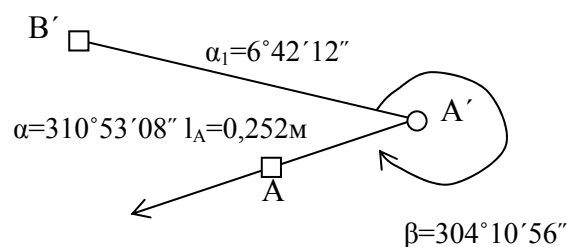


Рис. 9. Разбивочный чертеж редуцирования

Редуцирование выполняется следующим образом. Над временным знаком, например  $A'$ , устанавливают и приводят в рабочее положение тео-

долит. От направления  $A'B'$  откладывают угловой элемент редукции  $\beta_A = 304^\circ 10' 56''$  и фиксируется направление  $A'A$ . Вдоль этого направления при помощи рулетки откладывается линейный элемент редукции  $l_A = 0,252$  м. Таким образом, на местности будет определено положение точки  $A$ , координаты которой соответствуют проектным значениям. Аналогичным образом редуцируют все пункты строительной сетки.

Отредуцированные пункты строительной сетки закрепляют постоянными знаками, представляющими собой железобетонные монолиты или забетонированные отрезки рельсов, металлических труб с приваренными сверху марками или металлическими пластинами размером 200 x 200 мм. Чтобы при закладке постоянного знака не утратить положение отредуцированного пункта, поступают следующим образом. Перед установкой знака положение пункта фиксируют двумя створами 1 и 2 на кольях. После установки знака по меткам на верхних торцах колея натягивают струны (леску) и восстанавливают на знаке положение вершины сетки.

После закрепления сетки постоянными знаками выполняют контрольные измерения. Линейные измерения производят выборочно, обычно проверяют длину отдельных сторон сетки наиболее слабых местах (между ходами второго порядка). Контроль прямых углов выполняют на пунктах, расположенных в шахматном порядке, с таким расчетом, чтобы охватить все стороны сетки.

Под влиянием неизбежных погрешностей измерений контрольные промеры будут отличаться от теоретических значений. Эти отклонения не должны превышать 1:10000 в длинах сторон, 40" – в прямых углах.

Если в результатах контрольных промеров промахов не обнаружено, то в дальнейшем при разбивке сооружений принимают координаты пунктов сетки, равными проектным, а углы между сторонами – прямыми.

По пунктам строительной сетки прокладывают ходы нивелирования III – IV классов. В этом случае строительная сетка служит и высотной основой.

## **2.7. Инженерная полигонометрия. Оценка проектов полигонометрических сетей**

Полигонометрия является самым распространенным видом инженерно-геодезических сетей. Полигонометрические сети могут выступать в качестве геодезического обоснования при изысканиях и строительстве,

съемочного обоснования, а также могут являться основой для наблюдений за плановыми смещениями сооружений.

Проектируют полигонометрию в виде одиночных ходов, опирающихся на исходные пункты высшего класса (разряда), систем ходов с узловыми точками или систем замкнутых полигонов (рис. 10).

На территории городов и промышленных площадок чаще всего проектируют хода полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов. При этом полигонометрия 4 класса существенно отличается от той же полигонометрии, создаваемой для построения государственной геодезической сети, допустимыми длинами ходов.

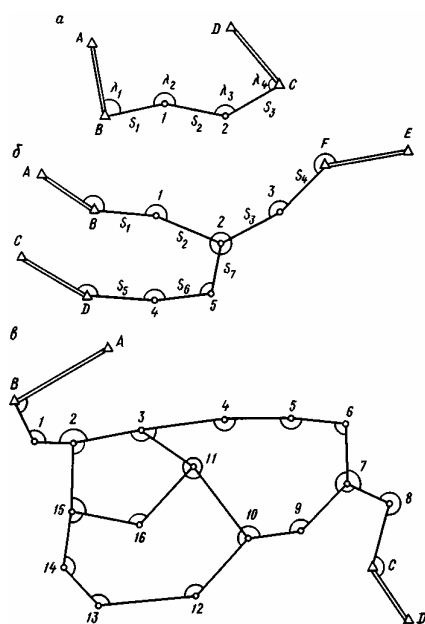


Рис. 10 Схемы полигонометрических или теодолитных ходов

В настоящее время разрешены некоторые отклонения от требований, приведенных в табл. 10. При измерении сторон светодальномерами в отдельных случаях разрешается увеличивать длины привязочных сторон до 30%. В порядке исключения допускается абсолютная невязка 10 см в коротких ходах полигонометрии 1 разряда длиной до 1 км и 2 разряда — до 0,5 км. Если в ходах полигонометрии 1 и 2 разрядов не реже чем через 15 сторон или 3 км хода дополнительно определены дирекционные углы сторон с ошибкой не более  $7''$ , то длины этих ходов могут быть увеличены до 30%.

Основные характеристики инженерной полигонометрии приводятся в табл. 10.

## Инженерная полигонометрия

Основные показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельная длина хода, км:			
- отдельного	15 (10)	5	3
- между исходной и узловой точками	10 (7)	3	2
- между узловыми точками	7 (5)	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	30	15	9
Длина стороны хода, км:			
- наибольшая	2,0	0,8	0,35
- наименьшая	0,25	0,12	0,08
- средняя расчетная	0,5	0,3	0,2
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Относительная ошибка хода, не более	1:25000	1:10000	1:5000
Средняя квадратическая ошибка измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах), угл. с., не более	3	5	10
Угловая невязка хода или полигона (n – число углов в ходе), угл. с., не более	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$

Примечание. В скобках указаны соответствующие показатели государственной полигонометрии 4 класса.

При проектировании полигонометрии стремятся не допускать близкого расположения пунктов, принадлежащих разным ходам, так как в этом случае погрешность их взаимного положения может значительно превосходить погрешности соединяющего их хода, что затруднит их использование в качестве исходных данных для сетей более низкого класса точности. Лишь при построении городской полигонометрии возможно параллельное прокладывание ходов одного класса или разряда на расстоянии 2,5 км друг от друга для 4 класса и 1,5 км для 1 разряда.

Оценка проектов полигонометрических сетей заключается в определении ожидаемых погрешностей координат узловых пунктов, относительных погрешностей ходов и сравнении их с допустимыми значениями. Она выполняется строгими и приближенными способами.

При проектировании одиночных полигонометрических ходов с примерно одинаковыми сторонами, опирающихся на два исходных пункта и исходные дирекционные углы, необходимо определить погрешность в положении пункта и погрешность дирекционного угла в середине хода после его уравнивания:

$$M_{cl} = \frac{1}{2} M, \quad (54)$$

где  $M$  – средняя квадратическая погрешность в положении конечного пункта хода.

Приближенную оценку одиночных ходов можно выполнить по упрощенным формулам Конусова. Ожидаемую среднюю квадратическую погрешность в положении конечного пункта вытянутого хода и хода произвольной формы вычисляют по формулам

$$M^2 = m_S^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12},$$

$$M^2 = m_S^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{0,i}^2], \quad (55)$$

где  $D_{0,i}$  – расстояние от каждой вершины хода до его центра тяжести,  $L$  – длина замыкающей.

Координаты центра тяжести вычисляются по приближенным координатам (снятым с карты, на которой ход запроектирован) точек хода

$$X_0 = \frac{[X_i]}{n+1}, \quad Y_0 = \frac{[Y_i]}{n+1}.$$

Расчет ожидаемых погрешностей проектируемых ходов произвольной формы также можно выполнить по формуле для вытянутого хода. В этом случае получается несколько преувеличенное значение  $M$ , что создает некоторый запас точности по отношению к реальной.

Если геодезическое обоснование проектируется в виде системы полигонометрических ходов, то для приближенной оценки с успехом может быть применен способ узлов (последовательных приближений).

Строгая оценка проектов сетей полигонометрии выполняется на ЭВМ по специальным программным комплексам.

Существуют некоторые особенности угловых и линейных измерений в инженерной полигонометрии. При выполнении угловых измерений в инженерной полигонометрии необходимо руководствоваться требованиями инструкции по полигонометрии соответствующего класса или разряда. Все факторы, влияющие на точность угловых измерений в триангуляции, в полной мере можно отнести и к полигонометрии.

Например, чтобы ослабить влияние боковой рефракции нужно угловые измерения производить так:

- визирный луч должен проходить не ближе 1 м от зданий;
- стороны хода желательно располагать на теневой стороне улицы или проводить измерения в пасмурную погоду;
- внимательно следить за пузырьком уровня, т. к. могут возникнуть различные вибрации земной поверхности, вызванные работой механизмов и движением транспорта, в этот момент нужно прекратить измерения и подождать.

Наличие коротких сторон в полигонометрической сети заставляет очень точно центрировать теодолит и визирные марки. Средняя величина ошибки центрирования не должна превышать 0,5 – 0,7 мм, такую точность можно обеспечить только оптическим центриром.

Измерения длин сторон в инженерной полигонометрии производят светодальномерами, непосредственным измерением (инварными проволоками, стальными компарированными рулетками и лентами) и косвенным измерением (параллактическим способом, с помощью теодолита по вертикально расположенному базису).

Средняя квадратическая погрешность измерения длин линий зависит от метода их измерения и представлена в табл. 11.

Наибольшее распространение при измерении длин линий в полигонометрии получили светодальномеры и тахеометры, они автономны в применении и дают необходимую точность.

Таблица 11

Средства линейных измерений

Средства измерений	Точностное уравнение
Светодальномер или тахеометр	$m_S = (A + B \cdot S)$ , где $A$ и $B$ постоянные прибора указанные в паспорте
Мерные приборы	$m_S = \mu \sqrt{S}$
Параллактический метод	$m_S = m_\varphi \cdot \frac{S}{\varphi}$ , где $\varphi$ - величина параллактического угла, $m_\varphi$ - средняя квадратическая погрешность измерения угла

Широкое применение нашел и короткобазисный параллактический способ, который предполагает наличие большого числа схем. Например, звено типа II-а, когда базис находится в конце определяемой линии. Для

увеличения точности целесообразно измеряемую линию разделить на две части, тогда применяют звено типа III-а.

Также используется створно-короткобазисный способ измерений, в котором определяемую сторону разбивают на отрезки длиной 50 – 60 м, причем каждый отрезок измеряют с помощью ромбического короткобазисного звена типа I-б.

При измерении углов с ошибкой  $m_\beta = 1''$ , можно получить расстояние с точностью полигонометрии 1 разряда, т. е. не хуже  $\frac{m_S}{S} = \frac{1}{10000}$ . Для измерения длин сторон в полигонометрии 2 разряда можно использовать оптический дальномер Редта 002 (относительная погрешность измерения длины линии 1:5000).

Косвенно можно измерить длину стороны и с помощью точного теодолита и инварной нивелирной рейки (высотой 3 м). Схема косвенного определения расстояния показана на рис. 11.

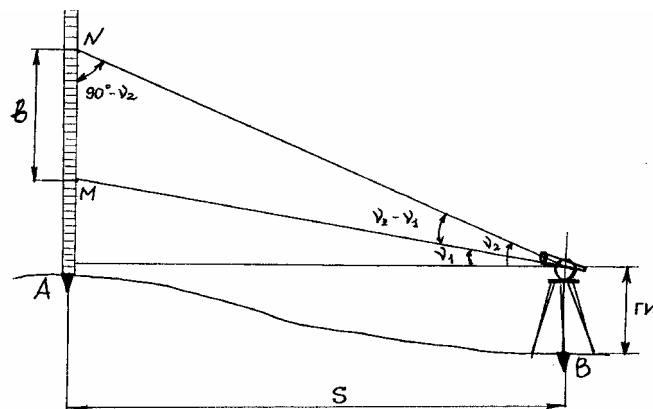


Рис. 11. Схема определения расстояния по вертикально расположенному базису (рейке)

С помощью теодолита определяют углы наклона на два любых четко видимых деления рейки, а необходимое расстояние вычисляют по формуле

$$S = \frac{b}{\operatorname{tg} \nu_2 - \operatorname{tg} \nu_1}. \quad (56)$$

Стараются выбрать такое значение  $b$ , чтобы соблюдались следующие условия  $\frac{b}{S} \leq 0,1$  и  $0^\circ < \nu < 20^\circ$ , тогда расстояние будет определено с погрешностью, равной

$$m_S = \frac{S^2 \cdot m_\nu}{b \cdot \rho} \sqrt{2}. \quad (57)$$

Если расстояния большие, то длину определяемой линии делят на части.

Данный способ определения расстояний можно использовать в разрядной полигонометрии.

Если по направлению между пунктами полигонометрии нет видимости, то возникает задача определения недоступных расстояний.

Для определения недоступного расстояния  $d = AB$  (рис. 12, а) в треугольнике  $ABC$  измеряют базис  $AC = b_1$ , а также углы  $\beta_1$  и  $\beta_3$ . По теореме синусов определяют необходимое расстояние

$$\frac{d}{\sin \beta_1} = \frac{b_1}{\sin \beta_2} = \frac{b_1}{\sin(180^\circ - \beta_1 - \beta_3)} = \frac{b_1}{\sin(\beta_1 + \beta_3)}$$

или

$$d = b_1 \left[ \frac{\sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \beta_3)} \right]. \quad (58)$$

Для контроля измеряют угол  $\beta_2$ . В треугольнике должно соблюдаться условие  $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 180^\circ$ .

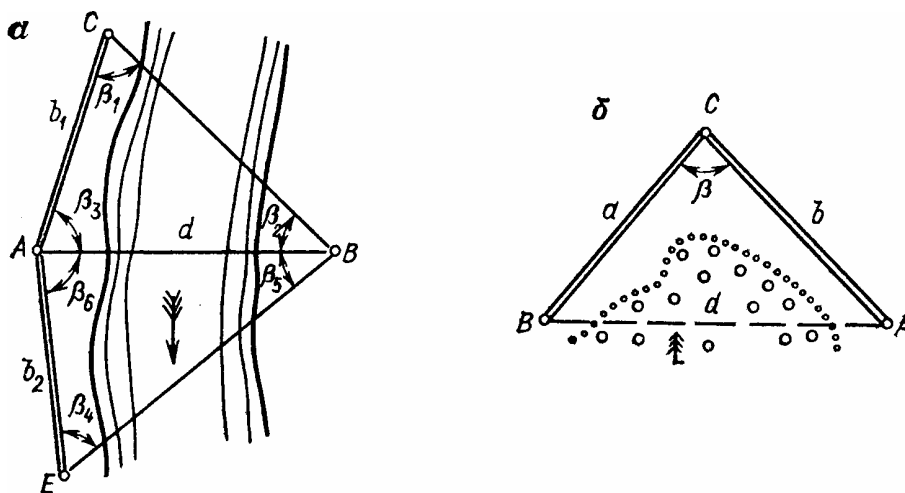


Рис. 12. Схемы определения недоступных расстояний:  
а – в открытой местности; б – в лесу.

В результате влияния погрешностей измерения углов это условие нарушается. Тогда вычисляют угловую невязку в треугольнике и распределяют ее поровну на все три угла, а недоступное расстояние получают по исправленным значениям углов.

Точность определения недоступных расстояний во многом зависит от формы треугольника. Наилучшим считается равносторонний треугольник.



Для повышения точности и исключения грубых ошибок длину неприступной линии рекомендуется определять из двух треугольников.

Если по линии  $AB$  нет видимости (рис. 12, б) и невозможно определить углы на точках  $A$  и  $B$ , то измеряют длины сторон  $a$ ,  $b$  и угол  $\beta$ , а длину неприступной линии вычисляют по теореме косинусов

$$d = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos \beta} . \quad (59)$$

Наиболее благоприятным считается вариант, когда  $a = b$  и угол  $\beta$  близок к  $180^\circ$ .

## 2.8. Развитие плановых и съемочных сетей теодолитными ходами

Теодолитным ходом называют полигонометрический ход, в котором углы между сторонами измеряют теодолитом, а стороны – землемерными лентами, рулетками или оптическими дальномерами равной им точности. Различают разомкнутый, замкнутый и висячий (как исключение в сложной ситуации) теодолитные ходы.

Проект планового или съемочного обоснования составляют на топографических картах и планах более мелкого масштаба или же на глазомерно составленном чертеже местности. Теодолитные ходы прокладывают с учетом их дальнейшего использования не только для производства съемки местности, но и для выполнения разбивочных работ в промышленном и сельском строительстве, переноса проектов землеустройства и др.

В проекте предусматривают привязку теодолитных ходов к исходным пунктам геодезической сети, показывают направление ходов, отмечают узловые точки.

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 предусматривает проложение теодолитных ходов с допустимыми относительными невязками  $1 / 3000 - 1 / 1000$ .

Длины сторон теодолитного хода должны быть не менее 20 и 40 м (соответственно для застроенных и незастроенных территорий) и не более 350 м, допустимая длина теодолитного хода между исходными пунктами зависит как от масштаба топографической съемки и принятой относительной невязки хода, так и от топографических условий местности (табл. 12).

При построении съемочной сети можно допустить проложение висячих теодолитных ходов (ход, опирающийся на один исходный пункт). Допустимая длина висячего хода приводится в табл. 12. Число сторон в висячем ходе на застроенной и незастроенной территории должно быть соответственно не более трех или четырех.

В процессе рекогносцировки (детального осмотра местности) уточняют составленный проект и окончательно выбирают местоположение вершин съемочного обоснования, затем закрепляют их временными или постоянными знаками.

Таблица 12

Допустимые длины теодолитных ходов

Масштаб съемки	Открытая местность, застроенная территория			Закрытая местность	
	$\frac{1}{T} = \frac{1}{3000}$	$\frac{1}{T} = \frac{1}{2000}$	$\frac{1}{T} = \frac{1}{1000}$	$\frac{1}{T} = \frac{1}{2000}$	$\frac{1}{T} = \frac{1}{1000}$
	Допустимые длины ходов, км				
1:5000	6,0	4,0	2,0	6,0	3,0
1:2000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1:1000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1: 500	0,9	0,6	0,3	-	-

Примечание: длина хода между узловыми точками или исходной и узловой точками должна быть на 30 % меньше, чем указано в таблице.

Таблица 13

Допустимые длины висячих ходов

Масштаб съемки	Застроенная территория	Незастроенная территория
	Допустимая длина висячего хода, м	
1:5000	350	500
1:2000	200	300
1:1000	150	200
1: 500	100	150

При выполнении угловых измерений можно применять теодолиты ТЗ0, 2ТЗ0, 2Т5, 2Т5К, Theo 020, Theo 120. Горизонтальные углы измеряют одним полным приемом. Теодолит центрируют над пунктом с погрешностью, не превышающей 3 мм. Измеряют правые или левые углы по направлению теодолитного хода. Одновременно с горизонтальным углом измеряют одним полным приемом угол наклона  $\nu$ , если  $\nu \geq 1.5^\circ$ , то вычисляют и вводят в измеренное расстояние поправку за наклон

$$\delta S_v = -2D \cdot \sin^2 \nu / 2. \quad (60)$$

Кроме поправки за наклон, при измерении расстояний мерными приборами вводится поправка за компарирование (если она превышает 2 мм)

$$\delta S_K = l - l_H, \quad (61)$$

где  $l$  – лина рабочей ленты при температуре  $t^0$  С в момент измерения;  $l_H$  – длина нормальной ленты.

В результате уравнивания теодолитных ходов (отдельно уравнивают углы, затем приращения координат) получают координаты точек теодолитного хода.

## 2.9. Высотные инженерно-геодезические сети

В качестве высотной основы для создания топографических планов, производства разбивочных работ и для наблюдений за осадками инженерных сооружений используют систему знаков, абсолютные высоты которых определяют проложением нивелирных ходов II, III и IV классов. Высотные опорные сети опираются не менее, чем на два репера государственного нивелирования более высокого класса. Однако бывают случаи, особенно при наблюдениях за деформациями инженерных сооружений, когда высотная опорная сеть является свободной, и лишь для привязки опирается на один репер государственной нивелирной сети.

Точность и плотность высотных сетей зависит не только от точности разбивочных и съёмочных работ, но и от размеров территории.

На территориях крупных городов площадью, превышающей  $500\text{км}^2$ , высотной основой служит нивелирование I класса. При площади городской территории в  $50 - 500\text{км}^2$  выполняют нивелирование II, III и IV классов;  $10 - 50\text{км}^2$  – III и IV классов;  $1 - 10\text{км}^2$  – IV класса.

Технические характеристики высотных сетей на территории городов и промышленных площадок приведены в табл. 14.

Нивелирные ходы II класса прокладывают так, чтобы марки и грунтовые реперы располагались равномерно по всей территории работ. Нивелирование производят способом совмещения в прямом и обратном направлениях.

Далее сеть сгущают нивелированием III класса, которое прокладывается в виде отдельных ходов или системы ходов и полигонов, опирающихся на реперы нивелирования высших классов, нивелирование ведется в одном направлении.

## Геометрическое нивелирование

Основные показатели	Класс нивелирования		
	II	III	IV
Средняя квадратическая погрешность нивелирования на 1 км хода, мм	2	5	10
Систематическая погрешность на 1 км хода, мм	0,4	-	-
Допустимые невязки и расхождения сумм превышений прямого и обратного ходов, мм	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$
Максимальная длина хода, км:			
- замкнутого	40	25	10
- между пунктами высшего класса	-	15	5
- между узловыми точками	10	5	3
Расстояние между рабочими реперами на стройплощадке, км	0,5	0,5	0,5
Наибольшее расстояние от нивелира до рейки, м	75	75	100
Наименьшая высота визирного луча, м	0,5	0,3	0,2

Нивелирование IV класса, как правило, производится в одном направлении по стенным и грунтовым реперам, а также центрам опорных геодезических сетей.

Наибольшие требования к точности основных разбивочных работ по высоте возникают при строительстве метрополитенов и крупных самотечных канализационных коллекторов. Точность укладки коллекторов зависит от величины продольного уклона (0,0005) и расстояний между колодцами канализации (обычно 50, 75 или 100 м), а также от размеров сети канализации. Поэтому высотная разбивка осуществляется нивелированием II и III классов. Для высотного обеспечения строительства гидроузлов, магистральных каналов, систем мелиорации развивают нивелирные сети II – IV классов.

Все работы на строительных площадках производятся в единой системе высот, принятой в период изысканий для проектирования сооружений. При необходимости, для строительства уникальных объектов или наблюдений за осадками сооружений, точность повышается за счет особой методики измерений при существенном уменьшении длин визирных лучей, расстояний между реперами и узловыми пунктами.

Высотная сеть на стройплощадке должна обеспечивать выполнение разбивочных работ со средней квадратической погрешностью 10 мм и воз-

возможность наблюдений за величинами осадок возводимых сооружений со средней квадратической погрешностью 5 мм.

Проектирование высотной опорной сети состоит из следующих этапов:

- разработка схемы размещения марок на территории строительства;
- расчет точности определения отметок реперов, обеспечивающий требуемые допуски;
- детальное ознакомление с территорией строительства для уточнения типов и местоположения марок;
- составление сметы стоимости работ.

Проект высотной основы должен содержать: схему сети; чертежи закладываемых знаков и описание имеющихся; пояснительную записку с расчетом необходимой точности и стоимости производства работ.

При строительстве и эксплуатации инженерных сооружений возникает необходимость в создании специальных высотных сетей и выполнении инженерно-технического нивелирования.

В этом случае возникает задача установления точности, тогда необходимо знать следующие основные характеристики точности:

- 1) среднюю квадратическую ошибку нивелирования на 1 км хода ( $m_H$ );
- 2) средняя квадратическая ошибка превышения между реперами, между узловыми точками и реперами

$$m_h = m_H \sqrt{L_{км}} . \quad (62)$$

Основными методами инженерно-технического нивелирования являются метод геометрического нивелирования коротким лучом (20 – 25 м), метод гидростатического нивелирования, микронивелирование и тригонометрическое нивелирование.

*Метод геометрического нивелирования коротким лучом* применяется как для определения высот пунктов, так и при изучении осадок фундаментов и строительных конструкций (методика разработана в МИИГАиК).

Этим методом можно определять разности высот двух точек, расположенных на расстоянии 10 – 15 м, со средней квадратической погрешностью 0,03 – 0,05 мм, а для расстояний несколько сотен одна от другой – с погрешностью 0,1 – 0,2 мм.

Такая точность достигается благодаря принятию ряда мер по ослаблению отдельных источников погрешностей:

- тщательный отбор нивелира (Н-05, Н-1, Ni 007, Ni 002);

- тщательное определение цены деления головки микрометра на его различных участках;
- изготовление специальной прецизионной нивелирной подставки, обеспечивающей плавное изменение горизонта инструмента;
- использование специальных визирных целей;
- защита нивелира от теплового воздействия с помощью теплозащитного кожуха, что позволяет более чем в два раза стабилизировать значение угла  $i$ .

*Микронивелирование* используют для приведения в горизонтальное положение опорных плоскостей и точек строительных конструкций и технологического оборудования. Выполняется оно при помощи монтажного уровня или специального микронивелира.

Нивелир состоит (рис. 13) из подставки 1 с двумя опорами – подвижной 5 и неподвижной 6, помощью которых он устанавливается на выверяемые точки. Перемещение подвижной опоры по высоте определяется при помощи часового индикатора 3 с ценой деления 0,01 мм. Расстояние между опорами является базой микронивелира, обычно не превышающей 1,5 м.

Подставка должна быть жесткой, и в тоже время портативной и сравнительно легкой для перестановки в процессе работы. Чтобы обеспечить устойчивость подставки применяют пружинные амортизаторы. К подставке жестко крепится цилиндрический уровень 2 с ценой деления 5 – 8", его помещают в термоизоляционный кожух. Чтобы устранить боковые наклоны прибора устанавливают поперечный уровень более низкой точности (30"). Приведение пузырька в нуль-пункт осуществляется при помощи подъемного винта 4.

Микронивелирование выполняют следующим образом. Установив микронивелир на выверяемые точки, подъемным винтом приводят пузырек уровня в нуль-пункт и берут отсчет по индикатору. Переставив прибор в тех же точках на 180° и приведя вновь пузырек уровня на середину, берут второй отсчет по индикатору.

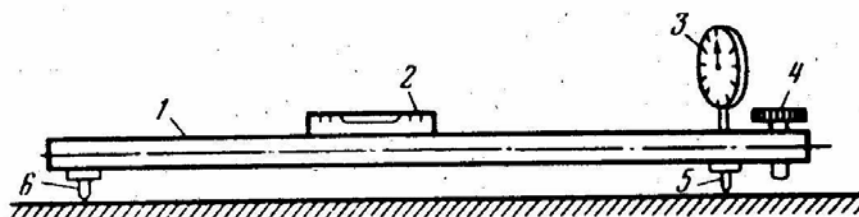


Рис. 13. Конструктивная схема микронивелира

Превышение на станции  $h$  равно

$$h = \frac{O_3 - O_{II}}{2}.$$

Точность способа такова

$$m_h = \frac{m_O}{\sqrt{2}}, \quad (63)$$

где  $m_O$  – погрешность отсчета по индикатору.

Приборная точность микронивелира характеризуется средней квадратической погрешностью определения превышения, равной 0,01 мм.

При помощи микронивелира можно определять превышения последовательно от одной точки выверяемой поверхности к другой, т. е. прокладывать микронивелирный ход.

Погрешность передачи отметки в микронивелирном ходе (в мм) длиной  $L$  и базой прибора  $b$  можно подсчитать по формуле

$$m_{[h]} = 0.01 \sqrt{\frac{L}{b}}, \quad (64)$$

приняв  $b = 1,0$  м,  $L = 100$  м, получим  $m_{[h]} = 0,1$  мм.

Основные источники погрешностей микронивелирования: погрешность приведения пузырька в нуль-пункт, погрешность индикатора и чистота обработки выверяемой поверхности.

*Гидронивелирование* применяют для установки и выверки по высоте опорных плоскостей строительных конструкций и технологического оборудования в условиях, когда выполнение геометрического нивелирования затруднено.

Различают гидромеханическое, гидродинамическое и гидростатическое нивелирование.

Для геодезических измерений, выполняемых при монтаже строительных конструкций и технологического оборудования, наиболее пригодным является способ *гидростатического нивелирования*. В его основе лежит свойство жидкости устанавливаться в сообщающихся сосудах на одном горизонтальном уровне.

Известны следующие приборы: уровень гидростатический (Россия) УГС модели 114 и 115; прибор Мейссера (Германия), которые являются приборами переносного типа. Диапазон измеряемых превышений 25 мм (в

приборе Мейссера – до 100 мм), приборная точность характеризуется средней квадратической погрешностью 0,02 – 0,05 мм.

Известен прибор, гидростатический нивелир МИИГАиК (авторы конструкции Крацин, Нестеров), в нем в качестве жидкости используется ртуть, благодаря этому прибор менее чувствителен к изменению давления и температуры. Его приборная точность 0,01 мм.

На точность гидростатического нивелирования существенное влияние оказывают внешние условия (перепад давления и температуры), также погрешности неравновесия жидкости в сосудах и влияния капиллярности, неточность контактирования острия винта с жидкостью, влияние неточной установки прибора.

*Тригонометрическое нивелирование коротким лучом визирования* (до 100 м) – это метод определения разностей высот точек по измеренному углу наклона линии визирования с одной точки на другую и измеренному или известному расстоянию между этими точками. Этот метод предполагает использование теодолита (рис. 14). В зависимости от типа теодолита и расположения подписей на вертикальном круге измеряют угол наклона  $\nu$  или зенитное расстояние  $Z$ .

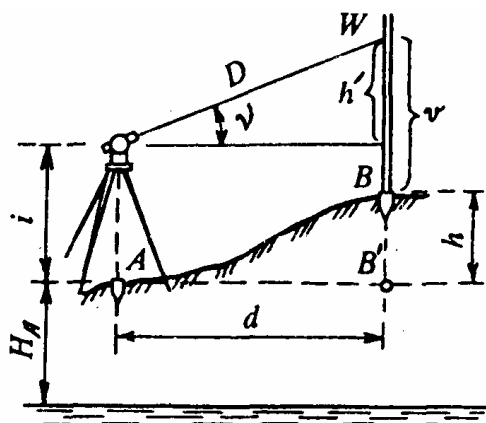


Рис. 14. Определение превышения тригонометрическим нивелированием

Превышение вычисляется по формуле

$$h = h' + i - \vartheta + f = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - \vartheta, \quad (65)$$

где  $d$  – горизонтальное проложение,  $i$  – высота прибора,  $\vartheta$  – высота визирования.

Если  $i = \vartheta$ , то

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu. \quad (66)$$



При измерении по дальномерным нитям расстояния  $D$  горизонтальное проложение получают по формуле

$$d = D \cdot \cos^2 \nu . \quad (67)$$

Теоретическими расчетами и практикой доказано, что тригонометрическое нивелирование по точности соответствует нивелированию III класса. При наблюдениях за деформациями, используя высокоточные теодолиты и специальные методики (Пискунова, Рабцевича), точность тригонометрического нивелирования можно повысить.

Наилучшим временем для выполнения тригонометрического нивелирования являются периоды четких изображений визирных целей (утренняя и вечерняя видимость, пасмурная погода). Из-за рефракции этот метод зимой не пригоден.

Тригонометрическое нивелирование целесообразно применять в горной местности в качестве высотного обоснования топографических съемок, а также для наблюдений за осадками сооружений.

### **2.10. Особенности закрепления геодезических пунктов на территории городов и промышленных площадок**

Пункты инженерно-геодезических сетей на территории городов и промышленных объектов закрепляют постоянными геодезическими знаками, имеющими ряд особенностей в конструкциях, местах расположения и способах их использования. Эти особенности определяются производственной и хозяйственной деятельностью города и промышленного комплекса; требованиями различных служб, направленных на соблюдение архитектурных и эстетических норм, а также правил техники безопасности; наличием препятствий для прохождения визирного луча; физико-географическими условиями района и т. д.

На незастроенной территории закладывают глубинные и грунтовые реперы. Грунтовые реперы отличаются от глубинных по глубине заложения, их закладывают на выходах коренных (ненарушенных) пород, на участках с глубиной залегания грунтовых вод не менее 4 м. Грунтовые реперы закладываются только при отсутствии капитальных зданий и сооружений (на глубину ниже промерзания грунта). В местах наблюдения за осадками крупных сооружений используются глубинные (фундаментальные) реперы, их размещают вне зоны давления фундамента на расстоянии 50 – 100 м от сооружения и закладывают "куст" реперов (обычно 3 репера).

В практике строительства применяют геодезические знаки в виде свай. Свайные реперы являются разновидностью грунтовых реперов.

Стенные знаки по сравнению с грунтовыми имеют ряд существенных преимуществ, и им, по возможности, отдают предпочтение. Стенные знаки более устойчивы, стоимость их изготовления и закладки значительно меньше, ими удобнее пользоваться в любое время года. Стенные знаки закладывают в прочные каменные, кирпичные, железобетонные здания и сооружения. Стенные реперы и марки закладывают на высоте от 0,3 до 1,2 м над поверхностью земли.

При закреплении пунктов стенными знаками возникает необходимость привязки к ним. Центры знаков располагаются на расстоянии 4–5 см от стены или цоколя здания, и это исключает возможность центрирования над ними геодезических приборов.

Поэтому необходимо выполнять привязку полигонометрических ходов к стенным знакам, которую осуществляют путем геометрических построений с измерением соответствующих угловых и линейных элементов (прямые и обратные засечки: линейная, угловая, полярный способ) и последующих вычислений.

Рекомендации по закреплению основных и главных осей зданий в зависимости от этажности и сроков строительства даются в СНиП 3.01.03 – 84 «Геодезические работы в строительстве».

*Для более глубокого изучения теоретического материала по модулю № 2 можно воспользоваться литературой [1, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15] из перечня учебно-методических материалов по дисциплине.*

## **Лабораторный практикум**

### **Лабораторная работа № 4**

#### **Оценка точности проекта триангуляции**

При развитии инженерно–геодезических сетей методом триангуляции наиболее типичными построениями являются цепи треугольников, центральные системы, вставки в треугольники и др. Для вычисления ожидаемой точности отдельных элементов построения применяются различные методы оценки проектов, зависящие, главным образом, от геометрических характеристик построения.

Если геодезическое обоснование проектируется в качестве свободных сетей, то для уравнивания результатов измерений чаще всего применяется коррелятный метод, а оценку точности проектов производят путем составления уравнений для определения веса функций измеренных величин.

При создании геодезического обоснования вставкой одного или нескольких пунктов в существующую сеть для уравнивания обычно применяют параметрический метод, а оценку точности проектов такой сети производят способом весовых коэффициентов.

Существуют строгие и приближенные методы оценки проектов. Результаты приближенной оценки близки результатам строгой оценки.

В лабораторной работе предлагается произвести оценку проекта вставки в сеть треугольников триангуляции 2 класса одного пункта триангуляции 3 класса и двух пунктов триангуляции 4 класса способом последовательных приближений.

На рис. 15 представлена схема сети, в которой  $A, C, D, E$  – пункты триангуляции 2 класса,  $B$  – пункт триангуляции 3 класса и 1,2 – пункты триангуляции 4 класса. Здесь же даны измеренные длины сторон в километрах, а исходные значения дирекционных углов направлений представлены в табл. 15.

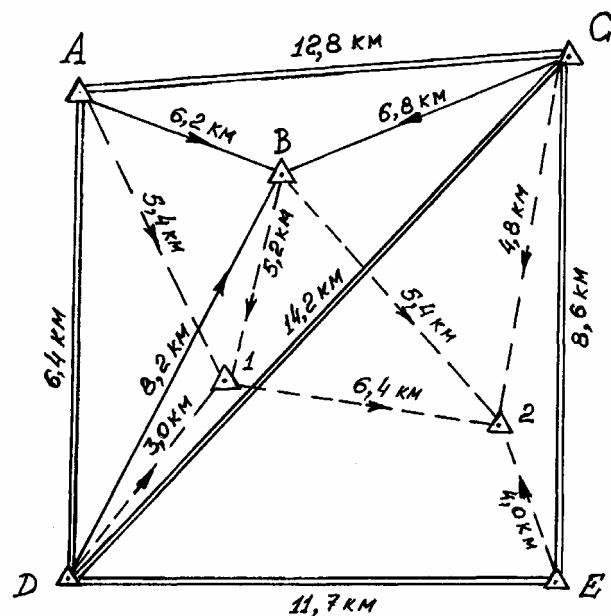


Рис. 15 Схема сети триангуляции

Таблица 15

Дирекционные углы направлений сети триангуляции

Наименование направления	Дирекционный угол направления	Наименование направления	Дирекционный угол направления
$A - B$	$84^\circ$	$D - 1$	$42^\circ$
$A - 1$	$137^\circ$	$B - 1$	$208^\circ$
$C - B$	$250^\circ$	$B - 2$	$115^\circ$
$C - 2$	$198^\circ$	$E - 2$	$345^\circ$
$D - B$	$33^\circ$	$1 - 2$	$85^\circ$

Каждый студент в соответствии с номером выданного ему варианта задания изменяет значение дирекционных углов на величину  $6^0 \cdot k$ , где  $k$  – номер варианта. Так, например, для варианта 5 значения дирекционных углов будут:  $\alpha_{A-B} = 114^\circ$ ;  $\alpha_{B-1} = 238^\circ$  и т. д.

*Последовательность выполнения работы.* Предварительно необходимо оценить положение пункта  $B$  триангуляции 3 класса, определенного вставкой в треугольник триангуляции 2 класса, по формуле (26) проф. К.Л. Проворова, приняв среднюю квадратическую погрешность измерения угла  $m_\beta = 1.5''$  соответствующую триангуляции 3 класса.

Величину ожидаемой погрешности положения пункта  $M_B$  следует получить в миллиметрах. Так как  $M = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$  и  $m_x = m_y$ , можно найти

$$m_x = m_y = \frac{M}{\sqrt{2}}. \quad (68)$$

Далее следует оценить положение пунктов 1 и 2 триангуляции 4 класса относительно пунктов триангуляции старших классов способом последовательных приближений.

Сначала вычисляются весовые характеристики по всем направлениям (табл. 16).

Таблица 16

Весовые характеристики направлений

Наименование направления	Дирекционный угол, °	Длина стороны $S$ , $\delta m$	$a$	$b$
A-1	149	54000	-2,0	-3,3
B-1	Вычисляем и вписываем в таблицу значения весовых характеристик по всем направлениям, согласно своего варианта			
2-1				
D-1				
1-2				
B-2				
C-2				
E-2				

Суммарные ожидаемые средние квадратические погрешности положения пункта  $I$ , с учетом всех направлений на этом пункте, подсчитываются в табл. 17.

В первом приближении ставится условие, что все пункты оцениваемой сети не имеют погрешностей в координатах. Ожидаемые погрешности определения пунктов по отдельным направлениям вычисляются по формулам (28) и (29), причем средняя квадратическая погрешность измерения угла  $m_\beta = 2.0''$  соответствует триангуляции 4 класса.

Первое приближение

Наименование направления	X			Y		
	<i>a</i>	<i>a</i> <sup>2</sup>	<i>m</i> <sub><i>x</i><i>i</i></sub> <sup>2</sup>	<i>b</i>	<i>b</i> <sup>2</sup>	<i>m</i> <sub><i>y</i><i>i</i></sub> <sup>2</sup>
Определяемый пункт 1						
<i>A-1</i>	-2,0	4,00	1,0000	-3,3	10,89	0,3673
<i>B-1</i>						
<i>2-1</i>						
<i>D-1</i>						
	$\Sigma a^2$			$\Sigma b^2$		

Суммарные ожидаемые погрешности с учетом всех направлений вычисляются по формулам (30), их размерность – дециметры.

Аналогичные вычисления выполняют для определяемого пункта 2, причем в обработку берутся направления: 1 – 2, *B* – 2, *C* – 2, *E* – 2.

Во втором и последующих приближениях учитываются ожидаемые погрешности определения координат пунктов из предыдущего приближения, а также погрешности  $m_x, m_y$  в положении пункта *B*, полученные по формуле (26). Эти вычисления можно свести в табл. 18.

Таблица 18

Ожидаемые погрешности положения с учетом погрешностей исходных данных

Направление	X				Y			
	$m_{x_i}^2$	$m_{y_{исх}}^2$	$(m_{x_i}^2)_{2np}$	$A^2$	$m_{y_i}^2$	$m_{x_{исх}}^2$	$(m_{y_i}^2)_{2np}$	$B^2$
<i>A-1</i>	1,0000	–	1,0000	4,0000	0,3673	–	0,3673	10,8903
<i>B-1</i>	0,6400	0,1089	0,7489	5,3412	0,4444	0,1089	0,5533	7,2294
<i>2-1</i>	Пример записи в таблице показывает, сколько знаков нужно удерживать в вычислениях							
<i>D-1</i>								

Процесс вычисления продолжается до тех пор, пока результаты последнего приближения не совпадают с результатами оценки в предыдущем приближении.

Затем вычисляют ожидаемые ошибки  $M_1$  и  $M_2$  в положении пунктов 1 и 2 по формулам:

$$\left. \begin{aligned} M_1 &= \sqrt{m_{x1}^2 + m_{y1}^2}; \\ M_2 &= \sqrt{m_{x2}^2 + m_{y2}^2}; \end{aligned} \right\} \quad (69)$$

В заключении следует определить ожидаемую погрешность  $m_{S_{1-2}}$  слабой стороны сети триангуляции по формуле

$$m_{S_{1-2}} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2} \quad (70)$$

и относительную погрешность  $\frac{m_S}{S}$ , которая сравнивается с допустимой

$$\left(\frac{m_S}{S} \leq \frac{1}{70000} - \text{для триангуляции 4 класса}\right).$$

Все вычисления рекомендуется выполнять по схеме, представленной в [4, 16].

### Лабораторная работа № 5 Оценка точности проекта полигонометрии

Полигонометрия применяется для создания и сгущения геодезических сетей. Полигонометрию строят в виде отдельных ходов и систем ходов, опирающихся на исходные пункты. Надежность получения координат пунктов полигонометрии определяется оценкой составленного проекта. Одним из наиболее простых методов оценки точности полигонометрических сетей является способ последовательных приближений, позволяющий найти ожидаемую среднюю квадратическую погрешность положения каждой узловой точки по отношению к группе соседних узловых точек, а не по отношению к исходным пунктам.

На рис. 16 представлен проект сети полигонометрии, состоящий из четырех частей, проложенных между пунктами триангуляции. Студенту необходимо оценить проект полигонометрической сети на примере одной части. Исходные данные по каждой сети даны в табл. 19.

Таблица 19

Исходные данные

Наименование ходов	Сеть 1		Сеть 2		Сеть 3		Сеть 4	
	$n$	$[S], \text{км}$	$n$	$[S], \text{км}$	$n$	$[S], \text{км}$	$n$	$[S], \text{км}$
$z_1$	7	1,4	8	1,6	9	1,9	10	2,1
$z_2$	8	1,6	9	2,1	10	2,2	11	2,5
$z_3$	$2+k$	$0,2n$	$2+k$	$0,2 \cdot n$	$2+k$	$0,2 \cdot n$	$2+k$	$0,2 \cdot n$
$z_4$	10	2,0	11	2,3	15	3,4	13	3,0
$z_5$	8	1,9	9	2,0	5	1,3	14	3,3

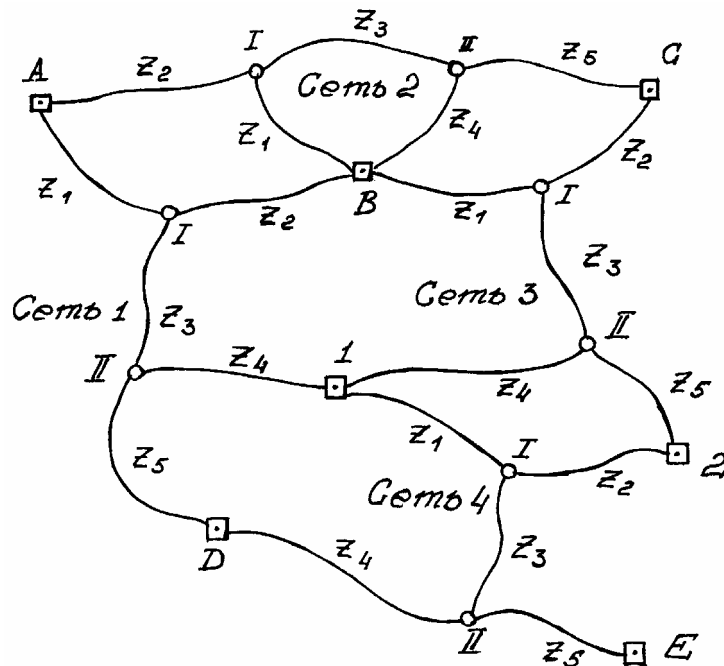


Рис.16. Схема сети полигометрии

Для индивидуального выполнения лабораторной работы каждым студентом в ходе  $z_3$  изменяется количество линий хода на величину  $k$ , а длина хода будет равна  $0,2(2+k)$ , где  $k$  – номер варианта.

*Последовательность выполнения работы.* Оценку сети полигометрии из пяти ходов с двумя узловыми точками выполняют в следующей последовательности:

1) По каждому ходу подсчитывается ожидаемая средняя квадратическая погрешность положения узловой точки  $M_1, M_2, \dots, M_5$  по формуле (55), приняв среднюю квадратическую погрешность измерения линий  $m_S = 15\text{мм}$ , а углов –  $m_\beta = 5''$ . Вычисления удобно производить в табл. 20.

Таблица 20

Вычисление ожидаемой погрешности конечной точки ходов

№ ходов	$m_S^2 \cdot n$	$\frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2 \frac{n+3}{12}$	$M_i^2$	$M_i$	$\frac{M}{[S]}$	$P_i$
$z_i$	2025	2121	4146	64	1:30000	24
...	...	...	...	...	...	...

2) Веса определения положения узловой точки I по ходам принимаются равными

$$P_1 = \frac{C}{M_{z_1}^2}; P_2 = \frac{C}{M_{z_2}^2}; P_3 = \frac{C}{M_{z_3}^2}, \quad (71)$$

рекомендуется принять  $C = 100\,000$ .

Веса узловых точек получают по формулам

$$P_I = P_1' + P_2' + P_3'; P_{II} = P_3' + P_4' + P_5'. \quad (72)$$

3) Средние квадратические погрешности определения узловых точек I и II в первом приближении вычисляют так:

$$(M_I^2)_{1np} = \frac{C}{P_I}; (M_{II}^2)_{1np} = \frac{C}{P_{II}} \quad (73)$$

4) Во втором приближении учитывают погрешности исходных данных, т. е. погрешности положения узлов I и II, вычисленные по формулам (73) в первом приближении. Следовательно, во втором и последующих приближениях изменится только вес хода  $z_3$ .

Для первого узла имеем  $(M_I^2)_{2np} = \frac{C}{P_I''}$ , где  $P_I'' = P_1' + P_2' + P_3''$ ,

и новый вес хода  $z_3$  будет равен

$$P_3'' = \frac{C}{M_3^2 + (M_{II}^2)_{1np}}. \quad (74)$$

Для второго узла имеем  $(M_{II}^2)_{2np} = \frac{C}{P_{II}''}$ , где  $P_{II}'' = P_4' + P_5' + P_3''$ ,

новый вес хода  $z_3$  будет равен

$$P_3'' = \frac{C}{M_3^2 + (M_I^2)_{1np}}. \quad (75)$$

Вычисления можно выполнять в табл. 21.

5) В третьем приближении в качестве погрешностей исходных данных узловых точек I и II принимают их погрешности, полученные во втором приближении.

Вычисления продолжают до тех пор, пока в двух последних приближениях погрешности не станут равными:  $M_I^{i+1} = M_I^i$  и  $M_{II}^{i+1} = M_{II}^i$ .



Вычисление ожидаемых погрешностей узловых точек

№ ходов	Второе приближение			
	$M_i^2$	$M_{исх}^2$	$M_{общ}^2$	$P_i$
$Z_1$	4146	–	4146	24
$Z_2$	5331	–	5331	19
$Z_3$	1119	658	1777	56
[P] = 99				
$Z_3$	1119	758	1877	53
$Z_4$	13564	–	13564	7
$Z_5$	1787	–	1787	56
[P] = 116				

б) Далее подсчитывают общие средние квадратические и предельные относительные погрешности каждого хода с учетом погрешностей исходных данных:

$$M_{хода}^2 = M^2 + \frac{M_{нач}^2 + M_{кон}^2}{2}, \quad (76)$$

и

$$\frac{2M_{хода}}{[S]} \leq \frac{1}{T}, \quad (77)$$

где  $M$  – средняя квадратическая погрешность хода, обусловленная точностью измерения углов и линий в ходе;  $M_{нач}$  и  $M_{кон}$  – средние квадратические погрешности начального и конечного пунктов хода;  $1/T$  – допустимое значение, установленное инструкцией для сетей полигонометрии.

Все вычисления рекомендуется производить по схеме, представленной в [4, 16].

### Лабораторная работа № 6

#### Оценка проекта сети триангуляции строгими методами

Для оценки точности проекта сети триангуляции с успехом могут быть использованы методы уравнительных вычислений.

Исходные данные:

- схема сети триангуляции (рис. 13);
- значения дирекционных углов (табл. 15);
- точностные характеристики триангуляции 4 класса:  $m_\beta = 2.0''$ ,

$$m_s/S = 1/70000.$$

Вычисления будем производить по программе "OZENKA", составленной В.И. Мицкевичем. Правила составления информации для вычислений на персональном компьютере приводятся в [17].

Задавая точность измерения базисных сторон  $m_l$  и измеренных углов  $m_\beta$ , соответствующих триангуляции 4 класса, получаем: погрешности определения пунктов сети, абсолютную и относительную погрешность слабой стороны, погрешность дирекционного угла этой стороны и наибольшую погрешность взаимного положения пунктов. Если относительная погрешность  $(m_s/S)$  слабой стороны сети меньше допустимого значения, то сеть удовлетворяет требованиям триангуляции 4 класса.

### Лабораторная работа № 7

#### Вычисление координат пунктов строительной сетки в частной и геодезической системе координат

Проектирование строительной сетки обычно осуществляется на генеральном плане. Координаты пунктов строительной сетки задают в частной системе координат, но, осуществляя привязку строительной сетки к пунктам государственной геодезической сети, возникает необходимость перерасчета координат из частной в геодезическую систему координат.

Исходными данными для выполнения лабораторной работы являются топографическая карта масштаба 1:10000, координаты исходных пунктов (табл. 22) и схемы строительной сетки (рис. 17).

Таблица 22

Каталог координат исходных пунктов

Название пункта	Координаты, м	
	X	Y
г. Малиновская	6064774,8	4311904,3
точка О	6064442,0	4312458,0
Снов	6064380,2	4313572,1

Схема строительной сетки предлагается преподавателем. Согласно номеру варианта вычисляется значение угла разворота условной оси А относительно северного направления координатной сетки:  $\theta = 315^{\circ}00' + 20'k$ , где  $k$  – номер варианта.

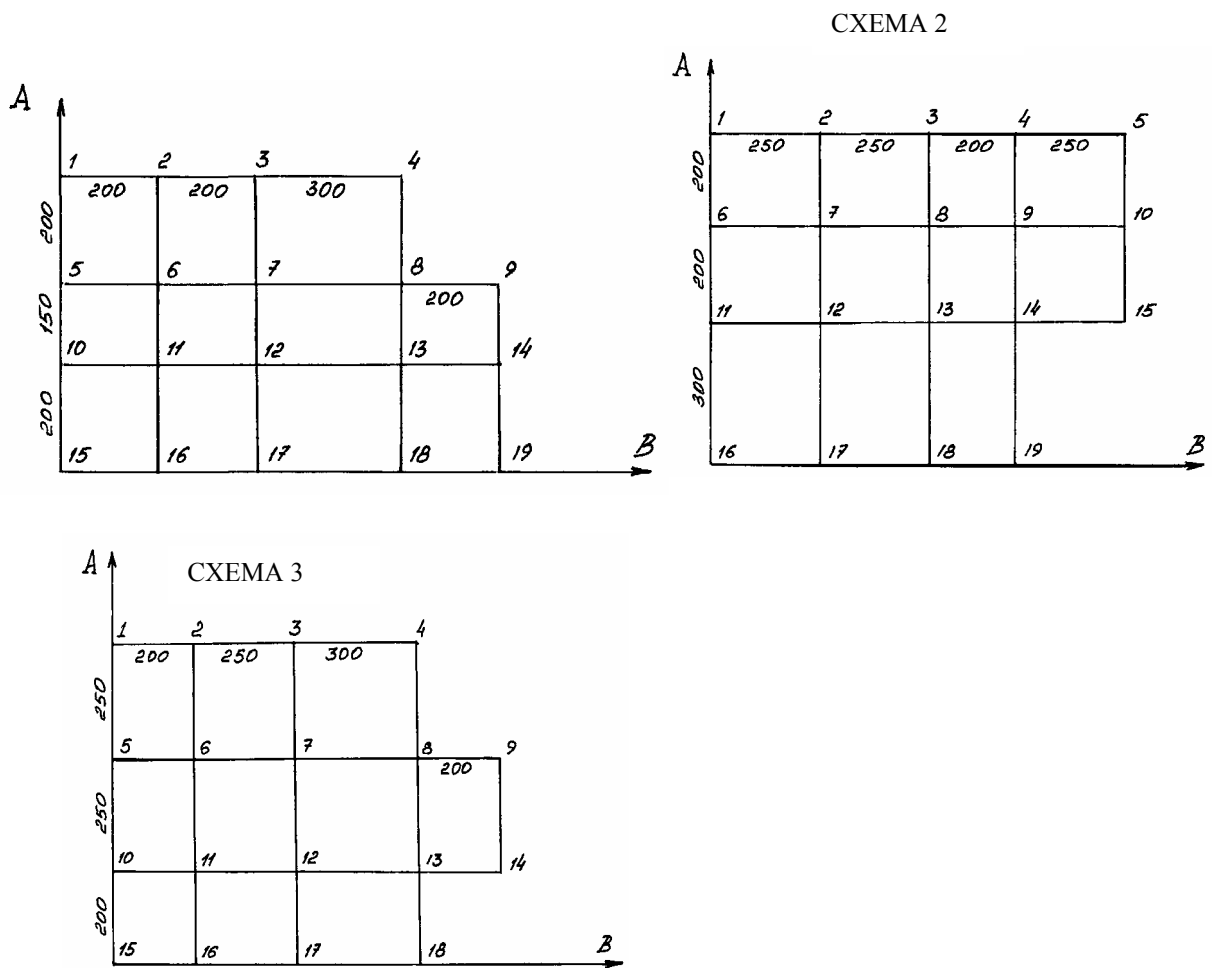


Рис. 17. Схемы строительной сетки

*Последовательность выполнения работы.* Сначала на топографической карте необходимо запроектировать полигонометрический ход 1 либо 2 разряда между исходными пунктами, чтобы он обязательно проходил через точку  $O$  – начало частной системы координат строительной сетки. Координаты запроектированных пунктов определить по карте с точностью до целого метра, из решения обратной геодезической задачи вычислить дирекционные углы и горизонтальные проложения сторон хода и нанести их в каталог обычной формы.

Затем по известным длинам сторон (указаны на схемах) необходимо определить координаты пунктов строительной сетки в частной системе координат.

Далее производим перевычисление координат из частной в геодезическую систему координат по формулам

$$\begin{aligned} X &= X_0 + A \cos \theta - B \sin \theta \\ Y &= Y_0 + A \sin \theta + B \cos \theta \end{aligned} \quad (78)$$

где  $X_0, Y_0$  – геодезические координаты точки  $O$ .

Координаты пунктов строительной сетки занести в каталог (табл. 23).

Таблица 23

Каталог координат пунктов строительной сетки

№ пункта	Частные координаты, м		Геодезические координаты, м	
	$A$	$B$	$X$	$Y$
1	700	0	6065010,7	4312049,9
...	...	...	...	...

### Лабораторная работа № 8

#### Расчет точности пунктов строительной сетки способом последовательных приближений и по программе «OZENKA»

Наиболее просто произвести расчет точности пунктов строительной сетки можно способом последовательных приближений. Исходными данными для вычислений служит схема строительной сетки, которая использовалась в предыдущей лабораторной работе. Также преподавателем задается начальный пункт сетки и средняя квадратическая погрешность  $M$  определения на местности любого пункта сетки. Способ последовательных приближений позволяет определить веса всех пунктов строительной сетки и, выбрав минимальное значение веса, выполнить расчет точности угловых и линейных измерений для рассматриваемого проекта сетки.

Для решения той же задачи с успехом можно применить и методы уравнительных вычислений. Студентам предлагается использовать программу "OZENKA", в основе которой лежит метод наименьших квадратов.

*Последовательность выполнения работы.* Прежде чем приступить к вычислениям, необходимо распределить все пункты в зависимости от их удаления от начального пункта на группы. Так, в первую группу войдут пункты ближайšie по сторонам сетки к начальному, во вторую – ближайšie к пунктам первой группы и т. д.

Далее находим среднюю квадратическую погрешность разбивки любого пункта строительной сетки относительно начального по формуле

$$m_0 = \frac{M}{\sqrt{2}}.$$

Расчеты способом последовательных приближений выполняют по формулам

$$P_i = \frac{P_l \cdot P_A}{P_l + P_A}; \quad P_l = l_0 / l_i, \quad (79)$$

где  $P_i$  – вес направления в приближении;  $P_l$  – вес направления;  $P_A$  – вес пункта;  $l_0$  – значение средней стороны;  $l_i$  – длина каждой из сторон.

Вычисления свести в табл. 24.

Таблица 24

Вычисление весов

№ пункта	№ направления	$l_i$ , м	$P_l$	Приближения				
				I	II	III	IV	V
Вычисления производить с точностью до 0,1								

Вычисления в приближениях ведутся до тех пор, пока не окажутся равными веса пунктов в двух соседних приближениях, причем для всех пунктов без исключения.

Затем выбираются из таблицы минимальное значение веса пункта (обычно самый удаленный от начального пункт) и рассчитывается точность угловых и линейных измерений в строительной сетке

$$m_\beta \leq \frac{m_0 \cdot \rho}{l_0} \sqrt{P_{\min}}, \quad m_l = \frac{m_0}{\sqrt{2}} \sqrt{P_{\min}}, \quad (80)$$

по которым делается вывод, каким точностным характеристикам удовлетворяет данная строительная сетка.

Далее контролируются полученные результаты ( $m_l$  и  $m_\beta$ ) по программе "OZENKA", правила составления информации для вычислений на персональном компьютере приводятся в [17].

Особенность вычислений такова, что, задавая  $m_l$  и  $m_\beta$ , полученные способом последовательных приближений, получаем погрешности определения пунктов сетки, абсолютную и относительную погрешность слабой стороны, погрешность дирекционного угла этой стороны и наибольшую погрешность взаимного положения пунктов.

По модулю № 2 рабочей программой рекомендовано написание реферата по теме "Методы инженерно-геодезического нивелирования". Каждому студенту предлагается рассмотреть короткий вопрос по данной тематике и оформить реферат (объем 7 – 10 страниц). При подготовке реферата необходимо использовать статьи из журнала "Геодезия и картография", "Геодезист", "Автоматизированные технологии изысканий и проектирования" и научно-производственного журнала "Земля".

### **Примерный перечень вопросов, подлежащих рассмотрению:**

1. Применение геометрического нивелирования I класса.
2. Применение геометрического нивелирования II класса.
3. Применение геометрического нивелирования III класса.
4. Применение геометрического нивелирования IV класса.
5. Применение технического нивелирования в инженерно-геодезических работах.
6. Применение микро nivelирования в инженерно-геодезических работах.
7. Применение гидростатического нивелирования.
8. Применение гидродинамического нивелирования.
9. Применение гидромеханического нивелирования.

Также рабочей программой по дисциплине предусмотрен доклад на тему *"Преимущества линейно-угловых построений"*. Каждому студенту предлагается рассмотреть один вопрос по данной тематике и сделать на занятии сообщение по теме доклада (объем 5 – 7 минут). Доклад должен содержать новые данные, опубликованные в журналах, сборниках международных конференций и т. д.

### **Примерный перечень тем докладов:**

1. Общие сведения о линейно-угловых сетях.
2. Схемы линейно-угловых сетей.
3. Точность измерений в линейно-угловых сетях.
4. Оценка проектов линейно-угловых сетей.
5. Применение строительных сеток в качестве планового обоснования.
6. Способ бездиагональных четырехугольников.
7. Особенности создания строительной сетки осевым методом.
8. Особенности создания строительной сетки методом редуцирования.

### **Вопросы и задания для самопроверки**

1. Назовите виды опорных геодезических сетей.
2. Каково их назначение?
3. От чего зависит выбор вида построения и его конфигурация?
4. Какое точностное уравнение используется при проектировании опорных сетей?
5. Что понимают под исходной и поэтапной точностью?

6. Что выступает в качестве исходной величины при расчете точности планового и высотного съемочного обоснования?
7. Коэффициент обеспечения точности при построении сети в несколько ступеней одинаков или нет?
8. Охарактеризуйте схемы опорных сетей в виде триангуляционных построений.
9. Какими стремятся проектировать треугольники триангуляции?
10. Чем отличаются опорные сети от государственных геодезических сетей?
11. Какие показатели регламентируются для сетей триангуляции, трилатерации и полигонометрии?
12. Где нашли широкое применение сети трилатерации?
13. Почему точность линейно-угловых сетей выше, чем триангуляции и трилатерации?
14. На основе какого соотношения выбираются точностные характеристики в линейно-угловых сетях?
15. Охарактеризуйте бездиагональный четырехугольник и его применение.
16. Как можно оценить запроектированную сеть?
17. Охарактеризуйте "слабое место" сети для разных геодезических построений.
18. Чем отличаются вычисления способом последовательных приближений в первом и последующих приближениях?
19. Какие методы позволяют ослабить влияние боковой рефракции на результаты угловых измерений?
20. Как от площади объекта строительства зависит форма опорной сети?
21. В чем состоит основной недостаток сети трилатерации?
22. Что такое микротрилатерация?
23. Какие отклонения и из-за чего разрешены при проложении полигонометрических ходов?
24. Для чего предназначена строительная геодезическая сетка?
25. Какова последовательность построения на местности строительной сетки?
26. Охарактеризуйте выбор исходных направлений сетки и вынос их в натуру.
27. Охарактеризуйте осевой метод и метод редуцирования при создании строительной сетки.

28. Как определяют элементы редуцирования?
29. В чем заключаются контрольные измерения в методе редуцирования?
30. Как соотносятся между собой частная и геодезическая система координат?
31. Какое по точности геометрическое нивелирование используется для создания опорных высотных сетей?
32. Назовите основные показатели геометрического нивелирования, регламентируемые инструкцией?
33. Охарактеризуйте способы гидронивелирования.
34. Назовите известные вам гидронивелиры.
35. В каких случаях применяется тригонометрическое нивелирование?
36. Охарактеризуйте микронивелирование.
37. Охарактеризуйте особенности закрепления пунктов на территории городов и промышленных площадок.

*В качестве контроля знаний и умений по второму модулю рекомендуется устный или письменный опрос (студенту предлагается 10 – 12 вопросов). По модулю № 2 планируется защита выполненных лабораторных работ (лично каждым студентом), собеседование по теме реферата и выступление с докладом перед однокурсниками.*



## Модуль № 3 «Крупномасштабные инженерно-геодезические съемки»

### Дидактические цели

Студент должен знать:	Студент должен уметь:
– назначение съемок; – характеристики крупномасштабных карт и планов; – требования инструкций по топографическим съемкам; – топографические методы съемок; – фотограмметрические методы съемок.	– обосновать выбор масштаба съемки и высоты сечения; – выбрать метод съемки; – рекомендовать приборы и методику выполнения съемки.

### Учебно-информационный блок

Тема занятия	Тип занятия	Вид (форма) занятия	Количество часов
<b>Крупномасштабные инженерно-геодезические съемки</b>			
УЭ – 1. Назначение, виды и характеристики крупномасштабных съемок. Съемка застроенных и незастроенных территорий	Усвоение научных знаний	Лекция	4
	Углубление и систематизация знаний	Самост. работа	6
УЭ – 2. Методы съемки подземных коммуникаций. Автоматизация крупномасштабных съемок	Усвоение научных знаний	Лекция	2
	Углубление и систематизация знаний	Самост. работа	2
<i>Всего по модулю: 14 часов</i>			
УЭ – К. Контроль знаний по модулю: <b>опрос</b>			

### 3.1. Характеристика крупномасштабных планов

Крупномасштабными называются топографические планы, составленные в масштабе 1:5000– 1:500.

По назначению планы подразделяются на 3 группы:

1. Основные, созданные с целью картографирования территории;
2. специализированные планы: кадастровые, лесоустроительные, русловые, инженерно-топографические, землеустроительные;
3. в зависимости от решаемых задач различают изыскательские, исполнительные, инвентаризационные планы.

Топографические планы характеризуются точностью их построения, детальностью, полнотой изображения ситуации и рельефа;

Под *точностью* понимают суммарную среднюю квадратическую погрешность в плановом и высотном положении точек ситуации и рельефа, она вычисляется по формуле

$$m_n = \sqrt{m_x^2 + m_y^2},$$

где  $m_x$ ,  $m_y$  – средние квадратические погрешности измерения на плане координат точек.

Погрешности координат точек включают в себя ошибки развития планового обоснования, ошибки съемочных измерений и графических построений, погрешности вследствие деформации планшетов.

В строительных нормах Беларуси 1.02.01 – 96 (п. 3.5) говорится, что *средняя погрешность планового положения точек относительно пунктов опорной геодезической сети не должна превышать:*

– 0,1 мм в масштабе создаваемого плана на открытой местности и застроенной территории;

– 0,15 мм в масштабе создаваемого плана для местности закрытой древесной и кустарниковой растительностью.

Существует такая зависимость: чем крупнее масштаб, тем меньше величина точности определения координат точек на местности: точность плана масштаба 1:1000 будет составлять 0,1 м; масштаба 1:500 – 0,05 м

Обычно при проектировании, задаваясь допустимой погрешностью в размерах снимаемых сооружений и объектов, можно определить необходимый масштаб плана и его точность.

Например, на строительной сетке в качестве предельной погрешности выступает погрешность планируемой точки сооружения.

*Детальность* – это степень генерализации изображения, т. е. степень соответствия контуров и элементов рельефа на плане и на местности.

Чем меньше знаменатель масштаба плана, тем выше детальность плана.

Выпрямление контуров и выступов зданий допускается, если погрешность за обобщение четких контуров не превышает на плане 0,5 мм, а для архитектурных элементов – 0,3 мм.

*Полнота плана* – это степень его насыщенности элементами ситуации и рельефа, изображение которых необходимо для проектирования и возможно при принятом масштабе плана и высоте сечения рельефа.

Полнота плана выражается наименьшими размерами предметов и наименьшими расстояниями между предметами.

Например, расстояние между предметами  $l = 500$  мм, чтобы это расстояние можно было показать на плане масштаба  $1:M$ , надо, чтобы это расстояние было не меньше 1 мм, т. е.

$$\frac{1}{M} = \frac{l_{\text{плане}}}{l_{\text{мест}}} = 1/500. \quad (81)$$

Масштаб съемки выбирают в зависимости от следующих факторов:

- задачи проектирования;
- стадии проектирования;
- сложности ситуации и рельефа местности.

При проектировании объектов на незастроенных территориях требования к точности планов может быть несколько занижены и соответственно для проектирования достаточно планов масштаба 1:5000, 1:2000, для рабочих чертежей – 1:1000.

При проектировании сооружений с учетом существующей застройки, подземных коммуникационной сети, дорог требования к топографической основе повышаются: для проектирования – 1:2000, 1:1000, для рабочих чертежей – 1:500.

Существует зависимость между допустимой при проектировании средней квадратической погрешностью определения расстояния между ближайшими точками и масштабом съемки, которая выражается формулой Неумывакина:

$$m_s = 0.18 \cdot 10^{-3} \cdot M \cdot \sqrt[3]{\frac{2000}{M}} \cdot \sqrt{2(r-1)} \quad (82)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции между погрешностями в определении координат близко расположенных точек.

Для небольших расстояний принимается  $r = 0,5$ , и тогда формулу (82) можно записать в более простом виде

$$M = 9000 \cdot m_s \sqrt{m_s}. \quad (83)$$

Если принять  $m_s = 0.15$ , то знаменатель масштаба будет равен 500.

Формула Неумывакина применяется для расчета масштаба съемки застроенных территорий (с капитальной и многоэтажной застройкой) и для планов масштаба от 1:500 до 1:200 при допустимой  $m_s \leq 0.3$  м.

Для каждого масштаба выбирается высота сечения рельефа, выбирают именно минимальную высоту сечения рельефа горизонталями для полного и точного изображения рельефа.

Масштабы съемок и высоты сечения рельефа устанавливаются в соответствии с СНБ 1.02.01 – 96 "Инженерные изыскания для строительства" (табл. 25).

Выбор масштаба съемки и высоты сечения рельефа

Характеристика участка съемки	Масштаб съемки	Высота сечения рельефа на местности $h$ , м
1. Территория с капитальной застройкой с подземными и надземными сооружениями	1:5000	0,5
2. Незастроенная или малозастроенная с одноэтажной застройкой с незначительным количеством подземных сооружений	1:5000 - 1:1000	2;1;0,5
3. Территория новых микрорайонов, кварталов и групп зданий	1:1000 1:500	0,5
4. Трассы линейных сооружений на застроенных территориях	1:2000 – 1:500	1;0,5
5. Трассы линейных сооружений на незастроенных территориях	1:5000 – 1:2000	2;1;0,5

На положение горизонталей на плане влияют две группы источников ошибок:

– погрешности высот, мало зависящие от наклона местности (погрешности определения высот пикетных точек, обобщения рельефа между пикетами, влияние мелких неровностей);

– погрешности высот, вызывающие плановое смещение горизонталей и зависящие от уклонов местности (погрешности определения планового положения, проведения горизонталей, интерполирования высот).

Преобладающее влияние на точность изображения рельефа оказывают погрешности 1-ой группы.

Средняя квадратическая погрешность определения отметки точки по горизонталям может быть вычислена по формуле Большакова

$$m_h = \sqrt{\omega^2 \left( l + \frac{h}{i_{cp}} \right)^2 + m_{H_{нк}}^2 + (m_{пл} M)^2 \cdot i_{cp}^2}, \quad (84)$$

где  $\omega$  – коэффициент, характеризующий случайное влияние погрешностей рельефа на точность съемки ( $\omega = 0,010 - 0,012$  – для равнинной местности;  $\omega = 0,015$  – для всхолмленной местности,  $\omega = 0,020$  – горной местности);  $l$  – расстояние между пикетными (съёмочными) точками;  $i_{cp}$  – средний уклон местности;  $h$  – высота сечения рельефа местности;  $m_{H_{нк}}$  – средняя квадратическая погрешность определения отметок пикетных точек;  $m_{пл}$  – средняя квадратическая погрешность планового положения точек.

Для крупномасштабных съемок на точность изображения рельефа главное влияние оказывают погрешности обобщения рельефа (первое слабое), а для более мелких масштабов возрастает влияние погрешностей определения высот из-за неточного планового положения точек.

Определить среднюю квадратическую погрешность отметки можно по формуле Видуева

$$m_H = 0,19h + 0.00096M \cdot i_{cp}, \quad (85)$$

Качество съемки при полевом контроле проверяется по формуле простой арифметической середины

$$m_H = \sqrt{\frac{[\Delta H]^2}{n}}, \quad (86)$$

где  $\Delta H$  – разность отметок контролируемых точек полученных по горизонталям и вычисленных из нивелирования;  $n$  – число разностей.

По многочисленным данным полевого контроля получено:

а) для планов 1:500; 1:1000 с высотой сечения рельефа 0,5 м –  $m_H = 0,08 - 0,12$  м;

б) для планов 1:2000; 1:5000 с высотой сечения рельефа 1 м –  $m_H = 0,18 - 0,22$  м;

в) для планов М 1:5000 с высотой сечения рельефа 2 м –  $m_H = 0,3 - 0,4$  м.

Выбор высоты сечения рельефа определяется характером инженерного сооружения, требованиями на стадиях проектирования, необходимой точностью соблюдения проектных уклонов и отметок и сложностью рельефа местности.

В нормативных документах задается либо средняя, либо предельная погрешность высот точек съемочного обоснования, относительно реперов нивелирования II – IV классов:

– предельная погрешность  $m_H \leq \frac{1}{5}h$ ;

– средняя погрешность –  $m_H \leq \frac{1}{10}h$  для равнинной местности;

$m_H \leq \frac{1}{6}h$  для всхолмленной и горной местности.

При выборе высоты сечения рельефа кроме точности изображения необходимо учитывать удобство пользования планом при проектировании и расчетах.

Для этого желательно иметь *заложение* (расстояние между соседними горизонталями на плане) на крутых склонах не менее 5 мм, на пологих склонах заложение должно быть не более 20 мм, т. е.  $5\text{мм} \leq l \leq 20\text{мм}$ .

Заложение вычисляется по формуле

$$l = \frac{h}{i \cdot M}, \quad (87)$$

отсюда выразим  $h$  и получим  $h = 10(\text{или } 6) \cdot m_{Hmin}$ .

Таким образом, рекомендуются следующие высоты сечения рельефа:

–  $h = 2$  м (для горной местности, масштабы 1:2000–1:5000);

–  $h = 1$  м (для горной и всхолмленной местности, масштабы 1:500–1:1000);

–  $h = 0,5$  м (равнинные районы – масштабы 1:2000–1:5000; равнинная и пересеченная местность с углами наклона до  $5^\circ$  – масштабы 1:500–1:1000).

Допускается  $h = 0,25$  м для планов масштаба 1:500, создаваемых для спланированных территорий.

### 3.2. Обоснование крупномасштабных съемок

*Топографическая съемка* – это комплекс геодезических работ, выполненных на местности для составления топографических карт и планов.

Съемке и отображению на топографическом плане подлежат элементы ситуации местности, существующая застройка, элементы благоустройства, подземные и надземные коммуникации и рельеф местности.

На топографические планы наносят пункты плановых и высотных сетей, а также закрепленные постоянными знаками точки, с которых производилась съемка.

На специальных планах допускается отображение не всей ситуации, а только необходимых объектов, применение нестандартных высот сечения рельефа, снижение или повышение точности изображения контуров и рельефа.

Топографическую съемку выполняют с точек местности, положение которых известно в принятой системе координат (СК-42, СК-63, СК-95, местные системы координат).

В качестве точек, с которых производится съемка, могут выступать пункты государственных и инженерно-геодезических опорных сетей, а также точки съемочной сети. Геодезическая основа сгущается так назы-

ваемым съемочным обоснованием, если недостаточно точек приходящихся на площадь снимаемого участка.

*Плотность пунктов* на  $1 \text{ км}^2$  снимаемой площади может быть следующей:

– для государственных геодезических сетей на застроенной территории не менее 1 пункта на  $5 \text{ км}^2$ ;

– для опорных инженерно-геодезических сетей и съемочных сетей плотность увеличивается.

Согласно СНБ 1.02.01 – 96 плотность точек на застроенной территории должна составлять не менее 4 пунктов на  $1 \text{ км}^2$ , и 1 пункта на  $1 \text{ км}^2$  на незастроенной территории.

Для обеспечения изысканий и строительства в городских условиях и на промышленных площадках плотность пунктов может быть доведена до 8 пунктов на  $1 \text{ км}^2$ .

Приведем некоторые примеры создания планового обоснования для крупномасштабных съемок.

На застроенной территории с площадью  $50 - 200 \text{ км}^2$  в качестве главной основы развивают сеть триангуляции 3 или иногда 2 класса.

На территории площадью  $5 - 50 \text{ км}^2$  главной основой служит триангуляция, или полигонометрия 4 класса.

На площадях  $1 - 5 \text{ км}^2$  строят сети сгущения в виде разрядной полигонометрии или триангуляции.

Сгущение геодезической основы ведут по принципу от «общего к частному». При этом следует стремиться к сокращению многоступенчатости геодезических построений и по возможности развивать на местности сети в одну ступень.

На больших площадях плановые обоснования создаются в 3 степени: триангуляция, полигонометрия, теодолитные ходы.

Высотное обоснование на территории городов, поселков, промышленных предприятий развивается в виде полигонов и ходов нивелирования II, III, IV классов.

При создании высотной основы стремятся обеспечить среднюю квадратическую погрешность взаимного положения реперов  $m_{H_{63}} = 2 - 3$  мм. Это вызвано необходимостью изображения рельефа с малым сечением рельефа горизонталями, обеспечением составления и выноса в натуру проектов вертикальной планировки, подземных коммуникаций, выполнением разбивочных и строительно-монтажных работ.

При проектировании опорных и съёмочных сетей предполагают их использование в последующих разбивочных работах и при выполнении исполнительных съёмок. Пункты сетей по возможности располагают вне зоны будущих сооружений, чтобы они не были уничтожены в ходе строительства.

Съёмочное обоснование развивается от пунктов плановых и высотных опорных инженерно-геодезических сетей. На территориях, с площадью до 1 км<sup>2</sup>, может быть создана самостоятельная опорная или съёмочная сеть.

При построении съёмочного обоснования одновременно определяют положение точек в плане и по высоте.

Плановое положение точек съёмочного обоснования может быть определено проложением геодезических и тахеометрических ходов; построением аналитических сетей из треугольников; бездиагональными четырёхугольниками и различного рода засечками (прямыми, обратными, комбинированными).

Высоты точек съёмочного обоснования чаще всего определяют геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

### **3.3. Методы съёмки застроенной и незастроенной территории**

Для составления крупномасштабных топографических планов применяют аналитический, мензульный, тахеометрический, аэрофототопографический, фототеодолитный методы съёмок, а также съёмку нивелированием поверхности. Выбор метода съёмки зависит от условий местности и масштаба съёмки.

Наиболее сложна *съёмка застроенной территории* (города, поселки и промышленные объекты). На таких территориях применяют аналитический метод съёмки. Он включает в себя отдельное выполнение горизонтальной съёмки в масштабе 1:2000; 1:1000; 1:500 и высотную съёмку рельефа.

Горизонтальной съёмке подлежат фасады зданий и ситуация проездов, а также внутриквартальная или внутризаводская застройка.

Съёмку производят с линий и точек теодолитных ходов и съёмочного обоснования.

Выполняют съёмку различными способами:

- перпендикуляров;
- линейных засечек;
- угловой засечки;
- полярных координат;
- створным способом.



Для выполнения горизонтальной съемки используют теодолит и мерные приборы либо тахеометр.

Высотная съемка на застроенной территории производится для составления продольных и поперечных профилей проездов и улиц, а также высотных планов территории, которые в дальнейшем используются для разработки проекта вертикальной планировки, проектирования дорог, подземных коммуникаций, фундаментов зданий и сооружений.

Высотную съемку выполняют методом геометрического нивелирования, причем, после того как ситуация снята и нанесена на планшет.

Высотная съемка равнинной территории ведется нивелирами или горизонтальным лучом теодолита, или кипрегелем с уровнем на трубе. Во всхолмленной местности применяется тригонометрическое нивелирование, т. е. высотная съемка выполняется наклонным лучом теодолита или тахеометром.

Нивелирование начинают выполнять с точек высотного съемочного обоснования. На нивелируемой площади набирают характерные точки, их располагают для съемки М 1:2000 на расстоянии не реже чем через 50 м, а при съемке в м 1:500 не реже чем 20 м.

Определяют высоты съемочных точек или пикетов, расстояние от нивелира до рейки не должно превышать 150 м, положение пикетов на плане определяют по ситуации. Для этого используют копию плановой съемки. Нивелирные работы можно разделить на 2 вида:

1. Нивелирование проездов и улиц.
2. Нивелирование кварталов и участков.

Улицы и проезды нивелируют по поперечникам, разбиваемым с помощью рулетки через 20 – 40 м. Кроме этого, поперечники разбивают в местах перегиба рельефа, по осям пересекающихся улиц и в местах их излома. При нивелировании поперечников определяют высоты фасадной линии, бордюрного камня тротуара, оси улицы, а также высоты земли у входов, порогов и полов здания.

При нивелировании кварталов, пользуясь копией плановой съемки, намечают и фиксируют в натуре характерные точки рельефа, точки зданий, контуров ситуации и др. Эти точки называют *пикетами*, их нумеруют и отмечают на копии плана. Кроме этого стрелками показывают направления скатов, тальвегов, что в последствии облегчает проведение горизонталей.

При нивелировании на каждой станции кроме основных точек дополнительно определяют 2 – 3 контрольные точки, которые нивелируют с соседних станций.

Определение высот на застроенных территориях выполняют техническим нивелированием. Рельеф на плане изображается горизонталями и высотами (с округлением до целого сантиметра). Под изображением строений горизонтали проводятся пунктирной линией. При сплошной застройке на планах масштаба 1:500 рельеф изображают только высотами.

При съемке застроенной территории может применяться и графо-аналитический метод, в котором одновременно выполняется высотная и горизонтальная съемка на мензуле.

Съемка *незастроенных территорий* выполняется одним из следующих методов:

- тахеометрическая съемка;
- мензуральная съемка;
- нивелирование поверхности (по квадратам);
- аэрофототопографический метод;
- фототеодолитная съемка.

*Тахеометрическая съемка* является основным видом съемки для создания планов для небольших, незастроенных и малозастроенных участков, а также узких полос местности вдоль линий строящихся и действующих дорог, трубопроводов и других инженерных коммуникаций.

Съемку производят с помощью теодолитов и тахеометров. Съемку выполняют с пунктов любых опорных и съёмочных геодезических сетей. Съёмочная сеть может быть создана в виде тахеометрических ходов, отличающиеся тем, что все элементы хода (углы, длины линий и превышения) определяется тахеометром.

Рассмотрим отличия тахеометрической съемки, выполненной теодолитом и тахеометром.

Рассмотрим порядок работы на станции тахеометрического хода, применяя теодолит:

1. Выполняют измерения, относящиеся к проложению съёмочного хода (измеряют горизонтальные углы полным приемом при двух положениях круга, вертикальные углы, по дальномерным нитям измеряют расстояния, а также определяют высоту прибора).

2. Съемка пикетных точек.

Теодолит устанавливают на станции, ориентируют его по линии хода (в основном при КЛ) и устанавливают отсчет  $0^{\circ}$ , и производят угловые измерения при одном круге и по дальномеру определяют расстояния. Если какой-то пикет является только контурной точкой, то вертикальный угол не измеряют.

Все результаты полевых измерений записываются в тахеометрический журнал. Пикетные точки выбирают в характерных местах ситуации и рельефа:

- а) на вершинах и подошвах холмов;
- б) на дне и бровках котловин и оврагах, водоразделов и тальвегов, перегибах скатов и седловин;
- в) границы угодий, гидрографию, дороги, контуры зданий, коммуникационные колодцы.

Плотность пунктов съемочного обоснования на один планшет при съемке масштаба 1:500 не менее 10 точек, 1:1000 – не менее 20 точек, 1:2000 – не менее 50 точек.

3. В процессе съемки на каждой станции составляется абрис, на нем указывают положение станций хода, направление на последующие и предыдущие станции, расположение всех съемочных пикетов. Схематически ситуацию и рельеф местности на абрисе показывают стрелками в сторону понижения местности.

4. Составление плана по результатам тахеометрической съемки.

*При выполнении тахеометрической съемки электронным тахеометром прибор устанавливается на съемочных точках, а на пикетах специальные вешки с отражателями. При наведении на отражатели в автоматическом режиме определяется горизонтальный и вертикальный углы, а также расстояния до смежных съемочных и пикетных точек.*

Запись результатов измерений производится в микроЭВМ тахеометра, где и ведется их обработка, а в результате получают приращение координат и превышения на смежные съемочные и пикетные точки.

Автоматически учитываются все поправки в измеренные расстояния и поправки за наклон вертикальной оси прибора в измеренные углы.

Затем информация переписывается на магнитную ленту или в запоминающее устройство – накопитель информации, дальнейшая обработка производится на персональных компьютерах по специальной программе. Окончательная обработка включает в себя: вычисление координат; уравнивание ходов; и другие вычисления, необходимые для графического построения топографического плана или цифровой модели местности.

А само построение выполняется графопостроителями, связанными с компьютерами.

*Мензуральная съемка* подробно рассматривалась при изучении общего курса «Геодезия» (материал следует повторить).

*Нивелирование поверхности.* Съемку данным методом производят в равнинной местности с наибольшим количеством контуров при высоте сечения рельефа 0,1; 0,25; 0,5 м.

Существует несколько способов нивелирования поверхности:

- по квадратам;
- по параллелям;
- по характерным линиям рельефа.

Во всех способах высоты пикетов определяют геометрическим нивелированием, а различие состоит лишь в схеме определения координат пикетных точек.

Нивелирование по квадратам выполняют с помощью теодолита и мерного прибора. Разбивают и закрепляют сетку квадратов, вначале разбивают крупные квадраты со сторонами 100, 200, 400 м, далее до мелких квадратов со стороной в зависимости от масштаба съемки 20 м – для масштаба 1:1000, 1:500 и 40 м – для 1:2000.

Поскольку разбивку на мелкие квадраты ведут мерными приборами, то одновременно выполняют и съемку ситуации. Результаты съемки ситуации заносятся в абрис. Сетку квадратов обязательно привязывают к пунктам государственной геодезической сети проложением теодолитных и нивелирных ходов.

Порядок нивелирования по квадратам зависит от их размеров. Нивелир устанавливают в середине площадки таким образом, чтобы было видно как можно больше вершин разбитых квадратов. Используется метод нивелирования вперед, т. е. определяется горизонт инструмента и берутся отсчеты по рейке на закрепленных точках. Высоты вершин квадратов вычисляют через горизонт инструмента. План съемки с изображением рельефа выполняется в камеральных условиях, путем интерполирования между полученными отметками вершин квадратов.

*Аэрофотограмметрический способ* преимущественно используется для составления топографических карт и планов больших по площади территорий.

Сущность его состоит в следующем:

1. С самолета с определенной высоты, зависящей от масштаба съемки, местность фотографируют автоматическим аэрофотоаппаратом (АФА) при почти вертикальной его оптической оси.
2. Съемка ведется маршрутами, при чем маршруты проектируются с перекрытием. В результате получают снимки местности, близкие к горизонтальным.

3. Снимки путем трансформирования приводят к одному масштабу и к строго горизонтальной проекции. Трансформирование снимков выполняют по нескольким точкам (опознакам), их координаты должны быть известны на местности.

4. Нахождение опознаков на снимках и на местности, а также определение их координат производят в результате полевых измерений на местности (полевое дешифрирование).

5. Создание топографической карты или плана выполняется либо комбинированным, либо стереофотограмметрическим способом:

а) *в комбинированном способе* из трансформированных снимков составляют фотоплан, на котором затем изображают рельеф.

Для изображения рельефа на местности должно быть создано высотное обоснование. Рисовка горизонталей ведется в поле мензурным способом.

Фотографическое изображение ситуации на фотоплане позволяет для определения высот брать расстояние прямыми с фотоплана.

б) *в стереофотограмметрическом способе* рельеф изображают в камеральных условиях с помощью стереоприборов.

Для этого необходимо иметь на каждом аэрофотоснимке несколько опознаков.

План может создаваться на фотоплане с перерисовкой на него горизонталей со снимков (в этом случае рельеф изображается на стереопаре). Данный путь применяется для малозастроенных территорий.

Также может производиться одновременная рисовка рельефа и ситуации на стереоприборах. Таким образом поступают, если создаются топографические планы на территорию со сплошной и многоэтажной застройкой.

*Фототеодолитная съемка* (наземная фотограмметрическая съемка) применяется для съемки площадок и трасс в горной местности, также для обмеров зданий и сооружений, транспортных узлов, карьеров, надземных сооружений, для наблюдений за деформациями сооружений.

Метод основан на применении фототеодолита, в котором соединены теодолит и фотокамера.

Фототеодолит устанавливают в двух точках – на концах линии, называемой базисом фотографирования. На каждой точке оптическую ось прибора приводят в горизонтальное положение. Ориентируют строго перпендикулярно линии базиса фотографирования и производят фотографирование местности.

Для увеличения площади съемки допускается фотографирование при развороте фототеодолита вправо или влево на одинаковый угол в пределах  $30^\circ$ .

В результате получают два снимка с перекрытием, то есть стереопару. Для составления по стереопаре фотографического плана необходимо знать длину базиса фотографирования, координаты и высоты нескольких опознаков, определенные на местности. Стереопары обрабатываются на стереоприборах, а затем с помощью ЭВМ и графопостроителя составляется топографический план.

Основные этапы съемки:

1. Составляется проект расположения базиса фотографирования и контрольных точек, а также геодезической сети для их привязки. Базисы (концы базиса) располагают на возвышенных местах. Контрольных точек выбирают не менее трёх: одну в центре, а две другие – по краям перекрытий соседних стереопар.

2. Выполняется геодезическая привязка базисов и контрольных точек.

3. Производится фотосъемка с левого и правого концов базиса фотографирования.

4. Камеральное дешифрирование.

5. Составление плана на универсальных приборах (чаще применяют стереоавтограф и стереомертограф).

### **3.4. Особенности топографических съемок застроенных территорий**

Особое внимание при проведении изысканий необходимо обращать на топографическую съемку застроенных территорий. В существующих городах для проектирования реконструируемых и для вновь прокладываемых улиц, а также во многих случаях проектирования различной застройки на новых территориях обязательно используется геодезический фонд города, а в случае отсутствия тех или иных материалов производится геодезическая съемка.

Для разработки проектов детальной планировки съемку магистралей и площадей выполняют в масштабе 1:2000. Для сложных объектов все съемки ведут в масштабе 1:500. В отдельных случаях выполняют съемку в масштабе 1:200 с высотой сечения рельефа 0,5 – 0,25 м. Такую съемку выполняют для составления планов отдельных участков промышленных предприятий и улиц (проездов, переходов) городов с густой сетью подземных коммуникаций.

Получив из геодезического фонда города материал, который называют «геодезическая подоснова», в обязательном порядке выполняют съемку текущих изменений. На плане геоподосновы в масштабе 1:500, а

для сложных участков в масштабе 1:200, указываются изменения границ проезжих частей, газонов, тротуаров, все элементы городских улиц и дорог, все контуры застройки, входы в здания, прямки окна первого этажа, полуподвала или подвала, въезды в кварталы и дворы. На геоподоснове указывают линии застройки и элементы строящихся зданий и сооружений. Геоподоснову корректируют не только по ситуации в плане, но и в высотном отношении по отметкам всех характерных мест.

Также в геодезические изыскания входит составление продольного профиля по оси или по лоткам проезжей части улицы с точками через каждые 20 м. Кроме того, строят поперечные профили через каждые 20 м и дополнительно во всех характерных местах (пониженные точки рельефа, пересечения, примыкания и ответвления других улиц, трамвайных путей, железных дорог, положение существующих различных сооружений, опор воздушных проводок и т. д.).

Для воздушных линий (электропередач, связи) обязательно определяют направление пересечений и высоту подвески проводов в самой низкой точке и над осью улиц или дороги.

В условиях нового строительства при равнинном рельефе допускается разбивка точек профиля и поперечников не через 20, а через 50 м.

Продольные профили составляют в масштабах: горизонтальном – 1:1000 и 1:500, вертикальном – 1:100 и 1:50.

Поперечные профили составляют в масштабах: горизонтальный – 1:200, вертикальный – 1:100. На поперечных профилях показывают горизонтальные расстояния и высотные отметки всех характерных точек.

На планах застроенных территорий в масштабах 1:5000 – 1:500 не показывают переносные и временные сооружения (ларьки, киоски), временные заборы и сооружения на строительных площадках.

На планах застроенных территорий в масштабе 1:5000 не показывают нежилые строения площадью менее 1,5 мм<sup>2</sup>; границы и заборы владений внутри кварталов, приусадебные огороды; палисадники, тротуары; линии связи и электропередач низкого напряжения; выходы подземных коммуникаций в городах и на промышленных площадках; стенные марки и реперы.

Рельеф местности изображают горизонталями в сочетании с отметками точек и условными знаками обрывов, скал, воронок, ям, оврагов, оползней. При изображении характерных форм рельефа (гор, котловин, седловин, пойм рек, террас и др.) проводят полугоризонтالي и вспомогательные горизонтали. Определяют высоты плотин, мостов, верха и подош-

вы насыпей, шлюзов, пересечений дорог, колодцев и других характерных точек и наносят на геоподоснову в виде отметок.

При высоте сечения рельефа более 1 м пикеты вычисляются до 0,01 м и подписываются на плане с точностью до 0,1 м. При высоте сечения рельефа менее 1 м высоты пикетов вычисляются и подписываются на плане до 0,01 м. На каждом квадратном дециметре подписывают не менее 5 отметок характерных точек местности.

На топографических картах и планах подписывают названия населенных пунктов, улиц, рек, озер, источников, болот, гор, хребтов, лощин и других географических объектов.

### **3.5. Съемка подземных коммуникаций**

На застроенных территориях и промышленных площадках проходит много подземных коммуникаций и специальных сооружений для них.

К подземным коммуникациям относятся такие прокладки в грунте как трубопроводы (самотечные и напорные), кабельные сети, коллекторы. Подземные коммуникации прокладывают не ближе 2 – 3 м (кабели до 0,5 м) от фундаментов зданий.

*Трубопроводы* — это сети водопровода, канализации, газоснабжения, теплофикации, водостока, дренажа, нефте- и газопроводы и другие прокладки, предназначенные для транспортирования различного содержимого по трубам. Самотечные трубопроводы предназначены для отвода сточных вод к очистным сооружениям (промышленная и бытовая канализация) и атмосферной воды в водоемы (ливневая канализация, дренаж). Напорные трубопроводы транспортируют под давлением жидкостные и газовые продукты.

*Кабельные сети* передают электроэнергию. Они различаются по напряжению и назначению: сети высокого напряжения, электрифицированного транспорта, уличного освещения; сигнализации; сети слабого тока (телефонные, радио и телевизионные). Сети состоят из кабелей, прокладываемых на глубине от 0,7 до 1,8 м; распределительных шкафов; трансформаторов. Кабели прокладывают в блоках из бетонных, асбестоцементных и других труб, а иногда и по дну траншеи, прикрывая слоем из кирпича.

*Коллекторы* представляют собой подземные сооружения круглого или прямоугольного сечения сравнительно большого размера (от 1,8 до 3,0 м<sup>2</sup>). В них прокладывают одновременно трубопроводы и кабели различного назначения.



*Водопровод* обеспечивает питьевые, хозяйственные, производственные и пожарные нужды и состоит из водопроводных станций и водоразводящих сетей. Водоразводящая сеть делится на магистральную и распределительную. Магистральная сеть (диаметры труб 400 – 900 мм) обеспечивает водой целые районы, а отходящая от нее распределительная сеть подает воду к домам и промышленным предприятиям. Трубы этой сети имеют диаметр 200 – 400 мм, вводы в дома — 50 мм. Водопровод укладывается ниже глубины промерзания грунта. Для регулирования работы водопроводных сетей на них устанавливают арматуру — задвижки, выпуски, краны и др. Для доступа к арматуре устраивают примерно через каждые 100 м смотровые колодцы.

*Канализация* обеспечивает удаление сточных и загрязненных вод на очистные сооружения и далее в ближайшие водоемы. Канализационная сеть состоит из чугунных и железобетонных труб, смотровых и перепадных колодцев, станций перекачки для пониженных частей застройки и других сооружений. Диаметры труб колеблются от 150 до 400 мм.

*Водостоками* отводят дождевые и талые воды, а также условно чистые воды (от мытья и поливки улиц). Водосточная сеть состоит из труб, дождеприемных и перепадных колодцев, выпусков в водоемы и овраги. К водосточным колодцам присоединяют водосточные трубы зданий. Для водосточной сети применяют асбестоцементные и железобетонные трубы диаметром до 3,5 м.

*Дренажи* применяют для сбора грунтовых вод. Состоят они из перфорированных бетонных, керамических, асбестоцементных труб диаметром до 200 мм.

*Газопроводы* служат для транспортирования газа. Они подразделяются на магистральные (диаметр стальных труб до 1600 мм) и распределительные. Газопроводы идут от станций и хранилищ в районы застройки по проездам. От них отходят вводы в здания и сооружения. Глубина заложения от поверхности этих сетей 0,8 – 1,2 м. На газопроводах устанавливают запорные краны, конденсатосборники, нюхательные трубки, регуляторы давления и др.

*Сети теплоснабжения* обеспечивают теплом и горячей водой жилые, общественные и промышленные здания. Теплоснабжение бывает местным (от отдельных котельных) и централизованным (от теплоэлектростанций), водяным и паровым. Тепло подают по трубам прямой подачи (температура 120 – 150 °С), возвращают к источнику по трубам обратного отвода (температура 40 – 70 °С). Сети теплоснабжения состоят из металлических изолированных труб;

здвижек, размещаемых в камерах; воздушных и спускных кранов, конденсационных устройств, компенсаторов. Диаметр труб достигает 400 мм. Под землей их прокладывают в железобетонных коробах, а при массовой плотной застройке трубы ведут прямо через подвалы зданий. Тепловые сети заглубляют не ближе 0,5 м от поверхности земли.

*Съемка подземных коммуникаций* производится для составления специализированных планов, отражающих состояние подземного хозяйства данной территории. Эти планы необходимы для технической инвентаризации коммуникаций при их эксплуатации, а также для решения проектных задач при строительстве и реконструкции сооружений.

Съемка подземных коммуникаций в зависимости от назначения создаваемых планов, характера снимаемой территории и плотности размещения сетей может выполняться в масштабах 1:5000 – 1:500, а в отдельных случаях для сложных мест промышленных площадок – 1:200. На промышленных и городских территориях подземные сети снимают, как правило, в масштабе 1:500. Планы более мелких масштабов являются документами учетно-справочного характера.

Требования к точности плановой съемки всех видов коммуникаций примерно одинаковы. На застроенных территориях средняя квадратическая погрешность в положении отдельных линий между собой и по отношению к контуру сооружений составляет 0,10 – 0,15 м. На незастроенных территориях с редкой сетью коммуникаций эта погрешность может достигать до 0,5 м. Точность высотной съемки коммуникаций зависит от требований к соблюдению проектных отметок и уклонов. Для самотечных трубопроводов погрешность в отметках лотков соседних колодцев допускают не более 5 – 10 мм, а отклонение от проектных уклонов – до 10 – 20 % от величины самого уклона.

Процесс съемки подземных коммуникаций можно условно разделить на два этапа: подготовительный и непосредственно съемочный.

В подготовительный период производят рекогносцировку сетей на местности, собирают данные о числе прокладок, колодцев, о размерах диаметров и материале труб, давлении в газовых и напряжении в кабельных сетях и другие инженерные сведения, которые должны быть отражены на плане подземных коммуникаций. В этот же период на участке съемки создают планово-высотное геодезическое обоснование, если оно отсутствует или недостаточно по частоте расположения имеющихся пунктов.

Непосредственно съемку подземной коммуникации производят после отыскания (определения местоположения) всех ее элементов на местности. Известны следующие методы съемки:

- 1) исполнительная съемка коммуникации до засыпки траншей;
- 2) шурфование;
- 3) аэрофотосъемка;
- 4) индуктивный метод.

Самый простой случай – когда производится исполнительная съемка уложенной подземной коммуникации в незасыпанной траншее, т. е. сразу же после окончания строительства, реконструкции, ремонта. Это метод дает наибольшую точность.

При съемке на застроенной территории плановое положение всех видов подземных сетей и относящихся к ним сооружений, определяют от пунктов геодезических сетей и от постоянных точек капитальной застройки, на незастроенной территории – от пунктов геодезических сетей. Горизонтальную съемку от пунктов геодезических сетей выполняют всеми известными способами: линейных, угловых и створных засечек, полярным, перпендикуляров и др.; от точек капитальной застройки – линейными засечками, способами перпендикуляров и створов. Линейные засечки выполняют не менее чем от трех точек, длина их не должна превышать длины мерного прибора, углы засечек при определяемой точке должны быть не менее  $30^\circ$  и не более  $120^\circ$ . Длина перпендикуляров не должна быть более 4 м. При полярном способе углы измеряются теодолитом при одном положении вертикального круга, длина полярного направления не должна превышать 30 м. При всех способах съемки точек подземной коммуникации обязательно производят контрольные измерения расстояний между ними. Точки подземной коммуникации, расположенной в траншее, при съемке выносят на поверхность земли отвесом.

При съемке колодцев и камер производят обмер внутренних, и внешних габаритов, отдельных конструктивных элементов, расположения труб с привязкой к отвесной линии, проходящей через центр крышки колодца.

Высотное положение подземных сетей и сооружений определяют в основном техническим нивелированием. Нивелируют люки всех колодцев, лотки канализационных, водосточных и дренажных каналов, верх труб и пол каналов теплофикации, телефонной и электрокабельной сетей, в бесколодезных прокладках – углы поворота трассы и точки излома профиля.

После обработки полевых материалов результаты съемки подземных коммуникаций с подробной их инженерной характеристикой отображаются на топографическом плане соответствующего масштаба. Дополнительно составляются продольные профили отдельных видов подземных коммуникаций.

Основой для составления исполнительных чертежей построенных коммуникаций служат копии согласованного проекта в масштабе 1:500 или план этого же масштаба, составленный по результатам съемки полосы трассы не менее 20 м в обе стороны от ее оси.

Для уже эксплуатируемых сетей при отсутствии исполнительной документации применяют метод шурфования, т. е. роют глубокие поперечные траншеи (шурфы) на таком расстоянии одна от другой, чтобы можно было с достаточной достоверностью выявить и определить положение всех необходимых коммуникаций. Этот метод дает достаточно высокую точность, но сопряжен с различными опасностями (аварии на кабельных сетях).

На больших площадях может быть использована крупномасштабная аэрофотосъемка по отмаркированным колодцам, выходам сетей на поверхность. Этот метод дорогостоящий.

В последнее время для выявления местоположения подземных коммуникаций применяют специальные индуктивные приборы – трубокабелеискатели. Их используют в период эксплуатации, т. е. когда коммуникации скрыты и на поверхности земли существуют лишь смотровые и регулировочные сооружения. Существует много специализированных электронных приборов – трассоискатели, кабелеискатели, искатели трубопроводов и т. д.

Принцип действия приборов поиска подземных коммуникаций основан на законе электромагнитной индукции и заключается в обнаружении переменного магнитного поля, существующего вокруг токонесущих кабелей, или искусственно создаваемого вокруг отыскиваемых металлических трубопроводов.

Все применяемые приборы поиска построены по одному и тому же принципу и различаются лишь схемами и техническими характеристиками. Они состоят из двух отдельных блоков: передающего  $I$  и приемного  $II$  (рис. 18). Передающий блок состоит из генератора звуковой частоты  $G$  и источника электропитания  $B_1$ . Приемный блок включает усилитель  $У$  с электропитанием  $B_2$ , ферритовую антенну  $A$  и воспроизводящее устройство  $BУ$  (головные телефоны, микроамперметр или то и другое).

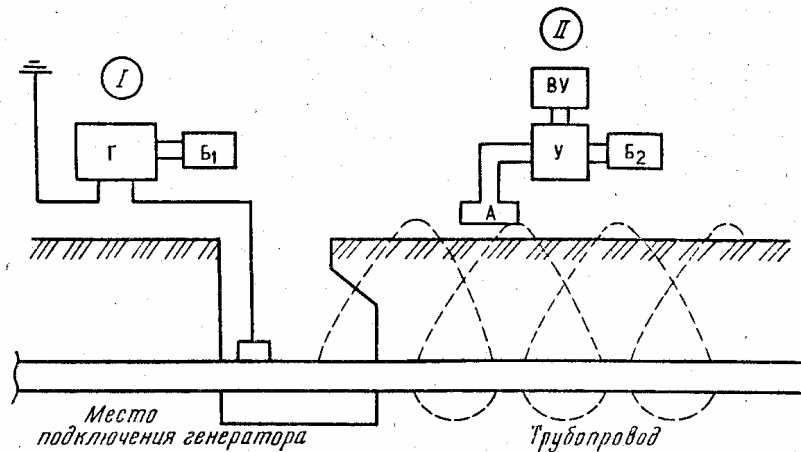


Рис. 18. Принципиальная схема устройства прибора поиска подземных коммуникаций

Трубокабелеискатели по своим электротехническим характеристикам разделяют на три класса: к I относятся приборы с мощностью генератора более 20 Вт (например, ТПК 1), ко II – от 2 до 20 Вт (ИПК-2М, ИТ-4, ИТ-5), и к III – менее 2 Вт (ИП-7-ГКИ, ИПКТ-69).

Определение положения подземной коммуникации при помощи приборов поиска может быть выполнено контактным и бесконтактным способами.

Контактный способ является наиболее точным. В этом способе генератор в удобном месте подключается непосредственно к искомой коммуникации. На расстоянии 8 – 10 м по направлению, перпендикулярному коммуникации, генератор заземляют. После соответствующей настройки генератора и включения приемного устройства начинают поиск. Для определения направления трассы антенну разворачивают в горизонтальной плоскости до получения минимального сигнала (наименьшей громкости звучания), тогда направление оси антенны укажет на направление трассы.

Местоположение коммуникации определяют на двух режимах: по «максимуму» и «минимуму» сигнала. В режиме «максимум» ось антенны располагают перпендикулярно к предполагаемой оси коммуникации (рис. 19, а) и плавно перемещают ее вправо и влево в поперечном к трассе направлении до наибольшей громкости звучания сигнала. Это и будет проекция оси коммуникации на дневную поверхность. Ширина зоны звучания сигнала может быть до 1 м и более. Положение проекции коммуникации уточняют на режиме «минимум». Для этого, расположив антенну вертикально (рис. 19, б), перемещают ее как и ранее, добиваясь наименьшего звучания сигнала.

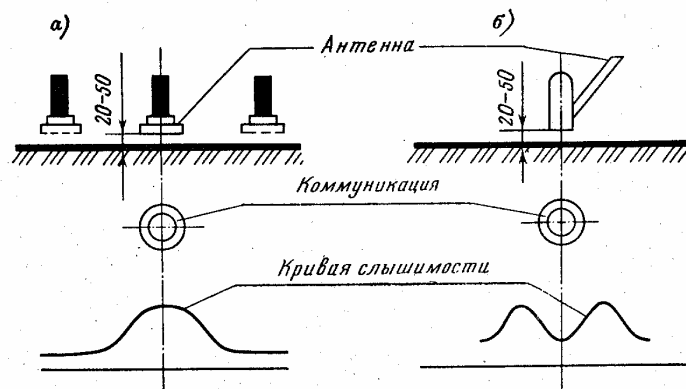


Рис.19. Схемы определения планового положения подземных коммуникаций при помощи прибора поиска

Глубину заложения коммуникации определяют, зафиксировав на местности уточненное положение ее оси. Для определения глубины заложения ось антенны располагают под углом  $45^\circ$  к поверхности земли (рис. 20) и перемещают ее перпендикулярно к направлению коммуникации до минимальной слышимости сигнала. Расстояние от этой точки до оси и будет равно глубине залегания коммуникации. Определение повторяют в противоположную от оси сторону и берут среднее из двух значений полученных расстояний.

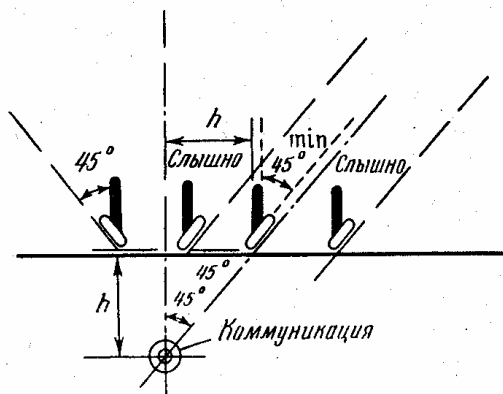


Рис. 20. Схема определения высотного положения подземных коммуникаций при помощи прибора поиска

Бесконтактный способ применяют, когда подключение генератора к трубопроводам и кабелям невозможно или нежелательно. В этом способе работающий генератор заземляется в двух или более точках, создавая тем самым вокруг коммуникации электромагнитное поле. Для поиска коммуникации используется «отраженная величина» этого поля. Методика поиска аналогична контактному способу.

Точность индуктивного метода поиска подземных коммуникаций зависит от разрешающей способности применяемого прибора, установки антенны приемного устройства в заданное положение, влияния внешних помех. Установлено, что в зоне уверенного прослушивания сигналов средние квадратические погрешности определения положения подземной коммуникации (в см) характеризуются величинами: в плане –  $m_{пл} = 7,5 h$ , по высоте –  $m_h = 13 h$ , где  $h$  – глубина залегания коммуникации в метрах.

### **3.6. Автоматизация крупномасштабных съемок**

Для эффективного управления, принятия проектных и организационных решений по землеустройству, землепользованию, строительству и эксплуатации объектов необходима качественная, достоверная и оперативная информация о территории и происходящих на ней изменениях. Главным способом ее получения является топографическая съемка. Одним из самых современных методов ведения съемочных работ – спутниковый, позволяющий с высокой точностью определять местоположение (координаты) точки по данным спутниковых наблюдений вне зависимости от места, времени суток и погоды.

Использование цифровой топографической съемки упрощает передачу полученных данных в ГИС и САПР. А технологии, позволяющие фиксировать геометрическую и атрибутивную информацию непосредственно в поле для создания цифровой картографической основы (ЦКО), имеют очевидное преимущество. НПП «Геокосмос» разработало и успешно применяет новую технологию цифровой топографической съемки, основанную на сборе пространственной информации с использованием спутниковых геодезических систем реального времени и электронных тахеометров и получении цифрового плана со связанной с ним базами данных непосредственно в поле, минуя стадию уравнивания. В поле спутниковыми методами в реальном масштабе времени (Real Time Kinematic – RTK) с точностью 2 – 3 см определяются плановые и высотные координаты пикетов. Электронный тахеометр используется для досъемки участков, где применение спутниковых методов по условиям наблюдений невозможно, затруднительно или неэффективно.

При сборе данных о местности спутниковым приемником и электронным тахеометром, помимо автоматически вычисляемых координат, в контроллер (накопитель информации) заносят вручную описание пикетов (номер, код объекта, которому принадлежит пикет, сведения о последова-

тельности соединения его с другими пикетами и т. д.). После переноса результатов съемки в память компьютера автоматически производится рисовка топографического плана, составление связанной с ним базы данных, а при необходимости исполнитель, дополнив или откорректировав эти данные, может использовать их в ГИС конечного пользователя или САПР. Переносить данные измерений в компьютер, обрабатывать и редактировать полученную ЦКО можно непосредственно в поле, что повышает достоверность результатов съемки и исключает досъемку отдельных элементов местности.

Таким образом, с помощью комплекта спутникового оборудования для съемки в реальном масштабе времени и электронного тахеометра в дополнение к нему быстро и эффективно реализуется цифровая технология в полевой части производства топографических съемок различного назначения.

В тех случаях, когда на участок съемки имеется векторный или растровый цифровой картографический материал, возможно использование «цифровой мензулы». Вместо контроллера к приемнику или электронному тахеометру подключается полевой компьютер без клавиатуры, со «световым пером» и специальным программным обеспечением, позволяющим выполнять все вышеописанные действия по сбору данных. Причем имеющийся цифровой картографический материал «подкладывается» под выполняемую съемку, а план, создаваемый в реальном времени, сразу отображается на экране компьютера. Такая технология позволяет в процессе съемки видеть результат и сопоставлять или редактировать созданный ранее цифровой картографический материал.

Обрабатывать полевые данные можно непосредственно в поле с целью немедленного контроля качества измерений и выявления участков, снятых недостаточно подробно. Собранные данные переносятся на портативный компьютер со специальным программным обеспечением для рисовки плана, позволяющим автоматически соединять контуры и «рисовать» рельеф. Перенести данные можно с помощью кабелей, которыми комплектуются контроллер и тахеометр, или РСМСІА-карты. В результате получается цифровой топографический план расположения пикетов, по которому исполнитель может определить участки, снятые недостаточно подробно, выявить ошибки и исправить их. Рисовка плана участка съемки проводится непосредственно в поле на портативном компьютере автоматически по кодам объектов. Классификатор кодов и соответствующие условные знаки могут быть созданы самим исполнителем, что позволяет эф-



эффективно использовать предлагаемую технологию для съемок специального назначения.

Описанную технологию упрощенно можно назвать «полевым дигитайзером». Ее несомненными преимуществами являются высокое качество результатов (точность, оперативность, цифровой вид) и сокращение времени и стоимости работ. К тому же отсутствует съемочное обоснование в его традиционном виде. Особо следует отметить, что все собранные в поле данные имеют вид окончательных результатов, не требующих дальнейшей обработки и уравнивания, а цифровой вид результатов съемки позволяет экспортировать их в различных форматах для работы в ГИС-приложениях.

Наиболее распространенным на территории Республики Беларусь и Российской Федерации является комплекс CREDO. Комплекс CREDO обеспечивает полный технологический цикл проектирования от обработки топографо-геодезических данных (CREDO-DAT), создания цифровой модели местности (CREDO-TER, CREDO-MIX) и объемной геологической модели (CREDO-GEO) до функционального и конструктивного проектирования (CREDO-MIX, CREDO-PRO и CAD-CREDO) и получения проектной документации.

Система CREDO-TER предназначена для создания и инженерного использования топографических крупномасштабных планов в виде цифровых моделей местности.

Система обеспечивает обработку результатов топографической съемки: дигитализации сканированных картографических материалов; импорт результатов линейных изысканий; создание, отображение, использование цифровых моделей рельефа и ситуации; проектирование трасс линейных сооружений; формирование данных для продольных и поперечных топографических профилей (разрезов) инженерных сооружений; расчет объемов работ между двумя поверхностями, экспорт цифровой модели объектов в проектирующие системы; экспорт цифровой модели местности в формате 3D-DXF; создание «твердых копий» плана в листах или планшетах в формате 2D-DXF.

Основной объем данных для формирования цифровой модели местности (ЦММ) и ситуации приходит из CREDO-DAT, CAD-CREDO и других систем сбора и обработки топографической информации. Эти данные поступают через открытый обменный формат (ООФ) и могут содержать всю необходимую информацию для полного автоматизированного построения ЦММ.

Подосновой, которая визуализируется и используется для создания ЦММ, могут быть:

- растровые данные в формате BMP;
- векторные данные в формате DXF.

В системе CREDO-TER ЦММ состоит из цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели ситуации (ЦМС).

Основной объем информации для формирования ЦММ приходит извне: из системы CREDO-DAT и других систем сбора топографической информации. Минимально необходимым набором данных является массив точек с координатами X, Y, Z. На этой основе при помощи интерактивного графического аппарата строятся точечные, площадные и линейные топографические объекты, создается и отображается модель рельефа.

Возможности Открытого Обменного Формата (ООФ), через который поступают данные, позволяют принять в CREDO-TER практически всю информацию для полного автоматизированного построения ЦММ.

Опыт применения системы CREDO-TER подтверждает, что необходимо оптимально сочетать использование информации, кодируемой при сборе (съемке, дигитализации) и «ручного» редактирования объектов. Пользователь должен учитывать характер местности, технический уровень системы сбора данных и вида изысканий.

Существуют следующие источники данных для работы с ЦММ:

1. По полевым съемочным материалам:

- при вводе информации в текстовых или специальных табличных редакторах в CREDO-DAT при обработке результатов традиционной съемки в полевых журналах (тахеометрическая съемка, планово-высотное обоснование, землеустроительные расчеты, линейные изыскания в подсистеме CREDO-LIN).

- при обработке в CREDO-DAT информации с электронных регистраторов и информации, полученной от GPS систем.

2. С использованием существующих картографических материалов или аэроснимков:

- по результатам стереофотограмметрической обработки снимков.
- при векторизации и дигитализации отсканированного отображения.
- при дигитализации непосредственно в CREDO-TER по векторным (DXF) и растровым (BMP) подложкам.
- при импорте проектных моделей из CAD-CREDO.

Программа TRANSFORM предназначена для обработки растровых файлов, полученных в результате сканирования картографических мате-

риалов, схем и чертежей. В результате работы программы создается электронная растровая подложка, которая может использоваться в системах комплекса CREDO для выпуска чертежей, топографических планов и схем, оформленных в соответствии с действующими нормативными документами.

*Для более глубокого изучения теоретического материала по модулю № 3 можно воспользоваться литературой [1, 3, 5, 6, 7, 10, 12] из перечня учебно-методических материалов по дисциплине. Наиболее ответственно необходимо отнестись к разделам основного нормативного документа Республики Беларусь на проведение изысканий СНБ 1.02.01 – 96 (п. 3.2, 3.5 и 3.6).*

### **Вопросы и задания для самопроверки**

1. Что такое топографическая съемка?
2. Что подлежит отображению на топографическом плане?
3. Что включают в себя понятия точность, детальность и полнота плана?
4. Какие съемки называют крупномасштабными?
5. Какие системы координат и высот используются для определения координат и высот точек съемочного обоснования?
6. Какие геодезические построения могут быть использованы в качестве съемочного обоснования?
7. Как можно определить масштаб и высоту сечения крупномасштабной съемки?
8. Как выполняют полевой контроль крупномасштабной съемки?
9. Укажите масштаб и высоту сечения для съемки для различных территорий согласно СНБ. 1
10. Охарактеризуйте плотность точек съемочного обоснования на застроенной территории?
11. Какова плотность точек съемочного обоснования на территории городов и промышленных площадок?
12. Охарактеризуйте плановое и высотное съемочное обоснование в зависимости от площади территории.
13. Как характеризуется в СНБ точность положения изображений предметов и контуров на топографических планах, взаимного положения съемочных точек и точек застройки, точность изображения рельефа?
14. Как оценивается в СНБ точность инженерно-топографических планов?

15. Какие вам известны методы съемок для составления крупномасштабных планов?
16. Что включает съемка застроенных территорий?
17. Охарактеризуйте горизонтальную и высотную съемку застроенной территории?
18. Как осуществляется контроль определения отметок при выполнении высотной съемки?
19. В каких случаях на крупномасштабном плане горизонтали проводятся пунктирной линией?
20. Что предполагает графоаналитический метод съемки застроенной территории?
21. Охарактеризуйте методы съемки незастроенной территории.
22. В каком масштабе выполняют съемку для составления исполнительного генерального плана?
23. Когда выполняют съемку в масштабе 1:200 с высотой сечения рельефа 0,5 м?
24. В каких случаях используется высота сечения рельефа 0,25 м?
25. Как закрепляются точки съемочной сети на застроенной территории?
26. Допускается ли в качестве планового съемочного обоснования проложение висячих теодолитных ходов?
27. От чего зависит предельная длина хода съемочного обоснования?
28. Охарактеризуйте высотное съемочное обоснование, созданное тригонометрическим нивелированием.
29. Какая документация должна быть представлена в результате построения съемочной сети?
30. Разрешается ли производство топографических съемок в зимнее время?
31. Каким методом выполняют съемку при изысканиях магистральных трубопроводов, каналов, автомобильных и железных дорог большой протяженности?
32. В каких случаях применяется наземная топографическая съемка?
33. Что подлежит отображению на инженерно-топографических планах масштабов 1:5000 – 1:500?
34. Всегда ли рельеф на планах характеризуется горизонталями?
35. С какой точностью выписываются отметки на планах в зависимости от высоты сечения рельефа?
36. Как осуществляется приемка инженерно-топографических планов?
37. Когда применяется мензульная съемка, согласно СНБ?

38. От чего зависит допустимое расстояние между пикетами при мензульной и тахеометрической съемке?
39. Как соотносится допустимое расстояние от прибора до рейки при съемке рельефа и контуров ситуации?
40. Охарактеризуйте тахеометрическую съемку?
41. Охарактеризуйте мензульную съемку?
42. Охарактеризуйте аэрофототопографическую съемку?
43. В чем заключается наземная фототопографическая съемка?
44. Что подлежит обследованию при съемке надземных и подземных линейных сооружений?
45. Состав работ при съемке существующих подземных сооружений?
46. Какими способами производится определение планового положения выходов подземных сооружений на поверхность?
47. Что подлежит нивелированию при съемке подземных коммуникаций (какие точки)?
48. Какие вам известны методы съемки подземных коммуникаций?
49. Какие характеристики можно определить при помощи трубка-белеискателей?
50. Какова точность определения планового положения скрытых точек подземных коммуникаций согласно СНБ?
51. Какова точность контроля съемки подземных коммуникаций согласно СНБ?
52. Какая документация должна быть представлена в результате выполнения съемки подземных коммуникаций?
53. Что при съемке подземных коммуникаций по водопроводу, канализации и теплосети должно быть отражено?
54. Что при съемке подземных и надземных коммуникаций по газопроводу должно быть отражено?
55. Что при съемке коммуникаций по силовым кабельным и телефонным сетям должно быть отражено?
56. Что при съемке дренажных систем должно быть отражено?
57. Кратко охарактеризуйте автоматизацию крупномасштабных съемок.

*В качестве **контроля знаний** по третьему модулю рекомендуется устный или письменный опрос (студенту предлагается 10 – 12 вопросов).*

## Модуль № 4 «Инженерные изыскания площадных и линейных сооружений»

### Дидактические цели

Студент должен знать:	Студент должен уметь:
<ul style="list-style-type: none"> <li>– состав работ при изысканиях площадных и линейных сооружений;</li> <li>– стадии проектирования;</li> <li>– методику и состав работ при камеральном и полевом трассировании;</li> <li>– особенности измерений, разбивочных работ на трассах и математической обработки результатов трассирования</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– выполнять трассирование по топографической карте;</li> <li>– рассчитывать основные элементы кривых, пикетажные значения главных точек;</li> <li>– разбивать пикетаж по трассе;</li> <li>– выполнять детальную разбивку кривых;</li> <li>– составлять продольный профиль трассы.</li> </ul>

### Учебно-информационный блок

Тема занятия	Тип занятия	Вид (форма) занятия	Количество часов
<b>Инженерные изыскания площадных и линейных сооружений</b>			
УЭ – 1. Состав работ при изысканиях площадных и линейных сооружений, стадии проектирования	Усвоение научных знаний	Лекция	1
УЭ – 2 . Трассирование	Углубление и систематизация знаний	Самост. работа	6
– камеральное и полевое трассирование;	Усвоение научных знаний	Лекция	7
– полевые работы на трассе;	Углубление и систематизация знаний	Лабораторные занятия	16
– детальная разбивка кривых;		Самост. работа	14
– составление планов, продольных и поперечных профилей.			
<i>Всего по модулю: 44 часа</i>			
УЭ – К. Контроль знаний по модулю: <b>опрос, защита лабораторных работ</b>			

### 4.1. Состав работ при изысканиях площадных и линейных сооружений

Все инженерные сооружения делятся на площадные и линейные.

К площадным сооружениям можно отнести города, поселки, промышленные предприятия и другие застройки.

К линейным сооружениям относятся автомобильные и железные дороги, метрополитен, мосты, трубопроводы, каналы и тоннели различного назначения, линии электропередач (ЛЭП), а также мелиоративные систе-

мы, гидроузлы и аэропорты из-за вытянутости их вдоль основной оси (оси магистрального канала, плотины или взлетно-посадочной полосы).

Для больших площадных и линейных сооружений выполняют все виды инженерных изысканий:

- инженерно-геодезические;
- инженерно-геологические;
- гидрометеорологические;
- почвенно-грунтовые;
- геоботанические;
- санитарно-гигиенические;
- изыскания для земельно-хозяйственного устройства, озеленения и вертикальной планировки;
- по инженерным сетям, транспорту, водным ресурсам и строительным материалам.

Для сооружений с небольшой площадью выполняют только три первых вида изысканий.

Площадку под строительство выбирают в малопересеченной и малоприспособной для сельского хозяйства местности, при чем с благоприятными геологическими и гидрогеологическими условиями.

Площадка должна располагаться так, чтобы ее можно было соединить с существующими железнодорожными и автодорожными магистралями без большого объема земельных работ и строительства мостовых переходов.

Рельеф площадки должен быть спокойным с уклоном либо в одну сторону, либо от середины к краям для обеспечения стока поверхностных вод. Уклоны предполагаемой площадки – 0,003 – 0,080 (3 – 80 %).

Важно исследовать грунты и определить уровень грунтовых вод, который должен быть ниже отметок дна подвала. Для выбора площадки важно наличие водных источников, карьеров строительных материалов, а также возможность обеспечения газом, электроэнергией и топливом.

При строительстве промышленных сооружений, гидроузлов, аэропортов необходимо оставлять свободный участок территории для строительства жилого поселка.

Выбор площадки осуществляют в камеральных условиях, уточнение и согласование проекта производят по результатам полевого обследования.

Для разработки проекта производят топографическую съемку в масштабе 1:2000 с высотой сечения рельефа 1 м. По имеющимся картографическим материалам составляется ситуационный план. На него наносят кон-

туры строительных площадок, жилого поселка, водозаборных и очистных сооружений, существующие автомобильные и железнодорожные магистрали, реки, населенные пункты, лесные массивы, карьеры, места нахождения строительных материалов, подсобные предприятия, намечают трассу подъездных дорог, водоводов, выпусков канализации и многое другое.

Характерной особенностью инженерно-геодезических изысканий линейных сооружений являются трассировочные работы. В зависимости от стадии проектирования выполняется камеральное и полевое трассирование.

*Камеральное трассирование* подразумевает проектирование трассы по топографическим планам, фотопланам или цифровым моделям местности.

При *полевом трассировании* трасса выбирается и разбивается непосредственно на местности.

## 4.2. Стадии проектирования

1. *Технико-экономическое обоснование* (стадия предпроектной документации). На этой стадии осуществляется сбор и анализ имеющейся топографической и картографической информации, сбор сведений о наличии материалов по опорным геодезическим сетям для рассматриваемых вариантов размещения строительной площадки (направления трассы). Применяются карты и планы масштабов 1:100000 – 1:2000.

2. *Стадия технического проекта*. Обеспечивается получение топографо-геодезических материалов для разработки генплана объекта, доработки и детализации проектных решений, принятых на стадии предпроектной документации, и уточнение технико-экономических показателей.

Применяют топографические планы масштабов 1:5000 – 1:500.

3. *Стадия рабочих чертежей*, или рабочей документации.

На этой стадии выполняют развитие опорных и съемочных геодезических сетей, топографической съемки и обновление инженерно-топографических планов, геодезическое обеспечение других видов изысканий, составление и размножение топографических планов.

Основной масштаб 1:500, также используется – 1:1000.

## 4.3. Трассирование линейных сооружений

Трасса – это ось проектируемого линейного сооружения, которая обозначена на местности или нанесена на топографическую карту, фотоплан или же задана координатами в цифровой модели местности.



Основными элементами трассы является план и продольный профиль.

План трассы – это проекция трассы на горизонтальную плоскость.

Продольный профиль – вертикальный разрез по проектируемой линии.

Трасса представляет собой сплошную пространственную линию. В плане эта линия состоит из участков разного направления (рис. 21).

В продольном профиле трасса состоит из линий различного уклона, соединенных между собой вертикальными кривыми.



Рис. 21. Трасса в плане и профиле

Продольный профиль представляют двумя графиками:

- фактическим (черным);
- проектным (красным).

Продольный профиль имеет горизонтальный и вертикальный масштаб. Наиболее распространены горизонтальный масштаб 1:10000 – 1:25000, вертикальный масштаб – 1:1000 и крупнее.

Для характеристики местности и самого линейного сооружения в направлениях перпендикулярно к трассе составляются поперечные профили (в одинаковом вертикальном и горизонтальном масштабах).

В зависимости от топографических условий местности различают следующие категории трассы:

– *долинная трасса* прокладывается по надпойменной террасе долины реки. Она обычно имеет спокойный план и профиль, но пересекает большое число водотоков. Данная категория трассы очень дорогостоящая и непрактична с точки зрения геологических условий;

– *водораздельная трасса* идет по наиболее высоким отметкам местности. Для этой трассы характерен сравнительно сложный характер трассы, благоприятные геологические условия. Именно эту трассу проектируют в равнинной и слабопересеченной местности;

– *косогорная трасса* располагается на склонах гор. Ее можно запроектировать с плавным уклоном (вся трасса располагается приблизительно на одной отметке). Но эта трасса будет очень извилистой в плане и придется проектировать большое количество мостовых переходов. Много затруднений возникает во время эксплуатации построенной дороги по такой трассе из-за обвалов, осыпей и селевых потоков;

– *поперечно–водораздельная трасса* проходит по косоугору, то есть она пересекает долины и водоразделы. В плане данная трасса близка к прямой, а в продольном профиле часто имеет затяжные предельные уклоны. Данная трасса дорогостоящая из-за того, что нужно сооружать мостовые переходы.

На практике оптимальный вариант трассы, в зависимости от характера местности, сочетает в себе различные категории.

#### **4.4. Параметры и правила трассирования**

Трасса в зависимости от вида проектируемого сооружения должна удовлетворять определенным требованиям.

Для трасс задаются наибольшие и наименьшие продольные уклоны, минимальные радиусы горизонтальных и вертикальных кривых, а также задают габариты приближений – это отстояние линейных сооружений от земной поверхности.

При трассировании выделяют плановые и высотные параметры трассы. К плановым параметрам относятся:

- углы поворота;
- радиусы горизонтальных кривых;
- длины переходных кривых;
- прямые вставки.

К высотным параметрам относятся:

- продольные уклоны;
- длины элементов в профиле;
- радиусы вертикальных кривых.

Для самотечных трубопроводов и каналов наиболее важно выдержать высотные параметры (особенно уклоны).

Для напорных трубопроводов, линий электропередач и связи уклоны мало влияют на проект трассы. В этом случае трассу проектируют наиболее короткой, расположенной в благоприятных условиях, то есть важнее выдержать плановые показатели.

Дорожные трассы требуют соблюдения как плановых, так и высотных параметров. Такие трассы должны удачно вписываться в ландшафт местности, а также трассу желательно располагать на землях, не имеющих народно-хозяйственной ценности.

Проложение трассы в равнинных районах определяется контурными препятствиями, то есть ситуацией. При проектировании трассы стараются

обходить контура и располагать вершины углов поворота приблизительно посередине контура или препятствия.

В высотном отношении трассу ведут вольным ходом, то есть проектную линию ведут по характерным точкам местности вдоль намеченного направления.

*Основные правила трассирования в равнинных районах:*

1. Трассу прокладывают по прямолинейным участкам от одного контура к другому, стремясь незначительно удлинить её и уклонять трассу от заданного направления (чем больше угол поворота, тем больше длина трассы).

2. Углы поворота стремятся иметь по возможности не более  $30 - 45^\circ$ , а оптимальные углы поворота  $10 - 20^\circ$ .

3. Длину прямой вставки рекомендуется оставлять не менее чем 200 метров, чтобы при необходимости осуществить разбивку переходных кривых.

4. В случае пересечения трассой водных препятствий и оврагов, ее проектируют приблизительно перпендикулярно к препятствию, а примыкание к существующим автомобильным и железнодорожным магистралям можно осуществить под любым углом, но к прямому участку магистрали.

Положение трассы в горных районах определяется высотными препятствиями, то есть рельефом. Так как уклоны в горной местности значительно превосходят допустимые значения, трассирование ведут «напряженным» ходом – это значит, что каждая линия задается предельным уклоном.

Чтобы выдержать этот уклон, требуется удлинять трассу, отклоняя ее на небольшие углы от заданного направления.

В плане горная трасса имеет сложнейшую конфигурацию, много углов поворота и короткие прямолинейные участки между ними.

#### **4.5. Технология изысканий магистральных трасс**

В процессе изысканий решаются следующие задачи:

а) выбор оптимального варианта трассы (благоприятные условия для проектирования, строительства и эксплуатации; обоснованность расходов).

б) сбор необходимых топографо-геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других данных для конечного составления проекта трассы.

При создании новых магистральных трасс различают три стадии проектирования.

На *предварительной стадии* производят технико-экономическое обоснование, которое выполняется в камеральных условиях по картографическим и фотоматериалам. На этой стадии выбираются параметры трассы, исследуется возможность проложения трассы, выбирается направление и намечаются начальные и конечные точки трассы. Весь этот процесс называют созданием так называемой «воздушной линии». На этой же стадии, придерживаясь заданного направления, намечают несколько вариантов трасс и производят их сравнение.

Работы ведут по топографическим картам масштаба 1:25000, 1:50000 (1:100000, если очень протяженная трасса), а продольный профиль строится в масштабе 1:10000, 1:25000.

Итогом предварительной стадии является составление технического задания.

*Проектная стадия* включает в себя выбор окончательного варианта трассы путем технико-экономического сравнения нескольких вариантов; выбор достоверных материалов для разработки проекта; составление технического проекта трассы и всех сооружений на ней; составление сметы на строительство. Именно на этой стадии проводится полевое обследование, аэровизуальная разведка и аэросъемка, если это необходимо, и геодезическая привязка трассы.

На *окончательной* стадии ведутся полевые изыскания, состоящие в установлении на местности точного положения трассы, а также на этой стадии ведется сбор точных и полных материалов о существующих пунктах геодезического обоснования и видах съемок проведенных на данной территории. Составляется рабочий проект трассы, включающий рабочие чертежи всех сооружений.

#### **4.6. Камеральное трассирование**

Состав работ при камеральном трассировании следующий:

1. Проложение трассы по карте.
2. Измерение углов поворота и подбор радиусов кривых.
3. Вычисление основных элементов кривых.
4. Вычисление пикетажных значений главных точек кривых и разбивка пикетажа.
5. Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых.
6. Составление плана и профилей трассы (продольного и поперечного).

Камеральное трассирование линейных сооружений можно выполнить способом попыток или способом построения линии заданного уклона.

*Способ попыток* применяется только в равнинной местности и заключается в следующем. Между фиксированными точками намечают по карте кратчайшую трассу и составляют по ней продольный профиль местности. Затем по продольному профилю выявляют участки, в которых целесообразно сдвинуть трассу влево или вправо, чтобы отметки местности ближе подходили к проектным отметкам. Измененные участки вновь трассируют и составляют новый улучшенный профиль.

*Способ построения линии заданного уклона* предполагает построение на топографической карте линии нулевых работ. Линия строится следующим образом: из начальной точки трассы, придерживаясь заданного направления, раствором циркуля, равным заложению, засекают ближайшую горизонталь. Из полученной точки засекают соседнюю горизонталь тем же раствором, и так далее. При пересечении оврагов или рек вниз к тальвегу не спускаются, а переходят на другую сторону, стараются пересекать препятствия приблизительно перпендикулярно направлению реки или оврагу.

В местах, где расстояние между горизонталями больше принятого заложения, точки выбирают произвольно.

$$\text{Заложение равно } l = \frac{h}{i_{mp}} \cdot \frac{1}{M}.$$

Для карты масштаба 1:25000 с высотой сечения рельефа  $h = 5\text{ м}$  и заданного проектного уклона трассы  $i_{mp} = 0,020$ , получим следующие значения заложений:

- на местности  $L_m = 250\text{ м}$ ,
- на карте  $L_k = 10\text{ мм}$ .

Заложение необходимо для построения линии равных уклонов. Данная линия представляет собой ломаную, и называют ее линией «нулевых работ», так как именно по этой линии для соблюдения проектного уклона не надо будет делать ни выемок, ни насыпей.

На карте в заданном направлении можно построить несколько вариантов линии «нулевых работ». Она очень извилистая, и поэтому производят ее спрямление. После спрямления на углах поворота разбивают круговые, переходные вертикальные кривые, а также пикетаж по трассе.

На топографической карте можно запроектировать несколько вариантов трасс (рис. 22), из которых затем выбирают окончательный вариант.

По горизонталям определяют отметки пикетов и характерных точек и составляют продольный профиль трассы. На продольном профиле проектируют проектную «красную» линию, выполняют расчеты уклонов по каждому участку «красной» линии, вычисляют проектные отметки по бровке земляного полотна, расстояния до точек «нулевых работ» и их отметки.

Затем выполняется подсчет объема земляных работ; в тех местах, где получаются большие объемы земляных работ, трассу несколько смещают и перепроектируют данный участок.

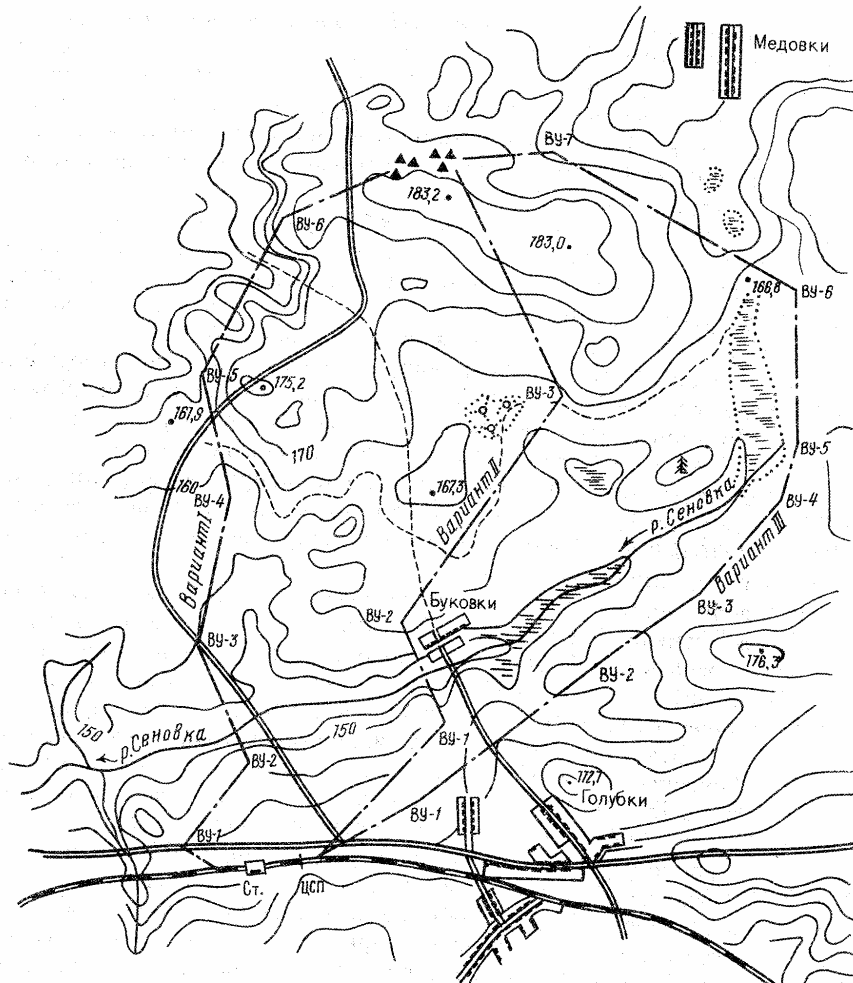


Рис. 22. Варианты трасс на топографической карте

Относительная ошибка определения на карте линии заданного уклона подсчитывается по формуле

$$\left( \frac{m_{imp}}{i_{imp}} \right)^2 = \left( \frac{m_h^2}{h} \right)^2 + \left( \frac{m_l}{l} \right)^2, \quad (88)$$

так как  $\frac{m_l}{l} \ll \frac{m_h}{h}$ , то  $m_{imp} = \frac{m_h}{h} \cdot i_{mp}$ .

Согласно требованиям инструкции средняя квадратическая ошибка взаимного положения горизонталей на карте  $m_h = \frac{1}{5} h$ , отсюда

$$m_{i_{mp}} = \frac{1}{5} i_{mp}.$$

Если  $i_{mp} = 0,020$ , то значение уклона будет соответствовать заданному в пределах от 0,016 до 0,024.

Автоматизировать трассировочные работы позволяет программный комплекс CREDO, в котором на основе цифровой модели местности проектируют трассу линейного сооружения; осуществляют поиск оптимального варианта трассы; построение профилей и т. д.

#### 4.7. Полевое трассирование

Полевое трассирование производится на окончательной стадии проектирования линейных сооружений и включает в себя следующие виды работ:

1. Вынесение проекта трассы в натуру. Вешение линий.
2. Определение углов поворота.
3. Линейные измерения и разбивка пикетажа с ведением пикетажного журнала.
4. Разбивка кривых (круговых, переходных, вертикальных).
5. Нивелирование трассы.
6. Закрепление трассы.
7. Привязка трассы к пунктам геодезической основы.
8. Съёмочные работы.
9. Обработка полевого материала. Составление плана трассы, продольного и поперечных профилей.

*Вынесение проекта трассы в натуру. Вешение линий.* Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносится на местность, по данным привязки углов поворота к пунктам геодезической основы или к ближайшим четким контурам местности.

На данном этапе работу начинают с тщательной рекогносцировки местности и выявления вблизи трассы геодезических пунктов или точек четких контуров.

Сначала определяется местоположение соседних углов поворота по данным их привязки, а затем в створе этого направления устанавливается ряд вех и обследуется намеченное направление.

В зависимости от того, как трасса пересекает водотоки, овраги, существующие магистрали и другие препятствия иногда приходится смещать провешенную линию или передвигать углы поворота. Так поступают для того, чтобы более удобно разместить элементы плана и профиля трассы и обеспечить минимальный объем земляных работ.

Окончательное положение углов поворота закрепляют.

Могут возникнуть случаи, когда между углами поворота нет видимости, тогда направление трассы определяется одним из способов:

а) если вблизи трассы имеется исходный геодезический пункт, то трассу задают от направления с вершины угла поворота на этот пункт;

б) в вершине угла поворота определяют азимут направления на хорошо видимый земной предмет (астрономическим способом или гиротеодолитом) и от этого направления задают трассу по ее дирекционному углу.

в) направление трассы может задаваться по магнитному азимуту.

*Определение углов поворота.* При трассировании измеряют правые по ходу углы одним приемом с точностью  $0,5'$ , то есть теодолитом типа Т30.

Угол поворота  $\theta$  образуется продолжением предыдущего и нового направлений трассы. В зависимости от положения угла относительно продолжения предыдущего направления трассы различают угол поворота вправо Уг. п. п. (рис. 23, а) и угол поворота влево Уг. п. п. (рис. 23, б). Для контроля угловых измерений одновременно определяют по буссоли магнитные азимуты сторон трассы.

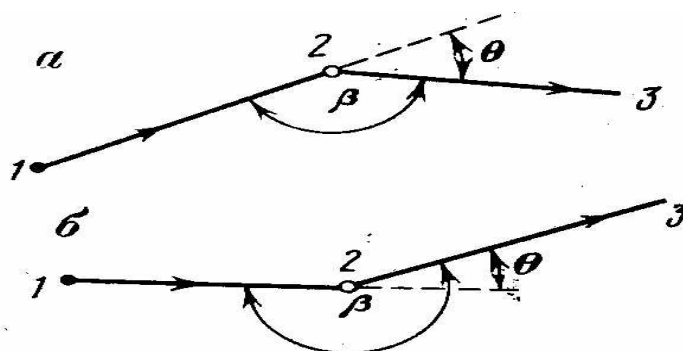


Рис. 23. Углы поворота

Формулы для определения углов поворота

$$\theta_{np} = 180^{\circ} - \beta,$$



$$\theta_{лев} = \beta - 180^{\circ}. \quad (89)$$

Если расстояние между соседними вершинами гораздо больше 500 м, то устанавливаются створные точки, которые разбиваются при вешении линии через 100 метров.

Проверку правильности положения створной точки осуществляют отложением угла  $180^{\circ}$  при КЛ и КП теодолита.

*Линейные измерения.* При трассировании выполняется два вида линейных измерений:

1) измерение расстояний вместе с углами, по результатам измерений которых вычисляются координаты углов поворота.

Если углы наклона по трассе  $> 2^{\circ}$ , то необходимо измерять вертикальные углы и вводить поправки за наклон в измеренное расстояние (знак поправки « $\rightarrow$ »).

Расстояния измеряют с точностью  $1 / 1000 - 1 / 2000$  в зависимости от условий местности с помощью светодальномеров, мерными приборами (рулеткой и т. п.) или по дальномерным нитям теодолита.

2) измерение расстояний с целью разбивки пикетажа, элементов кривых, профилей, а также для промеров до точек ситуации, расположенных вблизи трассы.

Кроме целых пикетов, по трассе разбивают характерные или плюсовые точки.

К характерным точкам можно отнести рельефные точки – характерные перегибы рельефа (определяются с точностью до 1 м), и контурные точки – это точки пересечения трассой сооружений, водотоков, границ угодий (определяются с точностью до 1 см).

Начало трассы принимают за нулевой пикет (пк 0). В процессе разбивки пикетажа вводят поправки за наклон местности, но со знаком «+».

Разбивку пикетажа производят с помощью 50-ти метровой ленты или рулетки.

Вместо введения поправки за наклон при разбивке пикетажа можно применять *ватерпасовку*, которая выполняется следующим образом: измерительный прибор укладывается примерно горизонтально, а приподнятый конец мерного прибора проецируется на землю с помощью нитяного отвеса. Мерный прибор следует поддерживать в середине, чтобы избежать провисания.

Первоначально пикеты на трассу наносят камерально, и тогда, в случае необходимости для уточнения их местоположения, можно произвести разбивку пикетов от ближайших характерных точек.

Разбивка пикетажа производится дважды: *первый раз* – при выносе на местность кривых и разбивке пикетажа, и *второй раз* – в строительный период при восстановлении трассы.

*Разбивка круговых кривых и пикетажа.* Разбивка круговой кривой заключается в вынесении на местность главных точек кривой: начала, середины и конца кривой (НК, СК, КК) (рис. 24).

Основными элементами круговой кривой являются:

- 1) тангенс  $T$  – это кусочек касательной от вершины угла до начала или до конца кривой;
- 2) кривая (длина кривой)  $K$  – расстояние по кривой от НК до КК через СК;
- 3) биссектриса  $B$  – кусочек биссектрисы угла от вершины до середины кривой;
- 4) домер  $D$  – это величина на которую кривая короче, чем два тангенса.

Для определения основных элементов кривых и разбивки кривых на местности можно использовать формулы или таблицы Митина.

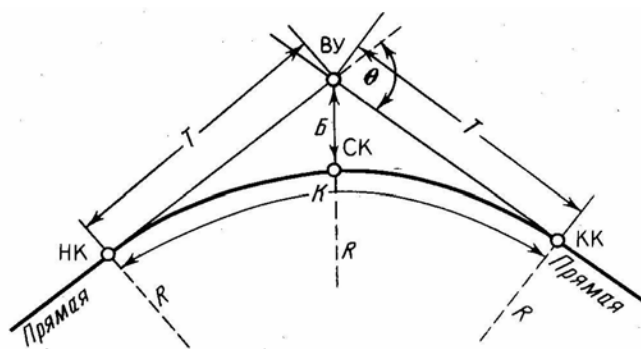


Рис. 24. Круговая кривая

#### Основные формулы

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$$

$$K = \frac{\Pi \cdot R}{180^\circ} \cdot \theta^\circ$$

$$B = R \cdot \left( \sec \frac{\theta}{2} - 1 \right)$$

$$D = 2 \cdot T - K$$

Начало круговой кривой (НК) определяют на местности отложением величины тангенса  $T$  от вершины угла в сторону начала трассы, а при отложении тангенса по направлению трассы получим конец круговой кривой (КК).

При отложении по биссектрисе измеренного угла величины  $B$  получим на местности середину круговой кривой (СК).

Вычисление пикетажных значений главных точек кривых начинают с вычисления пикетажа вершин углов поворота (ПК ВУ):

$$ПКВУ1 = \frac{S_{A1}}{100} = \frac{421.65}{100} = ПК4 + 21.6;$$

$$ПКВУ2 = \frac{S_{A1} + S_{12} - D_1}{100} \text{ и т. д.}$$

Затем вычисляют пикетажные значения начала, середины и конца кривой.

Основные формулы

$$ПКНК = ПКВУ - T$$

$$ПКСК = ПКНК + \frac{1}{2} K \quad (90)$$

$$ПККК = ПКНК + K$$

Контрольные формулы:

$$ПКСК = ПККК - \frac{1}{2} K$$

$$ПККК = ПКВУ + T - D \quad (91)$$

Начало кривой на местности можно найти либо путем отложения от ближайшего закрепленного пикета расстояния, вычисленного по пикетажу, либо путем отложения от ВУ в обратном направлении величины тангенса  $T$ .

Середину кривой находят на местности, откладывая расстояние, равное биссектрисе  $B$  по направлению половины угла хода.

При разбивке на местности конца круговой кривой от вершины угла в сторону продолжения трассы откладывают величину домера  $D$  и, считая, что конец домера имеет пикетажное значение вершины угла, продолжают дальнейшую разбивку целых пикетов. В этом случае местоположение конца круговой кривой (КК) определяют от ближайшего пикета или отложив от вершины угла по направлению трассы величину тангенса  $T$ . При разбивке пикетажа мерной лентой должна быть обеспечена предельная относительная ошибка измерений:

- для равнинной местности – 1:1000,
- для горной местности – 1:500 .

Для более полной характеристики местности разбивают поперечные профили в обе стороны от трассы на расстоянии 15 – 30 метров и более.

Поперечные профили разбивают на таком расстоянии друг от друга, чтобы местность между ними имела однообразный уклон. Если уклон более чем  $0,2$  ( $200\%$ )  $\approx 11^\circ$ , то в этом случае продольные профили разбивают на всех пикетажных и всех плюсовых точках.

Одновременно с разбивкой пикетажа ведется пикетажный журнал (рис. 25) – это тетрадь в клетку. Посередине страницы вертикальной линией показывается ось трассы. На оси, в некотором масштабе (1 клетка – 20 метров), снизу вверх наносят все пикетные и плюсовые точки, вершины углов поворота, поперечные профили, границы препятствий и ситуации приблизительно на 50 м от оси.

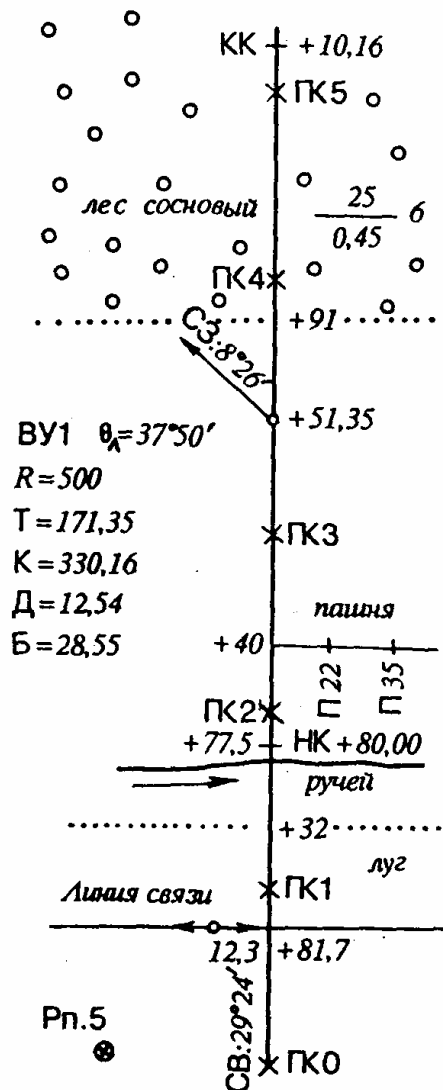


Рис. 25. Схема пикетажного журнала

В горных районах или населенных пунктах можно вместо пикетажного журнала составлять абрис. В этом случае не вытягивают ось трассы в прямую

линию, а изображают ее ломаной. Стараются показать ось трассы в соответствии с расположением на местности, и относительно ее показывают ситуацию.

Трасса должна быть надежно закреплена на местности, чтобы ее легко можно было найти и восстановить перед строительством. Все опорные пункты трассы, фиксированные точки, вершины углов поворота, створные точки, места перехода через крупные препятствия закрепляют деревянными или железобетонными столбами и составляют абрис их привязки к местным предметам. Пикеты и плюсовые точки достаточно закрепить колышками со сторожками. Разбивка пикетажа работа трудоемкая и ответственная, поскольку именно к пикетажу привязывают все инженерно-геологические выработки по трассе, точки геофизической разведки и створы гидрометрических измерений.

*Детальная разбивка круговых кривых.* При вынесении на местность круговых кривых необходимо всю длину кривой разбить на равные отрезки такой длины, чтобы можно было принять дугу за кривую. Чем больше радиус  $R$  круговой кривой, тем больше интервал разбивки. При  $R \geq 500$  интервал разбивки  $k$  равен 20 м, при  $100 < R < 500$  – 10 м, при  $R < 100$  м – 5 м.

Существует ряд способов детальной разбивки кривых. Наиболее распространенными из них являются способ прямоугольных координат, углов (или полярных координат), продолженных хорд, хорд (секущих), вписанного многоугольника. Точность детальной разбивки кривых зависит от точности выполнения элементарных разбивочных операций, таких, как построение проектных углов и расстояний.

*Способ прямоугольных координат* (рис. 26). В этом способе положение точек 1, 2, 3, .... на кривой через равные промежутки  $k$  определяется прямоугольными координатами  $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots$ , при этом за ось абсцисс принимают линию тангенса, а за начало координат – начало (НК) и конец кривой (КК).

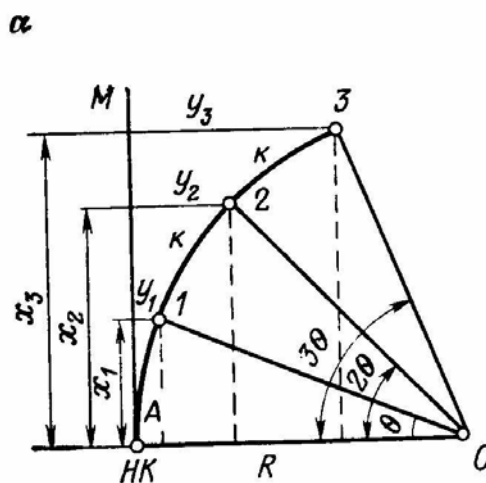


Рис. 26. Схема разбивки кривой способом прямоугольных координат

Основные формулы:

$$x_1 = R \cdot \sin \theta,$$

$$y_1 = R \cdot (1 - \cos \theta) = 2 \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где угол  $\theta = \frac{180^\circ \cdot k}{\Pi \cdot R}$ .

От начала кривой по тангенсу в сторону вершины угла откладывается соответствующая вычисленная абсцисса  $x$ . В конце отложенного расстояния строится угол, равный  $90^\circ$ , и по полученному направлению откладывается ордината  $y$ . В данном способе разбивка ведется и от начала и конца кривой к середине, что повышает точность разбивки.

Способ прямоугольных координат применяется при выносе пикетов на кривую, при выполнении съемочных и разбивочных работ.

Достоинство способа заключается в том, что каждая точка кривой определяется независимыми промерами и при переходе от одной определяемой точки к другой погрешности не накапливаются.

*Способ углов.* В этом способе (рис. 27) используется математическое положение, что углы с вершиной в какой-либо точке круговой кривой, образованные касательной и секущей и заключающие одинаковые дуги, равны половине соответствующего угла.

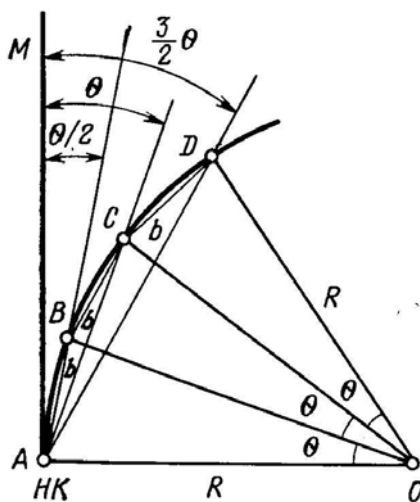


Рис. 27. Схема разбивки кривой способом углов

Основная формула:

$$\sin \frac{\theta}{2} = b / 2R,$$

где  $b$  – длина хорды.

Разбивку кривой осуществляют следующим образом. В начале кривой устанавливают теодолит и от линии тангенса задают угол, равный  $\frac{\theta}{2}$ ; расстояние  $b$ , откладывая вдоль полученного направления длину хорды, равную шагу разбивки (5, 10, 20 м). Найденную точку закрепляют. От того же направления теодолитом строят второй угол равный  $\theta$ . От точки  $B$  откладывают следующую длину хорды  $b$  так, чтобы ее конец лежал в коллимационной плоскости теодолита, фиксируя на местности точку  $C$  кривой и т. д. Недостаток способа заключается в том, что каждая последующая точка определяется относительно предыдущей и с возрастанием длины кривой точность детальной разбивки быстро падает.

*Способ продолженных хорд.* Разбивку кривой этим способом (рис. 28) ведут без теодолита. В основу положен способ линейных засечек. По радиусу  $R$  и принятой длине хорды находят отрезки  $d$  и  $y$ , называемые промежуточным и крайним перемещением. Положение первой разбивочной точки  $B$  можно определить способом прямоугольных координат или с отрезка тангенса  $AN = b$  линейной засечкой радиусами-векторами  $AB = b$  и  $NB = y$ . Закрепив точку  $B$ , на продолжении створа  $AB$  откладывают длину хорды  $b$  и отрезками  $C'C = d$  и  $BC' = b$  засекают на кривой точку  $C$  и т. д.

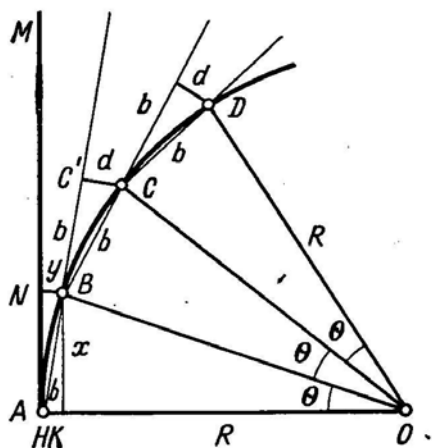


Рис. 28. Схема разбивки кривой способом продолженных хорд

Основные формулы:

$$y = \frac{b^2}{2R};$$

$$d = 2y = \frac{b^2}{R},$$

где  $b$  – длина хорды.

Точность данного способа невысока, его используют при разбивке коротких кривых. Недостаток способа тот же, что и у предыдущего. Применяется этот способ в стесненных условиях (в насыпи, выемке, в шахте) при невысокой точности разбивки.

*Способ хорд (секущих).* В этом способе (рис. 29) точки кривой разбивают от хорды по прямоугольным координатам. Длину хорды выбирают большой (100 м и более), но с учетом, чтобы максимальная длина ординаты не превышала 2 – 3 м. В этом случае точность способа высока. Направление первой хорды задают теодолитом из начальной точки кривой под углом к тангенсу, равным  $\frac{\varphi}{2}$ . Этот угол можно вычислить или найти по таблицам Митина для радиуса кривой и принятого шага разбивки. В этих же таблицах находят величины  $K - x$  и  $y$  для детальной разбивки участка кривой  $AB$  от хорды.

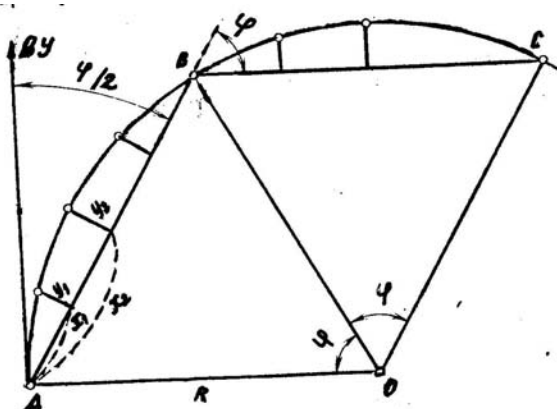


Рис. 29. Схема разбивки кривой способом хорд

Основная формула:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = b / 2R,$$

где  $b$  – длина хорды.

Разбиваемые точки получают на местности отложением расстояний  $x$  по хорде, а расстояний  $y$  по перпендикулярам к хорде.

Абсциссы принимают равными:  $x_1 = 20$  м,  $x_2 = 40$  м и далее 60, 80, 100 м.

Теодолит переносят в точку  $B$ , и от направления  $AB$  откладывают угол  $\varphi$ , задавая направление второй хорды, от которой разбивают новый участок кривой.

Наряду со способом прямоугольных координат способ хорд является наиболее точным и применяется в стесненных условиях (в тоннелях, на дамбах и т. д.).



*Способ вписанного многоугольника.* Точки на кривой через равные промежутки определяются путем последовательного отложения хорды  $l$  и угла между соседними хордами  $\beta_2$  (рис. 30)

Местоположение точки  $1$  на кривой определяют способом прямоугольных координат или углов. В ней устанавливают теодолит и строят угол равный  $\beta_2$ . Вдоль направления  $HK-1$  откладывают хорду  $l$ , определяя на кривой точку  $2$ , в которую переносят теодолит.

В точке  $2$  производят такие же построения. В данном способе часть точек разбивают от начала кривой, остальные от конца, что позволяет повысить точность.

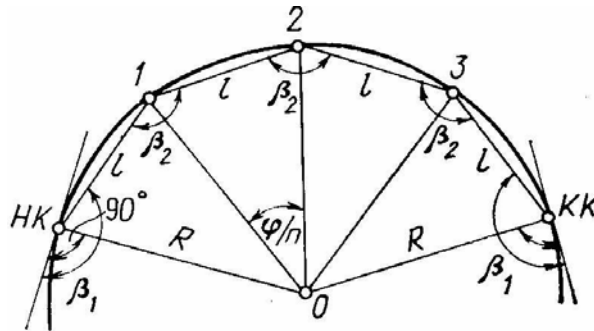


Рис.30. Схема разбивки кривой способом вписанного многоугольника

Основные формулы:

$$l = 2R \cdot \sin \frac{\varphi}{2},$$

$$\beta_2 = 180^\circ - \varphi,$$

$$\text{где } \sin \frac{\varphi}{2} = k/2R.$$

Благодаря высокой точности линейных и угловых измерений способ разбивки кривых используется в тоннелестроении, а также для выноса в натуре осей сооружений, имеющих в сечении окружность или многоугольник.

*Переходные кривые.* Для уменьшения вредного влияния центробежной силы и обеспечения плавности движения при переходе с прямого участка пути на кривую их сопряжение осуществляется при помощи переходной кривой (рис. 31).

$$T_{II} = T + t,$$

$$t = L/2 \left( 1 - L^2/120R^2 + \dots \right);$$

$$B_{II} = B + p,$$

$$p = L^2/24R \left( 1 - L^2/112R^2 + \dots \right);$$

$$K_{\Pi} = K + L;$$

$$D_{\Pi} = 2T_{\Pi} - K_{\Pi} = D + 2t - L.$$

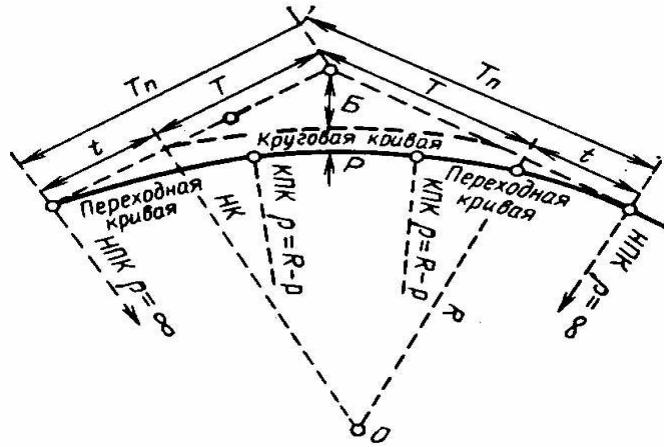


Рис. 31. Переходная кривая Элементы переходной кривой:

Главной особенностью переходной кривой является ее радиус, который плавно изменяется от бесконечности в начале кривой до радиуса круговой кривой. В пределах переходной кривой делают односкатный поперечный профиль (вираж) с наклоном к центру кривой на автомобильных дорогах или поднимают наружный рельс над внутренним (на железнодорожных линиях).

При вставке переходных кривых круговая кривая с каждого конца укорачивается на величину, равную половине длины переходной кривой. Радиус круговой кривой уменьшается на величину  $\rho$ , угол поворота уменьшается на величину, равную  $2\varphi$ .

Динамическое уравнение переходной кривой

$$\rho = \frac{C}{l}, \quad (92)$$

где  $C$  – постоянная (параметр) переходной кривой, равная  $C = LR$ ,  
 $l$  – удаление текущей точки кривой от ее начала.

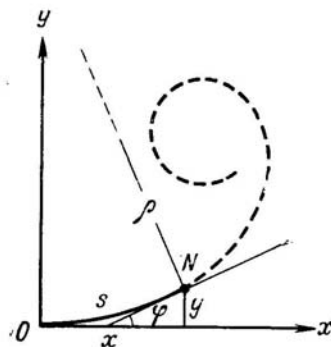


Рис. 32. Клотоида

Переходная кривая представляет собой клотоиду (радиальную спираль), она показана на рис. 32.

Уравнение клотоиды в полярных координатах

$$S^2 = 2C \cdot \varphi, \quad (93)$$

где  $\varphi$  – угол между осью абсцисс и касательной в текущей точке кривой;  
в прямоугольных координатах

$$\begin{aligned} x &= S \left( 1 - \frac{S^4}{40C^2} + \frac{S^8}{3456C^2} - \dots \right), \\ y &= \frac{S^3}{6C} \left( 1 - \frac{S^4}{56C^2} + \frac{S^8}{7040C^4} - \dots \right). \end{aligned} \quad (94)$$

На местности начало переходной кривой находят отложением величины  $L/2$  от начала или конца круговой кривой, а пикетажные значения по формулам  $ПКНПК_1 = ПКНК - L/2$ ;  $ПКНПК_2 = ПККК + L/2$ . (95)

Концы переходных кривых выносят на местность способом прямоугольных координат от соответствующих начал переходных кривых. Вычисление разбивочных элементов  $x$  и  $y$  выполняют по формулам способа прямоугольных координат для длины кривой равной  $L$  и радиуса круговой кривой.

*Вертикальные кривые.* При проектировании трассы на переломах продольного профиля разбивают вертикальные кривые (рис. 33). В их качестве могут выступать круговые кривые с большими радиусами.

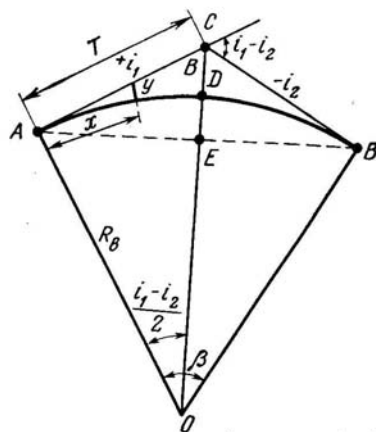


Рис. 33. Вертикальная кривая

Основные элементы вертикальной кривой:

$$K_B = R_B \cdot \beta;$$

$$B_B = R_B \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2};$$

$$B_B = \sqrt{T_B^2 + R_B^2} \approx \frac{T_B^2}{2R_B},$$

где  $\beta = \arctg(i_1 - i_2)$ .

В зависимости от категории дорог, наименьшие радиусы для автомобильных дорог могут быть:

- для выпуклых кривых  $R_{\min} = 25000 - 250$  м;
- для вогнутых кривых  $R_{\min} = 8000 - 1500$  м.

Детальную разбивку любой вертикальной кривой производят способом прямоугольных координат. Разбивку ведут через 10 метров. Абсциссы  $x$  определяют по пикетажу от начала вертикальной кривой, а ординаты  $y$  вычисляют по формуле  $y = x^2 / 2R_B$  и вводят в проектные высоты продольного профиля, прибавляя их в случае вогнутой кривой и вычитая при выпуклой кривой. Для разбивки вертикальных кривых могут быть использованы таблицы.

*Нивелирование трассы.* По пикетажным точкам и поперечным профилям, а также по установленным вдоль трассы постоянным и временным реперам производят техническое нивелирование.

Постоянные реперы устанавливают при закреплении трассы через каждые 20 – 30 км, а также в местах пересечения трассы существующих магистралей, вблизи переходов через крупные реки и горные препятствия, в населенных пунктах, на площадках станций. Дополнительно устанавливают временные реперы на расстоянии 2 – 3 км друг от друга, их закрепляют деревянными столбами. Все реперы должны располагаться вне зоны земляных работ. На каждый из них составляют абрис с привязкой пикетажу трассы и к местным предметам.

Техническое нивелирование производят в два нивелира, то есть двумя бригадами. Первым прибором нивелируют пикетажные и плюсовые точки, геологические выработки, временные и постоянные реперы. Вторым нивелируют только реперы, связующие точки, а также поперечные профили. Километровые пикеты и реперы обязательно нивелируют как связующие точки обоими приборами.

Одиное нивелирование вдоль трассы разрешается при длине трассы не более 50 километров. При нивелировании соблюдаются следующие требования:

- расстояние от нивелира до рейки 100 – 150 метров (при благоприятных условиях может быть до 200 метров);
- нивелирование выполняется по двухсторонним рейкам;
- если нивелирование ведется по связующим точкам через два пикета, то остальные пикеты определяются как промежуточные при одном взгляде на рейку (вычисление отметок этих точек ведется через горизонт инструмента).

Точность технического нивелирования по основной магистрали характеризуется невязкой замкнутого полигона или одиночного хода между исходными пунктами равной  $f_{\text{пред}} = 50 \text{ мм} \sqrt{L_{\text{км}}}$  и расхождением между суммами превышений, полученными из первого и второго нивелирования, которое не должно превосходить  $\Delta h_{\text{пред}} = 50\sqrt{L} \cdot \sqrt{2} \approx 70 \text{ мм} \sqrt{L_{\text{км}}}$ .

*Съемочные работы.* При полевом трассировании производят крупномасштабную (1:500, 1:1000, 1:2000) топографическую съемку для отдельных участков трассы. В равнинной и залесенной местности съемку производят по поперечным профилям.

Для съемки могут быть применены тахеометрическая, мензульная и наземная стереофотограмметрическая съемка.

Если площадь небольшая применяется мензульная съемка.

На крупных мостовых переходах и в горных районах используют наземную стереофотограмметрическую съемку.

Обычно съемку ведут узкой полосой вдоль трассы, максимальная ширина может составлять 150 – 200 метров по обе стороны от оси трассы.

Для некоторых линейных сооружений съемочные работы ведут полосой более 500 метров. Тогда прокладывают замкнутые теодолитные ходы, создают короткобазисные параллактические сети или сети микротриангуляции и от полученных точек ведут съемку тахеометрическим методом. При наличии фотопланов крупных масштабов съемочные работы не производятся, в этом случае на фотопланах обновляют и дополняют ситуацию, а где надо рисуют рельеф.

*Привязка трассы к пунктам геодезического обоснования.* Привязка трассы к пунктам геодезического обоснования необходима для вычисления координат углов поворота, определения абсолютных отметок точек, а также для контроля работ и повышения точности. Привязку к пунктам триангуляции или полигонометрии и к реперам нивелирной сети обязательно выполняют вначале, в конце и по всей трассе через определенные промежутки (через 20 – 30 км).

Точность геодезических работ по привязке должна быть не ниже точности геодезических работ при проложении трассы. Проект привязки трассы составляют в начальный период технических изысканий и уточняют после полевых обследований трассы. Если геодезические пункты удалены от трассы на расстояние до 3 км, то привязка производится через 25 км. Если пункты удалены на расстоянии от 3 до 10 км, то через 50 км. Привязку планируют так, чтобы обеспечить необходимую точность проложения теодолитно-нивелирной магистрали. Предельная невязка теодолитного хода может быть допущена 0,6 мм в масштабе плана.

Если пункты отсутствуют или значительно удалены от трассы, то через 20 – 30 сторон (не реже, чем через 50 км), производят астрономические определения азимутов или с помощью гиротеодолита с точностью 1'.

Для того, чтобы обеспечить необходимую точность изыскательских работ, необходимо, чтобы погрешности в определении высот пунктов не были более 10 см относительно реперов государственной геодезической сети. Предельные невязки нивелирных ходов не должны превышать  $\pm 20$  см.

Камеральная обработка полевых материалов выполняется по мере продвижения работ по трассе, составляются планы и продольные профили трассы на отдельные участки.

*Для более глубокого изучения теоретического материала по модулю № 2 можно воспользоваться литературой [2,3,5,8,12] из перечня учебно-методических материалов по дисциплине.*

## Лабораторный практикум

### Лабораторная работа № 9

#### Камеральное трассирование автомобильной дороги

**Исходные материалы:** топографическая карта масштаба 1: 25000 или 1: 10000.

**Задание:** запроектировать трассу автомобильной дороги (категория дороги указывается преподавателем) способом построения линии заданного уклона и составить продольный профиль.

Дорожные трассы должны удачно вписываться в ландшафт местности, трассу желательно располагать на землях, не имеющих народно-хозяйственной ценности. Проложение трассы в равнинных районах определяется контурными препятствиями, то есть ситуацией. При проектировании трассы стараться обходить контура и располагать вершины углов поворота приблизительно посередине контура или препятствия. В высотном отношении трассу ведут вольным ходом, то есть проектную линию ведут по характерным точкам местности вдоль намеченного направления.

При трассировании автомобильных дорог руководствуются параметрами, приведенными в табл. 26.

Таблица 26

Характеристики автомобильных дорог

Наименование	Категории дорог				
	I	II	III	IV	V
Наибольшие продольные уклоны, промилле	30	40	50	60	70
Наименьшие радиусы кривых в плане, м	1000	600	400	250	125
Наименьшие радиусы вертикальных кривых, м:					
– вогнутых	8000	5000	3000	2000	1500
– выпуклых	25000	15000	10000	5000	2500

Последовательность выполнения работы:

1. Построение линии "нулевых работ", то есть линии равных уклонов.

Линия строится на топографической карте раствором циркуля, равным заложению вдоль воздушной линии трассы, причем можно построить несколько вариантов линии нулевых работ. Линия нулевых работ обычно представляет собой весьма извилистую линию, поэтому ее спрямляют. При ее спрямлении необходимо помнить, что трассу ведут так, чтобы она огибала препятствия и вершины углов поворота располагались примерно посередине препятствий. Окончательный вариант трассы оформляется красным цветом на топографической карте (рис. 34).

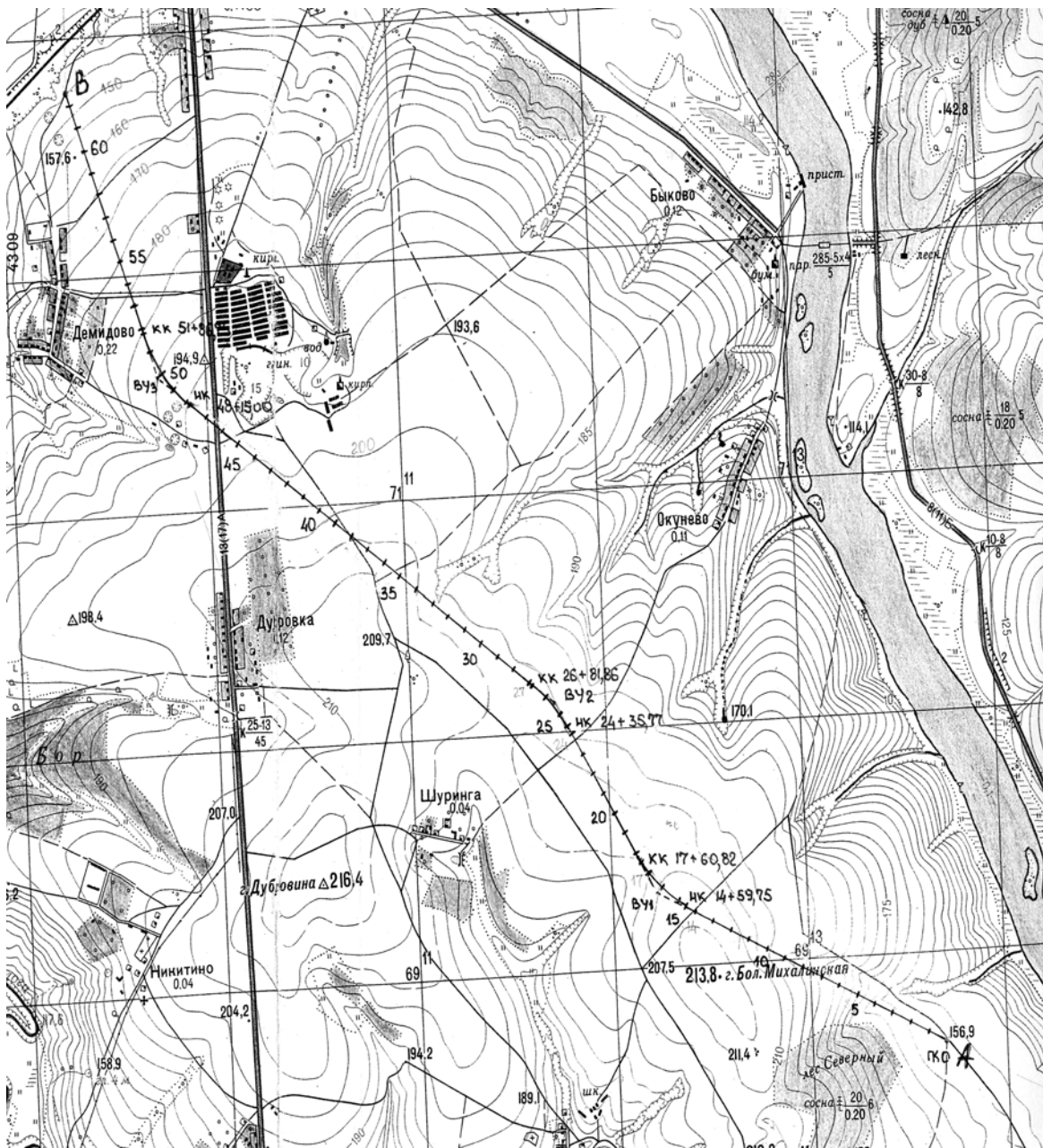


Рис. 34. Проект трассы

## 2. Контроль уклонов по прямолинейным участкам трассы

Уклоны подсчитывают для каждого участка по известной формуле и сравнивают с величиной допустимого уклона по заданной категории автодороги. Например, для первого участка от точки  $A$  (начало трассы) до вершины угла  $I$  ( $BV_1$ ) уклон равен  $i_1 = \frac{H_{BV_1} - H_A}{S_{A-BV_1}}$ , отметки точек и расстояние между ними (на местности) определяем по карте. Уклоны по участкам должны быть меньше допустимого значения по проектируемой категории автомобильной дороги.

## 3. Определение углов поворота, выбор радиусов круговых кривых и подсчет основных элементов кривых

Угол поворота  $\theta$  образуется продолжением предыдущего и нового направлений трассы. Углы поворота на карте можно измерить транспортиром с точностью  $0,5^\circ$ .

Радиусы круговых кривых выбирают в соответствии с категорией автодороги ( $R > R_{\min}$ ), причем желательно иметь такой радиус, чтобы кривая на карте не накладывалась на контура (что повлечет за собой вырубку лесов, садов, снос жилых домов и т. д.).

По величине угла поворота трассы  $\theta$  и радиусу кривой  $R$ , длина которого назначается в зависимости от местных условий и технической категории дороги, определяют основные элементы круговой кривой: тангенс  $T$  (расстояние от  $BV$  до начала или конца кривой); кривую  $K$  (длина дуги, вписываемая между прямыми соседними участками трассы); домер  $D$  (разница между суммой двух тангенсов и длиной кривой) и биссектрису  $B$  (расстояние от вершины угла до середины кривой). Основные элементы вычисляют по формулам или по таблицам Митина.

Вычисление основных элементов производим с точностью до целого сантиметра.

## 4. Определение пикетажных значений главных точек кривых и составление ведомости углов поворота, прямых и кривых

Прежде всего, необходимо определить пикетажные значения вершин углов поворота, используя расстояния от начала трассы до первой вершины, между вершинами и от последней вершины до конечной точки трассы:

$$ПКВУ_1 = \frac{S_{A-BV_1}}{100}, \text{ например } ПКВУ_1 = \frac{1250,00}{100} = ПК12 + 50,00;$$
$$ПКВУ_2 = \frac{S_{A-BV_1} + S_{BV_1-BV_2} - D_1}{100};$$



$$ПКВУ_3 = \frac{S_{A-BY_1} + S_{BY_1-BY_2} + S_{BY_2-BY_3} - D_1 - D_2}{100}; \text{ и т. д.}$$

$$ПКВУ_n = \frac{S_{A-BY_1} + S_{BY_1-BY_2} + S_{BY_2-BY_3} + \dots + S_{BY_{n-1}BY_n} - D_1 - D_2 - \dots - D_{n-1}}{100}.$$

Вычисление пикетажных значений главных точек кривых (начал, середин и концов круговых кривых) производят по формулам (90) и (91).

Пикетажные значения принято вычислять в столбик, например:

$$\begin{array}{r} \text{ПК ВУ.....ПК 12 + 50,00} \\ \text{- Т .....} \quad \underline{\quad 3 \quad 26,29} \\ \text{ПК НК.....} \quad \text{ПК 9 + 23,71} \\ \text{+ К .....} \quad \underline{\quad 5 \quad 63,08} \\ \text{ПК КК.....} \quad \text{ПК 14 + 86,79} \\ \text{ПК НК.....} \quad \text{ПК 9 + 23,71} \\ \text{+ 1/2 К .....} \quad \underline{\quad 2 \quad 81,54} \\ \text{ПК СК .....} \quad \text{ПК 12 + 04,25} \end{array}$$

Таким же образом контролируем правильность вычисления пикетажных значений главных точек кривых. Затем составляется ведомость (табл. 27).

Таблица 27

Ведомость углов поворота, прямых и кривых

№ точки	Углы поворота		Основные элементы круговых кривых, м					Пикетажные значения		Расст. между верш. S, м	Прям. вставка П, м
	Пикетаж ВУ	$\theta, \text{ }^\circ$	R	T	K	B	D	НК	КК		
A 1 . . n											
$\Sigma$				$\Sigma T$	$\Sigma K$		$\Sigma D$			$\Sigma S$	$\Sigma П$

Обязательно делаем контроль по ведомости:

$$1) 2 \sum T - \sum K = \sum D,$$

$$2) \sum \Pi + \sum K = \sum S - \sum D = L_{\text{ТР}}.$$

5. Разбивка пикетажа по трассе, построение кривых по главным точкам кривых.

Пикетаж разбивается от начала трассы (точка *A* соответствует нулевому пикету *ПК 0*), через интервалы на местности, равные 100 м. При разбивке пикетов после вершины круговой кривой учитывается величина домера *D*.

Разбивка пикетажа по трассе выполняется на ксерокопии участка топографической карты (пример на рис. 34).

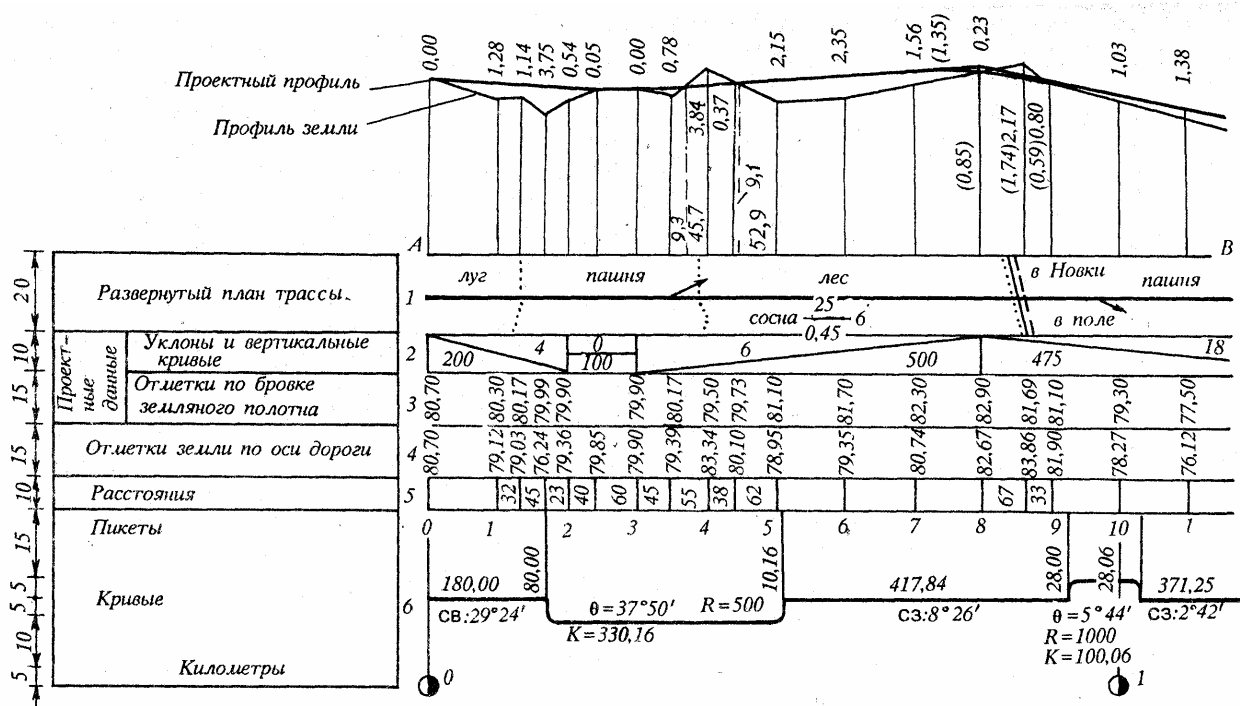


Рис. 35. Продольный профиль трассы

### 6. Составление продольного профиля трассы автодороги

Продольный профиль строится по всей трассе на миллиметровой бумаге. Масштаб горизонтальный 1:10000, масштаб вертикальный 1:1000 (или крупнее). Пример продольного профиля представлен на рис. 35.

Продольный профиль составляют на миллиметровой бумаге. Составление начинают с вычерчивания его сетки согласно установленному образцу для данного вида сооружений.

Первой заполняют графу 5. В ней вертикальными отрезками обозначают пикеты, а их номера подписывают ниже. Между пикетами отмечают плюсовые точки и подписывают расстояния между ними (заполняется черным цветом).

В графу 4 заносят отметки земли (фактические отметки) пикетов и плюсовых точек, которые определяют по карте путем интерполирования по горизонталям с точностью до 0,01 м (заполняется черным цветом).

В графе 6 показывают условный план трассы. Начало и конец каждой кривой отмечают вертикальной чертой по их пикетажным значениям. Кривые участки изображают условными дугами, выпуклостью вниз при повороте трассы влево и выпуклостью вверх при повороте вправо, здесь же указывают значения  $\theta$ ,  $R$  и  $K$ . Для прямых вставок указывают их длину и азимут (румб).

По середине графы 1 горизонтальной линией отображают трассу, а вершины углов поворота отмечают стрелками. Затем сюда же переносят ситуацию вдоль трассы с топографической карты (заполняется черным цветом).

При построении профиля земли на вертикалях (пикеты, плюсовые точки) отмечают точки, соответствующие отметкам земли в принятом вертикальном масштабе. Отметку условного горизонта (линии  $AB$ ) выбирают так, чтобы линия профиля размещалась выше ее на 5 – 10 см.

При выборе проектного профиля линейного сооружения руководствуются определенными техническими условиями. Например, если проектный продольный профиль автомобильной дороги должен проходить через заданные точки в местах примыкания к существующим дорогам, мостам, то должна предусматриваться насыпь для предотвращения дороги от затопления на низменных участках и снеговых заносов на других участках. При резко пересеченном рельефе линию проектного продольного профиля предусматривают в выемках на местах возвышений и на насыпях над понижениями земной поверхности, при этом стремятся к минимальным объемам работ по выемке грунта и строительству насыпей.

Нанесение на профиль проектной линии начинают от ПК0 с заданной отметкой. Для этого намечают конечную точку участка с постоянным уклоном. В графе 2 вертикальными отрезками отмечают начало и конец каждого участка постоянного уклона, а диагональю – направление уклона (заполняется красным цветом). Под диагональю указывают длину участка, а над ней – окончательный уклон.

Предварительный уклон подсчитывают по формуле

$$i' = (H'_k - H_H) / s, \quad (96)$$

полученное значение уклона округляют до целых промилле и записывают в графу 2.

Окончательная (проектная) отметка конца участка вычисляется по формуле

$$H_K = H_H + i \cdot s, \quad (97)$$

а проектные отметки промежуточных точек данного участка – по формуле

$$H_i = H_H + i \cdot s_i. \quad (98)$$

Вычисленные проектные отметки заносят в графу 3 продольного профиля (красным цветом).

Далее вычисляют рабочие отметки как разности проектных отметок и отметок земли для каждой точки трассы. Над линией проектного профиля записывают положительные рабочие отметки (высоты насыпи), под линией профиля – отрицательные (глубины выемки), но без знака минус.

Точки нулевых работ находятся в местах, где проектный профиль пересекается с линией земли. Их рабочие отметки равны нулю. Местоположение точек нулевых работ прочерчивают вертикальными штриховыми линиями. Для них вычисляют расстояния до ближайших пикетных или плюсовых точек и записывают синим цветом. Отметки точек нулевых работ определяют по формуле (98).

Построение на профиле переходных и вертикальных кривых не предусматривается.

#### Лабораторная работа № 10

#### Детальная разбивка круговых кривых

Студентам предлагается выполнить детальную разбивку кривых тремя способами: способом прямоугольных координат, способом углов и еще одним (по собственному выбору).

Исходными данными будут являться круговые кривые запроектированные по трассе автомобильной дороге в предыдущей лабораторной работе.

Интервал детальной разбивки кривой выбирается в зависимости от ее радиуса (5, 10 или 20 м).

Если круговая кривая имеет большую длину (очень много разбивочных точек), то в учебных целях можно выполнить разбивку через 50 м.

Для каждой круговой кривой необходимо вычислить элементы разбивки, формулы для их определения приведены в опорном конспекте лекций ранее, и составить разбивочные чертежи на миллиметровой бумаге (рис. 36 и 37).

Масштаб разбивочных чертежей выбирается для каждой кривой лично студентом (рекомендуется – 1:3000 и крупнее).

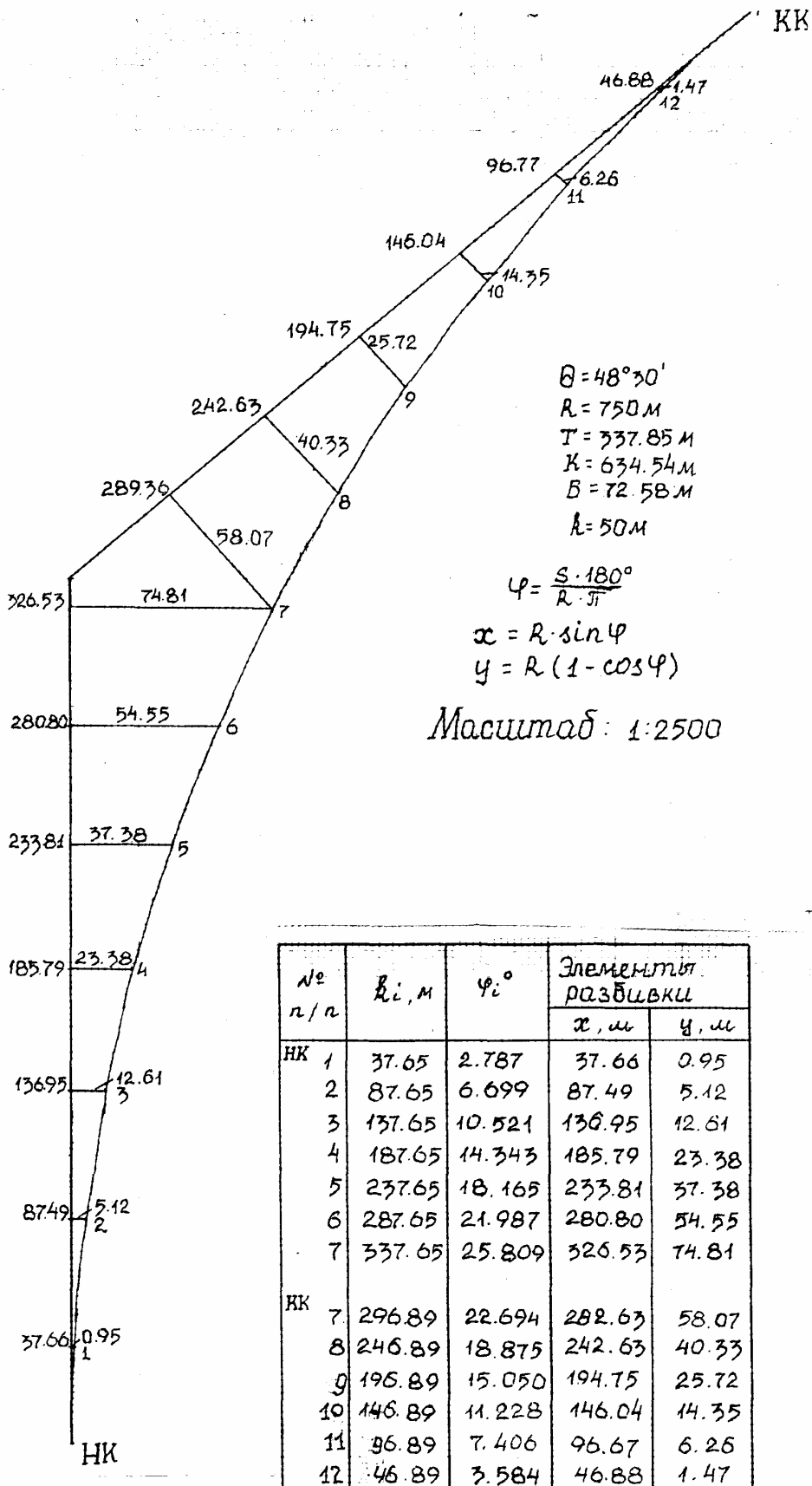


Рис. 36. Детальная разбивка кривой способом прямоугольных координат

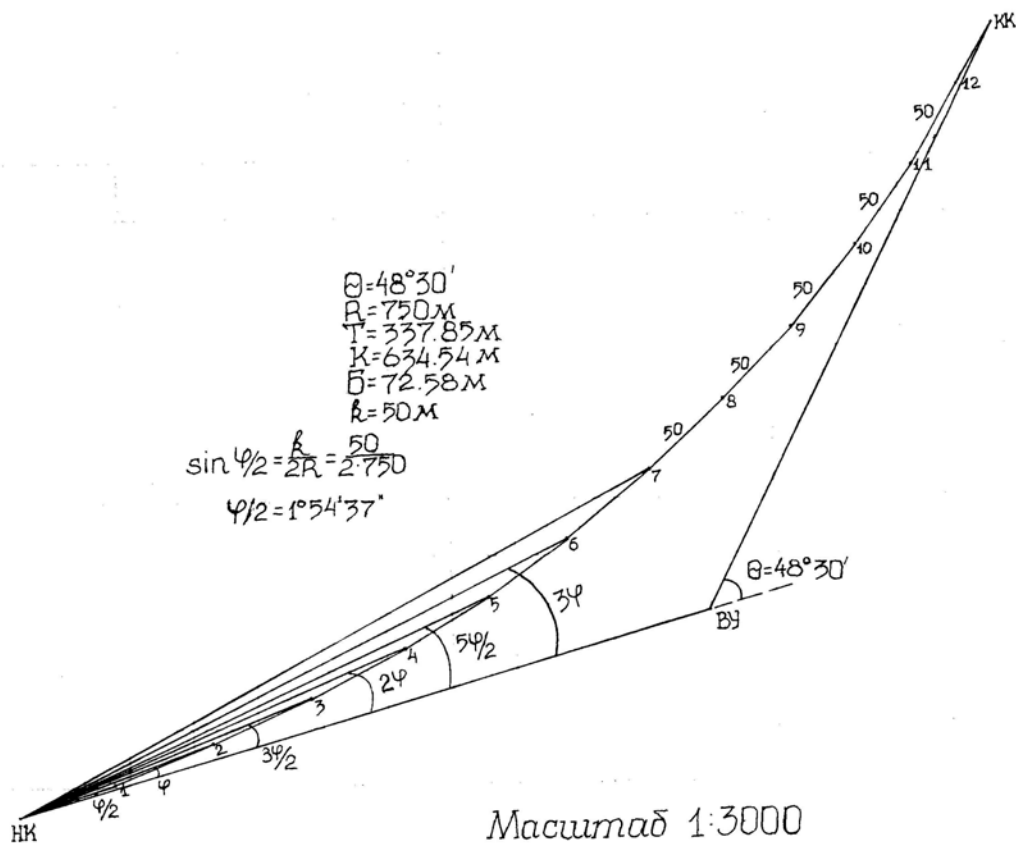


Рис. 37. Детальная разбивка кривой способом углов

### Лабораторная работа № 11

#### Вынос в натуру кривой несколькими способами

Данная работа выполняется в полевых условиях (весной на улице). Разбивка кривой осуществляется на местности бригадой из трех человек. Для разбивки предлагаются небольшие кривые, чтобы было 4 – 5 разбивочных точек (табл. 28). Планируется выполнить разбивку способом прямоугольных координат, а контроль – способом углов.

В комплект геодезических приборов, необходимых для выполнения разбивочных работ входят: теодолит Т30, штатив, две вешки, рулетка (50 м) или мерная лента со шпильками. Перед началом разбивки теодолит обязательно проверяют.

Таблица 28

Варианты круговых кривых

№ варианта	Угол поворота	Радиус	№ варианта	Угол поворота	Радиус
1	30	100	9	22	120

2	24	100	10	20	130
3	28	120	11	32	50
4	35	50	12	25	110
5	30	90	13	18	140
6	25	95	14	28	100
7	33	80	15	26	60
8	27	100	16	24	50

Данная лабораторная работа позволяет студентам приобрести практические навыки разбивочных работ.

### Вопросы и задания для самопроверки

1. Охарактеризуйте трассировочные работы.
2. Что такое трасса?
3. Что такое план трассы?
4. Что такое продольный профиль трассы?
5. Изобразите графически дорожную трассу в плане и профиле.
6. Из каких участков состоит трасса в плане и продольном профиле?
7. Какие масштабы общеприняты для составления продольного профиля?
8. Для чего разбивают по трассе поперечные профили?
9. Дайте характеристику всем категориям трасс.
10. Охарактеризуйте оптимальный вариант трассы с точки зрения известных Вам категорий трасс.
11. Назовите плановые параметры трассирования.
12. Назовите высотные параметры трассирования.
13. Какие характеристики задаются нормативными документами при проектировании трасс линейных сооружений?
14. С использованием каких материалов выполняют камеральное трассирование?
15. Что предполагает полевое трассирование?
16. Для какой местности характерно проектирование трасс "вольным" и "напряженным" ходом?
17. Какие параметры трассирования являются определяющими при проектировании самотечных трубопроводов, каналов, сетей канализации?
18. Какие параметры трассирования являются определяющими при проектировании напорных трубопроводов (газо- и нефтепроводов) и дорожных трасс?
19. Какие параметры трассирования являются определяющими при проектировании линий электропередач и связи?
20. Назовите основные правила трассирования в равнинной местности.
21. Каковы особенности проектирования трасс в горной местности?

22. Состав работ при камеральном и полевом трассировании.
23. В чем заключается способ попыток, используемый при проектировании трасс?
24. В чем заключается способ построения линии заданного уклона, используемый при проектировании трасс?
25. Как определяются углы поворота в камеральном и полевом трассировании?
26. Какое геодезическое построение используют для определения координат точек трассы?
27. Какие геодезические приборы и приспособления используются в полевом трассировании?
28. Какова точность измерения углов и линий в полевом трассировании?
29. Какие знаки имеет поправка в расстояние при измерении сторон хода по трассе и при разбивке пикетажа?
30. Где может применяться ватерпасовка?
31. Охарактеризуйте радиусы круговой и переходной кривой.
32. Сколько раз на трассе производится разбивка пикетажа?
33. Какие точки называют главными точками кривой?
34. Назовите основные элементы круговой кривой.
35. Как на местности найти местоположение главных точек кривой: начала, середины и конца кривой?
36. Назовите основные элементы переходной кривой.
37. Как на местности найти местоположение начал и концов переходных кривых?
38. Что происходит с радиусом круговой кривой при вписывании переходной кривой?
39. Какова точность линейных измерений при разбивке пикетажа?
40. С помощью каких приборов выполняют разбивку пикетажа?
41. Где используется домер?
42. В чем состоят съемочные работы на трассах линейных сооружений?
43. Какова ширина полосы съемки по трассе?
44. Какие методы съемки используют при трассировании?
45. Что такое пикетажный журнал?
46. Когда вместо пикетажного журнала составляется абрис?
47. Какой способ применяется при выносе пикетов на кривую?
48. Какие точки подлежат нивелированию при трассировании?
49. Назовите элементы вертикальной кривой.

*В качестве контроля знаний и умений по четвертому модулю рекомендуется устный или письменный опрос (студенту предлагается 10 – 12 вопросов). По модулю № 4 планируется защита выполненных лабораторных работ (лично каждым студентом).*



## Модуль №5 «Геодезические работы при изысканиях, проектировании и строительстве отдельных видов сооружений»

### Дидактические цели

Студент должен знать:	Студент должен уметь:
<p>Состав работ при изысканиях, проектировании и строительстве:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– мостовых переходов;</li> <li>– магистральных трубопроводов;</li> <li>– линий электропередач;</li> <li>– аэропортов;</li> <li>– гидротехнических сооружений, каналов, мелиоративных систем;</li> <li>– дорожно-транспортных сооружений.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– проектировать геодезическое обоснование;</li> <li>– выполнять все виды геодезических работ на трассах линейных сооружений;</li> <li>– составлять программу производства геодезических работ (ППГР).</li> </ul>

### Учебно-информационный блок

Тема занятия	Тип занятия	Вид (форма) занятия	Кол-во часов
<b>Геодезические работы при изысканиях, проектировании и строительстве отдельных видов сооружений</b>			
<p>УЭ – 1. Мостовые переходы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбор места перехода;</li> <li>– разбивочная основа;</li> <li>– методы передачи высот через водотоки;</li> <li>– съемочные и разбивочные работы.</li> </ul>	<p>Усвоение научных знаний Углубление и систематизация знаний</p>	Лекция	3
		Самост. работа	2
<p>УЭ – 2. Магистральные трубопроводы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– классификация и основные сооружения трубопроводов;</li> <li>– требования к проектированию;</li> <li>– трассировочные, съемочные и разбивочные работы.</li> </ul>	<p>Усвоение научных знаний Углубление и систематизация знаний</p>	Лекция	2
		Самост. работа	2
<p>УЭ – 3. Линии электропередач, связи, кабельные сети:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выбор трассы;</li> <li>– габариты приближений;</li> <li>– построение разбивочной основы;</li> <li>– съемочные и разбивочные работы.</li> </ul>	<p>Усвоение научных знаний Углубление и систематизация знаний</p>	Лекция	2
		Самост. работа	2
		Реферат	10

Тема занятия	Тип занятия	Вид (форма) занятия	Кол-во часов
УЭ – 4. Аэропорты: – генплан аэропорта; – выбор площадок; – геодезическое обоснование; – съемка аэродромных площадок; – трассирование и съемка воздушных подходов.	Усвоение научных знаний	Лекция	3
	Углубление и систематизация знаний	Самост. работа	2
УЭ – 5. Гидротехнические сооружения: – виды сооружений; – состав работ; – особенности проектирования каналов, мелиоративных систем.	Усвоение научных знаний	Лекция	4
	Углубление и систематизация знаний	Самост. работа	2
УЭ – 6. Дорожно-транспортные сооружения: – поперечное строение автомобильной и железной дорог; – разбивочные работы.	Усвоение научных знаний их систематизация	Самост. работа (доклад)	7
<i>Всего по модулю: 41 час</i>			
УЭ–К. Контроль знаний по модулю № 5: <b>опрос, реферат, доклад</b>			

### **5.1. Изыскания мостовых переходов**

Мостовые переходы через большие водотоки представляют собой сооружение, состоящее из:

- моста, включающего в себя опоры и пролеты строения;
- подходов к мосту – земляных дамб;
- системы регулирования для плавного и безопасного пропуска водного потока.

В состав работ при изысканиях мостовых переходов входят:

*1. Топографо-геодезические изыскания:*

- трассирование по всем вариантам трассы для выбора оптимального места мостового перехода;
- съемка участка мостового перехода для составления генерального плана;
- определение длины мостового перехода, привязка опор к пикетажу трассы.

*2. Инженерно-геологические изыскания:*

- крупномасштабная инженерно–геологическая съемка района перехода;
- детальная геологическая разведка места перехода, составление геологического профиля;
- разведка карьеров строительных материалов.

### *3. Гидрометрические измерения:*

- определение высот характерных уровней воды;
- измерение скоростей течения;
- определение живого сечения, уклонов и расход воды;
- наблюдения на морфометрических створах.

Выбор оптимального места устройства мостового перехода выполняют на основе топографо-геодезической и геологической информации. Выбранный мостовой переход должен хорошо увязываться с общим направлением трассы и удовлетворять следующим требованиям:

а) ось перехода располагают примерно перпендикулярно к направлению течения реки (в пределах  $5 - 10^\circ$ ), в особых случаях допускается косое пересечение;

б) трасса должна пересекать реку в самой узкой и возвышенной части поймы, вдали от перекатов, избегая отмелей, островов, мест с крутыми поворотами русла, притоков других рек и ручьев.

в) благоприятные геологические условия:

- неглубокое залегание коренных пород;
- пологий рельеф на берегах;
- русло реки должно быть устойчивым и постоянным во времени;
- отсутствие оползневых и карстовых явлений.

Для выбора оптимальной трассы необходимо иметь топографические планы масштабов  $1:10000 - 1:5000$ , на которые нанесены изменения, произошедшие с момента съемки до момента проведения изысканий.

Съемка участка мостового перехода для обеспечения проектирования и составления ситуационного плана выполняется в масштабе  $1:10000 - 1:5000$  тахеометрическим способом или же план составляется в камеральных условиях.

Для проектирования мостового перехода на стадии рабочих чертежей необходим детальный план в масштабе  $1:2000 - 1:1000$  с высотой сечения  $h = 0,5$  м. В съемку включают коренное русло и прилегающую пойму до отметки, превышающей на  $1 - 2$  метра расчетный уровень высоких вод. Применяют тахеометрическую съемку или наземную стереофотограмметрическую съемку.

Топографические съемки участка мостового перехода включают и съемку подводного рельефа. Промеры глубин зимой выполняют со льда, летом – с лодки. В каждой промерной вертикали определяют глубину реки, плановое положение вертикали, отметку уровня воды в момент промера на водомерных постах. Глубину измеряют рейкой или речным эхолотом. Плановое положение промерных вертикалей определяют засечками с базиса, расположенного на берегу.

При рисовке рельефа горизонтали после линии уреза воды продолжают без изломов и смещений в виде изобат.

Если мост проектируется в населенном пункте, на пересечении транспортных или подземных коммуникаций, необходима съемка в масштабе 1:500. Съемку по обоим берегам ведут в единой условной системе координат и высот. Ось моста принимают за одну из осей условной системы координат. В процессе изысканий определяют длину мостового перехода между двумя точками, расположенными на противоположных берегах в незатопляемых местах. Этот параметр является исходным для проектирования моста. Длина мостового перехода измеряется светодальнометром, тахеометром или параллактическим способом.

При использовании параллактической полигонометрии базис располагают по возможности посередине реки на острове или на льду (рис. 38). Измеряют базис  $b$  и параллактические углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ .

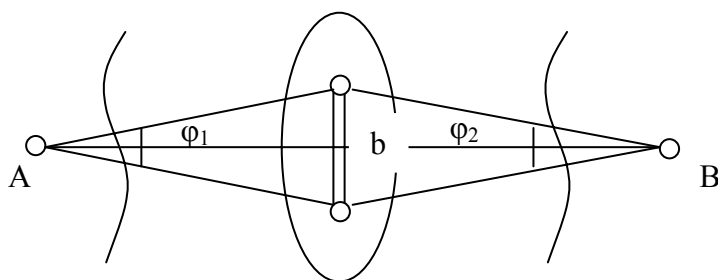


Рис. 38. Определение длины мостового перехода параллактическим методом

Длину мостового перехода вычисляют по формуле

$$S = \frac{b}{2} \cdot \left( \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right). \quad (99)$$

Точность определения длины мостового перехода зависит от конструкции моста, погрешность не должна превышать 2 – 5 см.

Передачу высот через водотоки можно осуществить в зимнее время нивелированием по льду, двойным геометрическим нивелированием, тригонометрическим нивелированием.

*Нивелирование по льду в зимнее время.* Чтобы обеспечить необходимую точность определения высот, равную  $m_p = 3 - 5$  мм (III класс), нивелирование по льду производят одновременным наблюдением всей ширины реки несколькими нивелирами. Трассу разбивают на участки для каждого нивелира по 150 – 200 м, вмораживая в лед кольца для штативов и реек. По сигналу на всех участках реки наблюдатели одновременно берут отсчеты на задние, передние и снова задние рейки. Делают несколько приемов, и по расхождениям между ними судят о точности результатов нивелирования.

*Двойное геометрическое нивелирование* является основным методом. На обоих берегах примерно на одной высоте закладывают реперы (1 и 2) так, чтобы визирный луч проходил не ниже, чем 2 – 3 метра над водой, и в 10 – 20 метрах от них выбирают станции для нивелира  $J_1$  и  $J_2$ . Схема двойного нивелирования показана на рис. 39.

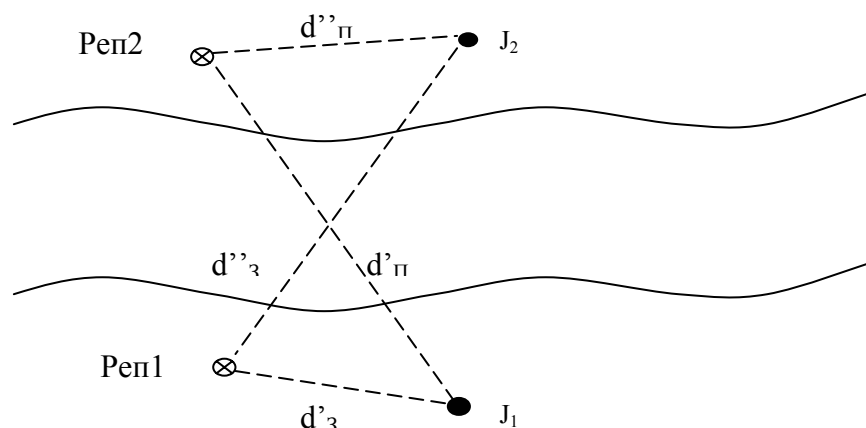


Рис. 39. Схема двойного геометрического нивелирования

При выборе станций на берегах реки важно соблюдать равенство расстояний:  $d_3' = d_{п}''$ ;  $d_3'' = d_{п}'$ .

Поступают следующим образом: установив нивелир в точке  $J_1$ , берут отсчет  $З'$  по ближайшей задней рейке, установленной на репере, затем меняют фокусировку и берут отсчет по рейке установленной на репере 2 ( $П'$ ). Затем прибор осторожно снимают, чтобы не сбить фокусировку, перевозят на другой берег. Установив нивелир на станции  $J_2$ , не меняя фокусировку, берут отсчет  $З''$  по дальней рейке, и затем – отсчет по ближайшей рейке  $П''$ . Число приемов зависит от ширины реки и точности определения превы-

шения. Отсчеты по дальней рейке производят с помощью передвижных щитков с утолщенными штрихами.

Превышения равны разности отсчетов по рейкам:  $h_1 = 3' - П'$ ;  
 $h_2 = 3'' - П''$ , окончательное превышение равно среднему значению

$$h = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Из-за нарушения равенства расстояний до передней и задней реек превышения будут искажены влиянием кривизны Земли и рефракции, а также параллельностью визирной оси трубы и оси уровня. Поэтому нужно, чтобы не изменилась величина угла  $i$  у прибора. Каждый прием необходимо проводить в короткое время, желательно в пасмурную погоду. Для ослабления рефракции двойное нивелирование производят одновременно двумя нивелирами с противоположных берегов, меняя приборы местами.

*Тригонометрическое нивелирование.* Для передачи высот этим методом зенитные расстояния измеряют в период спокойных изображений точными теодолитами (Т1, Т2). Наблюдения выполняют в прямом и обратном направлениях одновременно двумя приборами (рис. 40).

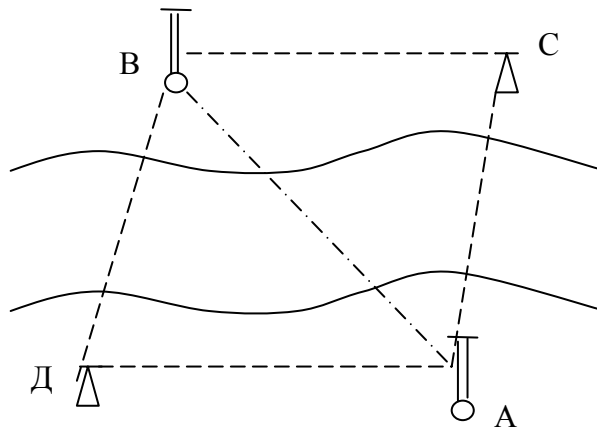


Рис. 40. Схема тригонометрического нивелирования

Точки  $A$  и  $B$ , между которыми передается высота, оборудованы как реперы. Теодолиты и рейки, с укрепленными на них марками с утолщенными штрихами, помещают в вершинах параллелограмма. Желательно, чтобы  $S_{AD} \approx S_{BC}$ , и разница в длинах была не более 3 метров.

Рейки устанавливают вертикально и укрепляют растяжками.

Чтобы определить место зенита  $M_z$  теодолита и установить на вертикальном круге отсчет  $90^\circ + M_z$ , одновременно на обоих берегах наводят зрительную трубу на ближайшую рейку и производят отсчет. Этот отсчет и будет соответствовать высоте прибора (горизонт инструмента  $i$ ) над ре-

пером. Зенитные расстояния измеряют на утолщенные штрихи дальней рейки при  $KП$  и  $KЛ$ , выполняя 2 – 3 приема.

Закончив измерения на одном берегу, теодолиты перевозят через реку и меняют местами. Наблюдения с противоположного берега начинают на дальние рейки и заканчивают определением высот приборов.

Превышение будет равно

$$h = S_{AB} \cdot \operatorname{tg} \frac{Z_2 - Z_1}{2} + \frac{l_1 + i_1}{2} - \frac{l_2 + i_2}{2}, \quad (100)$$

где  $Z_1, Z_2$  – зенитные расстояния;  $i_1, i_2$  – высота инструмента;  $l_1, l_2$  – высота визирных целей над меткой рейки.

*Гидростатическое нивелирование.* Точная передача высоты через водные преграды осуществляется методом гидростатического нивелирования.

По дну водотока прокладывается прочный шланг, который наполняют водой под большим давлением. В конце шланга вставляют стеклянные трубки и закрепляют на береговых столбах (рис. 41). На расстоянии одной нивелирной станции от столбов в устойчивых местах закладывают реперы.

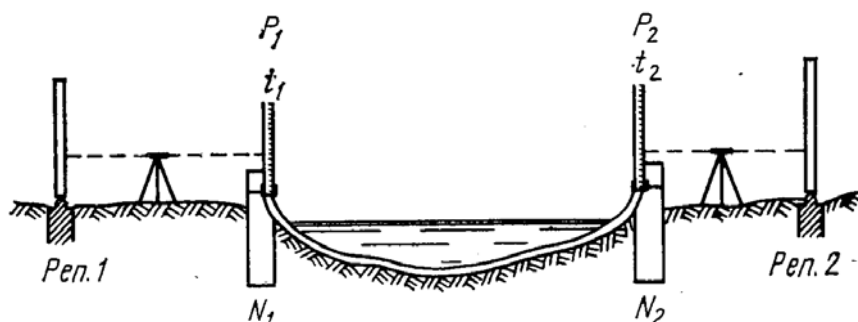


Рис. 41. Схема гидростатического нивелирования

Нивелируют двумя нивелирами. Наблюдение ведут через определенные интервалы времени несколько раз. За окончательное превышение принимают среднее из многих измерений.

В благоприятных условиях этот метод обеспечивает передачу отметки с точностью в несколько миллиметров.

*Построение мостовой разбивочной основы* осуществляют путем создания мостовой триангуляции, линейно-угловой сети или полигонометрии.

Разбивочную сеть создают в частной системе координат ось  $X$  – ось мостового перехода. Координаты одного из пунктов, лежащих на оси, принимают за начало координат. Точность определения положения пунктов разбивочной основы относительно пункта, принятого за исходный, равна 6 мм (предельная ошибка).

Мостовая триангуляция создается в виде сдвоенного геодезического четырехугольника (рис. 42, а), причем желательно иметь  $b_1 \approx b_2 \approx 1/2$  и угол при диагонали  $\beta \approx 27^\circ$

Наиболее удобным является четырехугольник с продвигом, равным  $b/2$  (рис. 42, б). Также при наличии на реке островков может использоваться сеть мостовой триангуляции, изображенная на рис.42, в.

Чтобы уменьшить влияние ошибок за центрирование и редукцию, угловые измерения выполняют в несколько серий, после каждой серии вновь центрируют теодолит и марки. Уравнивание производят любым строгим способом.

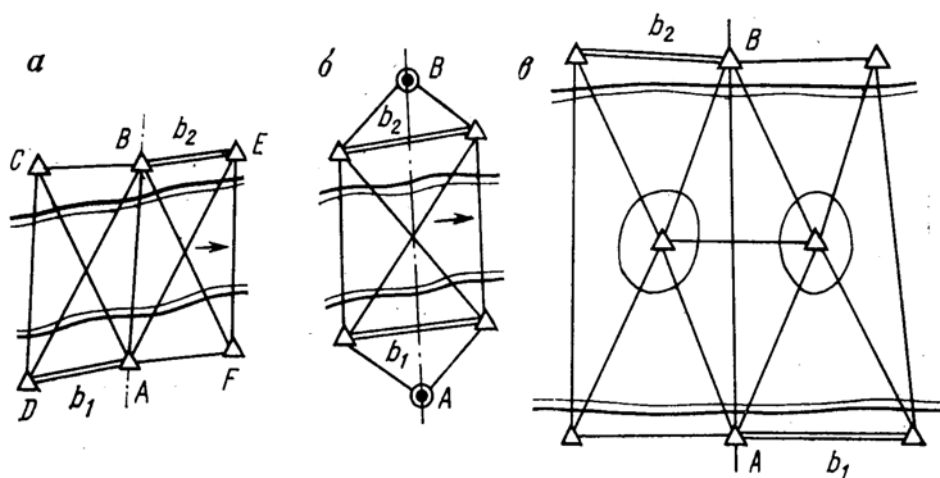


Рис. 42. Схемы мостовой триангуляции

Линейно-угловые сети позволяют повысить точность конечных результатов и исключить из программы направления, наиболее подверженные рефракции. Взаимная видимость между пунктами обеспечивается без постройки высоких знаков. При сравнительно небольшом объеме линейных и угловых измерений сеть обладает достаточной точностью и высокой маневренностью. Сеть уравнивается параметрическим способом, так как независимо от числа связей число нормальных уравнений не увеличивается.

Организуется сеть из базовых треугольников (рис. 43), в которой все семь сторон измеряются светодальномером и все восемь углов – теодолитом Т2 или Т5.

Береговые стороны и направления не измеряются.

Полигонометрия. При строительстве моста на сравнительно сухой пойме сеть создается в виде полигонов. Почти все пункты в такой сети являются узлами. В полигонах, в которых две стороны, проходящие над водной поверхностью, пересекаются; измеряют либо левые, либо правые уг-



лы. Если стороны измерять с точностью не более 2 – 3 см, а углы – 2 – 3", тогда погрешность взаимного положения пунктов не превысит 10 мм. Может использоваться и сочетание перечисленных методов.

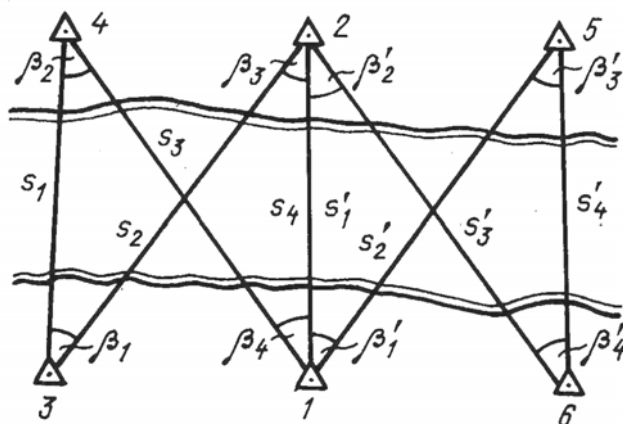


Рис. 43. Мостовая сеть из базовых треугольников

## 5.2. Изыскания трубопроводов

Магистральные трубопроводы – это сооружения, предназначенные для транспортирования на дальние расстояния нефти, газа и воды. В их состав входят:

- 1) подводящие трубопроводы или ответвления местного значения;
- 2) головные сооружения (насосные и компрессорные станции);
- 3) промежуточные станции (по трассе через 80 – 100 км);
- 4) линейные сооружения – трубопроводы диаметром  $d = 500 - 2000$  мм с колодцами через 5 – 10 км и переходами через водные препятствия, ущелья, дороги, магистрали.

Вдоль трассы трубопровода для удобства эксплуатации прокладывают телефонную линию и грунтовую дорогу.

*Требования к проектированию.* Трубопровод укладывают на глубину не менее 0,8 м до верха трубы, а при переходе через водные препятствия – не менее 0,5 м от уровня возможного размыва дна. Уклоны трубопровода малого диаметра проектируют приблизительно параллельно существующему рельефу местности, поэтому для правильного определения длины трубопровода пикетаж разбивают по наклонной местности. По наклонным расстояниям составляют и продольный профиль. План трассы строят по горизонтальному положению линий.

Трубопроводы большого диаметра проектируют в плане и в профиле по расчетным параметрам и уже не параллельно уклону местности. Поэтому пикетаж разбивается по горизонтальным проложениям.

Радиус горизонтальных кривых (круговых и переходных) назначают из условия  $R(m) \geq 0,9 D_n$  (мм); где  $D_n$  – наружный диаметр трубопровода в миллиметрах.

Исходным этапом при изысканиях трубопровода является определение на местности местоположения начальных и конечных пунктов транспортировки.

Начальный пункт – площадка головных сооружений.

Конечный пункт – например, нефтеперерабатывающий завод или перевалочная база или нефтебаза.

После выбора начальных и конечных пунктов приступают к изысканиям кратчайшей трассы трубопровода, удовлетворяющей техническим требованиям и имеющей минимальные затраты на строительство.

Первоначально варианта трассы намечают по топографической карте, стремятся приблизить трассу к уже имеющимся железным и автомобильным дорогам.

Вдоль вариантов трассы проводят маршрут аэрофотосъемку масштаба 1:10000 – 1:2000, разбивают геодезическое обоснование и выполняют планово-высотную привязку и дешифрирование снимков. Одновременно проводится инженерно-геологическая съемка, с целью выявления заболоченных, засоленных или загрязненных сточными водами участков.

По составленным фотопланам масштаба 1:5000 – 1:10000 и по материалам геодезической съемки намечают наиболее выгодную трассу.

На полевом этапе изысканий уточняют положение трассы на местности и закрепляют ее основные точки, выбирают место переходов и площадки станций. Трассу располагают вдоль участков со спокойным рельефом и грунтами, легко поддающимися разработке, учитывают коррозионность грунтов и уровень грунтовых вод.

Лучше всего трубопровод располагать по пологому водоразделу параллельно проезжим дорогам с углами поворота до  $30^\circ$ .

От населенного пункта трасса должна проходить не ближе 200 – 300 метров. Для безопасности нефтепровод трассируют по отметкам ниже, а газопровод выше населенного пункта.

Полоса отвода вдоль трассы устанавливается шириной 15 – 20 метров, в лесу делают просеки шириной 12 метров. Если трубопровод уклады-

вают в две нитки, то разрыв между ними 10 метров, и соответственно расширяется полоса отвода.

Для составления рабочих чертежей проводится полевое трассирование с измерением и закреплением углов поворота, разбивкой и нивелированием пикетажа, съемкой пересечений и переходов.

Съемка участков перехода через реки и площадок головных и промежуточных станций соответственно выполняют в масштабах 1:500 – 1:1000 с  $h = 0,5$  м, в этих масштабах составляют и планы съемки.

### 5.3. Изыскания воздушных линий электропередач

Линии электропередач (ЛЭП) делят на *кабельные* (подземные) и *воздушные*.

Кабельные линии дорогостоящие, их прокладывают только в населенных пунктах.

Передача тока высокого напряжения на значительные расстояния производится по воздушным линиям.

Воздушные линии состоят из опор, провода и изоляторов. Опоры бывают анкерные и промежуточные. Расстояния между соседними промежуточными опорами (пролет) в зависимости от напряжения может быть 200 – 450 м, анкерный пролет составляет 5 – 7 км.

При изысканиях ЛЭП необходимо соблюдать требование габаритного приближения проводов (рис. 44), то есть должно соблюдаться допустимое от низшей точки натянутого провода до поверхности земли. Для ненаселенных территорий габарит приближения проводов составляет 7 – 8 м, в труднодоступной местности – 6 – 7 м; для линий с напряжением 220 – 500кВ – 6 – 8 м и для линий с напряжением 750 кВ – 10 – 12 м.

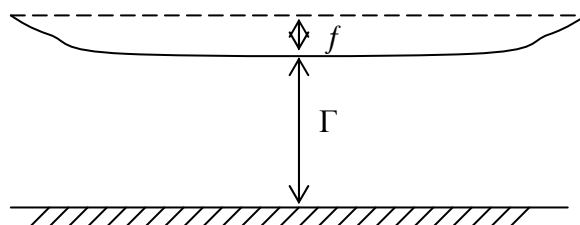


Рис. 44. Габарит приближения проводов ЛЭП

Охранная зона вдоль ЛЭП напряжением 110 – 500 кВ не менее 20 – 30 м, для 750 кВ – 40 метров.

При пересечении железных и автомобильных дорог вертикальное расстояние от проводов до полотна дороги должно быть не менее 8 – 10 метров, над заповедниками и арками расстояние от проводов до крон деревьев уменьшается до 4 – 6 метров.

На стадии технико-экономического обоснования осуществляется выбор трассы по топографическим картам.

Начальным пунктом ЛЭП является гидроэлектростанция, тепловая или атомная станция. Конечным пунктом – территориально промышленный комплекс.

Трассу ЛЭП намечают вдали от аэродромов, крупных населенных пунктов, промышленных предприятий, заповедников, курортов, на землях, не имеющих сельскохозяйственного назначения. Желательно, чтобы трасса меньше пересекала водотоки, ущелья, инженерные сооружения. Угол, перпендикулярный с препятствием, должен быть близок к  $90^\circ$ , но не менее  $45^\circ$ . В горных районах стремятся трассу расположить на устойчивых склонах. По возможности трассу приближают к существующим дорогам и с учетом подъезда к опорам трассы.

Пересечение трассой дорожных магистралей выбирают в местах, где дорога проходит в выемках или на нулевых отметках (с целью уменьшения высоты переходных опор) и стремятся совместить углы поворота трассы с переходными опорами.

Для небольших трасс на слабопересеченной местности технические изыскания обычно выполняют наземными методами. При изысканиях больших трасс или трасс со сложными условиями применяют аэрометоды.

Трасса ЛЭП состоит только из прямых участков с поворотами в вершинах углов. Поэтому углы поворота должны выбираться в геологически устойчивых местах. Так как кривые по трассе отсутствуют, пикеты разбивают между вершинами углов поворота без учета домера и перемены пикетажа на углах.

На трассах воздушных линий продольные профили можно составлять по плюсовым точкам, а разбивку опор производить от ближайших закрепленных точек трассы. Нивелирование трассы выполняют для составления продольного профиля. Точность определения отметок плюсовых точек 0,3 метра.

Но в равнинной местности, а также на больших переходах через водотоки, на пересечении дорог, в застроенных местах производят техническое нивелирование по пикетажу трассы.

В горных районах и в сильно пересеченной местности по трассе прокладывают тахеометрические ходы. Через 8 – 10 км устанавливают на трассе железобетонные или деревянные реперы.

На участках трассы производится съемка полосы, шириной 150 – 300 м в каждую сторону от оси, и составляется план в масштабе 1:2000, 1:5000. Продольный профиль составляют в масштабе 1:5000, а план трассы в масштабе 1:25000.

На плане показывают расположение всех опор с обозначением типа пикетажа и номера. На угловых опорах указывают величину угла поворота. На пересекаемых трассой элементах ситуации подписывают высоты препятствий. Разбивка опор производится по их пикетажу от ближайших закрепленных точек. Расстояния измеряют дальномером или лентой с введением поправки за наклон. Отклонение измеренных расстояний от проектных значений –  $1 / 2000$  длины.

Полученная невязка распределяется на ближайшие пролеты. Если опора попадает в неудобное для установки место, то она может быть сдвинута по оси линии на 3 метра.

В процессе установки центров опор производится контрольное определение минимального габарита провода над землей или над препятствием.

При исполнительной съемке построенной линии измеряют расстояния между отдельными опорами и проверяют соблюдение габарита приближения проводов и вертикальности установки опор.

#### **5.4. Геодезические работы при изысканиях аэропортов**

*Изыскания аэродромных площадок. Основные сооружения аэропорта.*

В комплексе аэропорта различают несколько зон:

- а) летная зона (аэродром);
- б) зона застройки (служебно-технические сооружения);
- в) районы воздушных подходов.

На территории аэродрома производится вертикальная планировка рельефа с высокой точностью. Вдоль господствующего направления ветров располагают главную летную полосу, к которой примыкают боковые и концевые полосы безопасности.

Покрытие взлетных полос обычно искусственное – цементно-бетонное. На случай ремонта имеются вспомогательные бетонные или же грунтовые взлетно-посадочные полосы, их располагают параллельно основной на расстоянии 1000 – 2500 метров, или под углом к ней.

Для размещения и обслуживания самолетов сооружают особые места стоянки (МС), их располагают за пределами летной полосы по одну или две стороны от аэровокзала. МС соединяют между собой рулежными дорожками (РД). МС и РД тоже имеют бетонное покрытие.

К аэродрому прилегают полосы воздушных подходов, в их пределах ограничивается высота вертикальных перекрытий. От летной полосы в направлении продольной оси поверхность, ограничивающая высотные препятствия, идет под уклоном 0,005 – 0,010. В средней части приаэродромной территории поверхность, ограничивающая высоты препятствий, в поперечном направлении поднимается по границе летного поля и полосы подходов с уклоном 0,040.

В состав сооружений также входят подземные инженерные сети водоотводных систем (линевая канализация и дренаж), водопроводные сети, кабельные линии.

К служебно-техническим сооружениям относятся:

- транспортные и административно-служебные (аэровокзал, перроны, технические службы);
- здания эксплуатационно-ремонтного назначения;
- склады и хранилища;
- устройства радионавигационного комплекса;
- другие (жилой городок и др.).

*Требования к выбору площадок для аэропортов:*

1. Площадка должна быть достаточных размеров и так сориентирована вдоль господствующего направления ветров, чтобы вдоль него расположить главную летную полосу.

2. Для безопасности взлетно-посадочных операций необходимо, чтобы рельеф имел уклоны  $i \leq 0,02$  при радиусах вертикальных кривых не менее 10000 м.

Для быстрого отвода ливневых вод уклоны летного поля должны быть не менее 0,005. Исходя из этого, рельеф местности желательно иметь пологий, без глубоких балок и оврагов, со средними уклонами  $i \leq 0,02 - 0,03$ , но не менее чем 0,003 – 0,005 (тогда объем земельных работ будет минимален).

3. Площадка должна иметь открытые воздушные подходы, особенно вдоль главной летной полосы.

4. Грунты площадки должны быть устойчивыми с возможно более глубоким залеганием грунтовых вод.

5. Площадка не должна иметь заболоченных участков, оврагов, оползневых явлений и не должна заполняться паводковыми водами.

Для выбора площадки производят камеральные изыскания: изучают территорию района по топографическим картам, аэрофотосъемочным материалам, инженерно-геологическим съемкам. Также производят инженерно-аэродромную разведку с самолета или вертолета с обследованием местности для уточнения ориентирования и размеров летного поля, примерного определения объемов работ.

Одновременно изучают данные по существующей плановой и высотной основе района будущего аэропорта.

*Состав геодезических работ на двух стадиях проектирования.*

1. Стадия изысканий для технического проекта:

а) трассирование на местности направления главной летной полосы и разбивка на площадке параллельно этому направлению сетки квадратов со сторонами 400 x 400 м;

б) съемка площадки аэропорта и прилегающей территории в масштабе 1:5000 с высотой сечения рельефа 0,5 – 1 м;

в) упрощенная плановая съемка района воздушных подходов с подробной характеристикой препятствий (определение высоты препятствия и отметки его основания).

2. Стадия изысканий для рабочих чертежей:

а) создание геодезической основы для съемки площадки в масштабе 1:2000 – 1:1000 и для вынесения проекта аэропорта в натуру;

б) съемка аэродрома в масштабе 1:2000 с высотой сечения 0,5 – 0,25 м способом нивелирования по квадратам: съемка территории застройки в масштабе 1:1000 – 1:500 с высотой сечения  $h = 0,5$  м.

в) изыскания трасс подъездных дорог, водопроводов, ЛЭП, ливне-сточных коллекторов.

Одновременно с геодезическими работами ведутся изыскания геологические, гидрологические, почвенные, метеорологические (за скоростью и направлением ветра, осадками, температурой и влажностью) глубинный промер почвы.

*Геодезическое обоснование площадки аэропорта.* Геодезическая сеть создается как основа для съемочных работ, так и для вынесения проекта аэропорта на местность.

Средняя квадратическая ошибка положения пунктов геодезической основы, с которых выносят главные основы аэропорта, не должна превышать 10 см, а ошибка в высотах реперов относительно исходных – 25 мм.

*1 способ – светодальномерная полигонометрия (рис. 45).*

Пункты совмещают с вершинами 400 м сетки квадрата. Полигонометрию проектируют замкнутыми ходами. Стороны измеряют светодальномерами или короткобазисным способом, углы – точными оптическими теодолитами. Уравнивают по методу проф. Попова или по стандартным программам на ЭВМ.

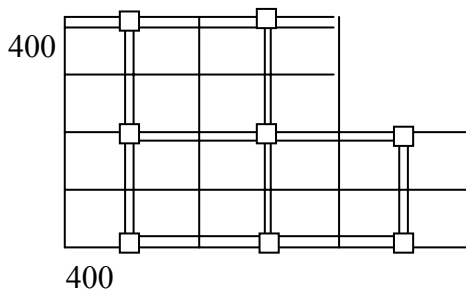


Рис. 45. Сеть полигонометрии

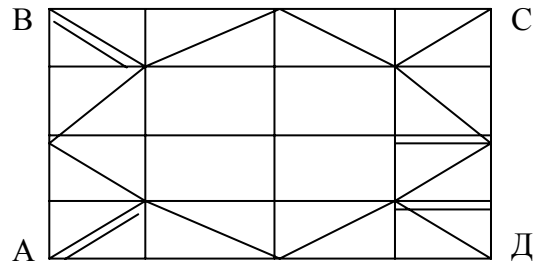


Рис. 46. Сеть микротриангуляции

*2 способ – микротриангуляция со сторонами 80 – 400 м (рис. 46).* Измерение углов производят высокоточным теодолитом. Базисы измеряют с точностью  $m_b / b = 1 / 50000$ .

Уравнивание осуществляют приближенным методом по группам неизвестных или по стандартной программе на ЭВМ. Внутри прокладывают сети теодолитных ходов или создают сети четырехугольников без диагоналей.

*3 способ – четырехугольники без диагоналей (рис. 47).*

По параметру измеряют линии светодальномером. Углы измеряют точными теодолитами по способу круговых приемов, т. е. в каждом квадрате измерены две стороны и четыре угла, две остальные стороны вычисляются уравниванием по рядам между известными сторонами. Высотной основой служат нивелирные сети III класса, их прокладывают замкнутыми полигонами по сторонам плановой основы, совмещают плановые знаки с высотными. Внутри полигонов прокладывают ходы нивелирования IV класса по сторонам основной сетки квадрата.

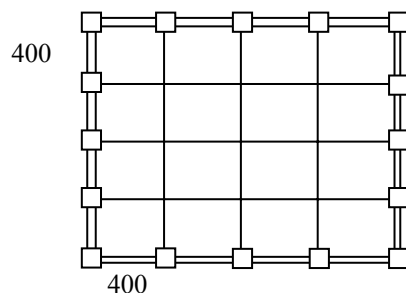


Рис. 47. Сеть бездиагональных четырехугольников



Вычисления координат пунктов геодезической основы ведут в государственной системе координат в  $6^0$  зоне и в абсолютных высотах. Поэтому геодезическую сеть аэропорта обязательно привязывают к пунктам геодезической сети.

Если пунктов близко нет, то определяют астрономические азимуты для ориентирования съемки и осей аэродрома по истинному меридиану.

*Съемка аэродромных площадок.* Начинают геодезические работы с разбивки направления главной летной полосы. Направление выносят по заданному азимуту и при помощи теодолита провешивают его, закрепляют через каждые 400 метров точки. Опираясь на эти точки, разбивают на всей площадке основную сетку квадратов 400 x 400 м. Одновременно выполняют линейные и угловые измерения для определения координат всех точек сетки с точностью теодолитного хода.

Съемка аэродромных площадок ведется в масштабе 1:5000 с  $h = 0,5 - 1$  м. Плановой и высотной основой служат пункты основной сетки квадратов.

Снимают площадку топографическим методом (мензулой или тахеометром). На больших участках со сложной ситуацией и значительной застройкой применяют стереотопографический метод.

Для составления рабочего проекта проводят съемку аэродрома в масштабе 1:2000 и территории застройки в масштабе 1:1000 методом нивелирования поверхности по квадратам. Съёмочным обоснованием служит основная сетка квадратов, внутри квадратов разбивают пикетажную сетку квадратов со сторонами 40 x 40 м (1:2000) и 20 x 20 м (1:1000) и разбивают ее кольщиками со сторожками. Точки 200м квадратов закрепляют столбами.

Одновременно с пикетажной разбивкой ведут съемку ситуации, которую к сетке привязывают линейными засечками; полярным способом или способом перпендикуляров.

Далее производят нивелирование. В равнинных участках с одной станции нивелируют точки через 200 м.

В залесенной местности нивелирные ходы прокладывают по прорубленным визиркам.

После полевых работ строят план. Рельеф изображают горизонталями через 0,25 – 0,5 м.

*Трассировочные работы.* При трассировании подъездной железнодорожной ветки устанавливают и согласовывают отдельный пункт примыкания этой ветки к магистралям. Место примыкания снимают в масштабе 1:1000, на плане показывают пути, центры стрелочных переводов, водопро-

пускные сооружения, постройки. По поперечным профилям снимают рельеф и определяют высоты оголовков рельсов и лотков водоотводов.

В местах примыканий канализаций и водопровода определяют высоты лотков и верха труб в колодцах, измеряют диаметры труб и размеры колодцев. Для проектирования оголовка ливнесточного коллектора снимают участок местности, охватывая самые низкие участки, куда намечен сток ливневых вод. При съемке участка водозабора, кроме рельефа и ситуации прилегающей местности, тщательно снимают берега водоема, промеряют глубины по поперечникам через 20 – 40 м для изображения рельефа дна водотока.

Все трассы должны быть привязаны в плановом и высотном отношении к пунктам геодезической основы.

*Съемка воздушных подходов.* Планы воздушных подходов составляют на основе имеющихся топографических карт и фотопланов. Особо обращают внимание на определение на определение высот препятствий (рис. 48).

Определить высоту препятствий можно:

- а) способом тригонометрического нивелирования (рис. 48, а);
- б) способом прямой пространственной засечки (рис. 48, б);
- в) способом вертикальной засечки (рис. 48, в).

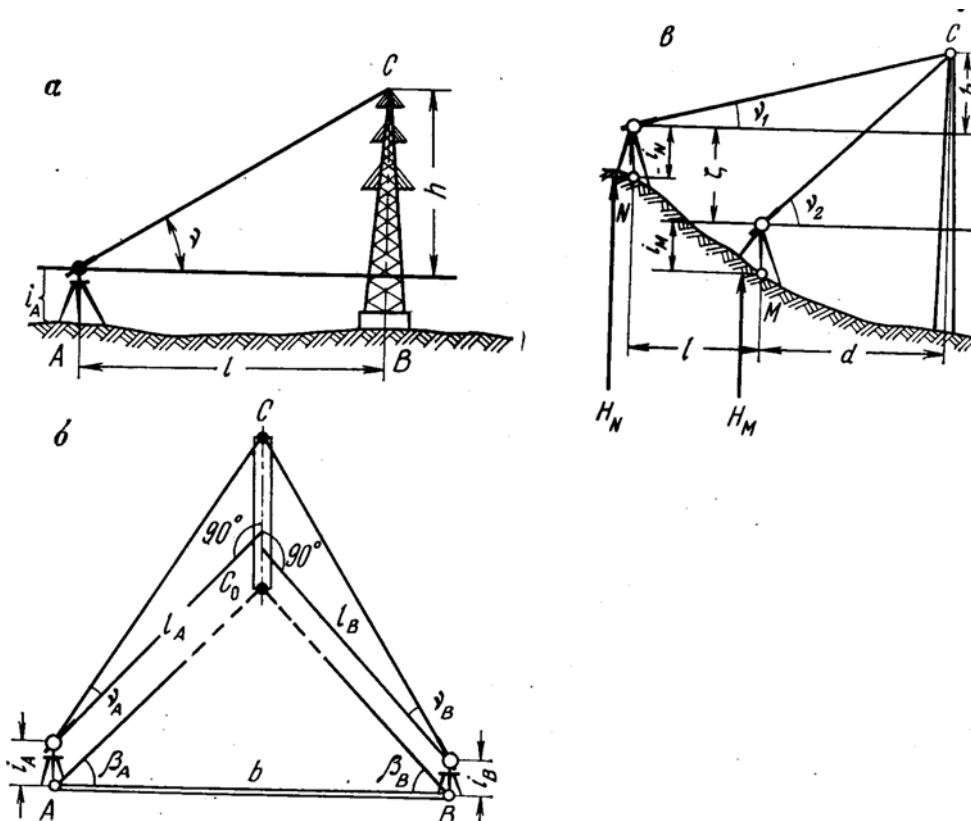


Рис. 48. Определение высоты препятствий в зоне воздушных подходов

В способе тригонометрического нивелирования измеряют расстояние  $l$  и угол наклона  $v$ . Превышение определяют по известной формуле

$$h = l \operatorname{tg} v.$$

Отметка  $H_A$  точки  $A$  известна. Тогда отметка верхней точки препятствия будет равна

$$H_C = H_A + i_A + l \operatorname{tg} v. \quad (101)$$

В случае использования способа прямой пространственной засечки на местности выбирают базис, чтобы с его концов хорошо была видна вершина препятствия.

На конечную точку базиса передают координаты от пунктов геодезической основы. Зная длину базиса  $b$  (известен или измерен), по измеренным в конечных точках горизонтальным углам  $\beta_A$  и  $\beta_B$  определяют из треугольника  $AC_oB$  расстояния до препятствия  $l_A$  и  $l_B$ , а по измеренным углам наклона  $v_A$  и  $v_B$  на верхнюю точку препятствия – превышения  $h_A$  и  $h_B$ . По высоте станций  $A$  и  $B$  дважды вычисляется высота точки  $C$  по формулам

$$H_C = H_A + i_A + l_A \operatorname{tg} v_A; \quad H_{CB} = H_B + i_B + l_B \operatorname{tg} v_B. \quad (102)$$

Если используют способ вертикальной засечки, то выбирают две точки  $N$  и  $M$  с известными отметками  $H_M$  и  $H_N$ , причем расстояние между ними должно быть известно.

Измеряют углы наклона  $v_1$  и  $v_2$  на вершину  $C$ . Превышение будет равно

$$h = (l + d) \operatorname{tg} v_1, \quad (103)$$

а отметка точки  $C$  –  $H_C = H_N + i_N + h$ .

## 5.5. Виды гидротехнических сооружений. Стадии их проектирования

Гидротехнические сооружения предназначены для использования водных ресурсов. Наиболее важными из них являются:

- гидроэнергетические (ГЭС);
- гидромелиоративные (системы орошения, обводнения или осушения);
- водотранспортные (каналы, искусственные водоемы);
- системы водоснабжения населенных пунктов и промышленно-транспортных объектов (водозаборы, водоводы, распределители).

Совокупность нескольких гидросооружений, расположенных в одном месте и объединенных условиями работы, называют *гидроузлом*. Основными сооружениями являются плотины, водохранилище, водозаборы и водовыпуски, гидроэлектростанция, судоходные шлюзы и др.

Решение о строительстве гидротехнических сооружений принимают на основе разработки схемы использования реки. На этом этапе изучают режим реки на всем ее протяжении. На топографической карте и на продольном профиле реки намечают:

- 1) отдельные ступени каскада ГЭС;
- 2) определяют наиболее выгодные подпорные отметки ( $H_{НПУ}$ );
- 3) предварительно основные параметры ГЭС;
- 4) приближенную компоновку основных сооружений;
- 5) площади заполнения и объемы водохранилища;
- 6) устанавливают размеры компенсаций, возникающих при эвакуации промышленных и жилых объектов из зоны затопления;
- 7) определяют ориентировочную стоимость и сроки строительства.

Для разработки схемы использования реки ее продольный профиль в масштабах 1:500000 – 1:100000 для больших рек и в масштабе 1:100000 – 1:50000 – для малых равнинных рек (для предварительного размещения каскада ГЭС и определения отметок  $H_{НПУ}$ ). Границы заполнения и емкость водохранилища определяют по топографическим картам масштаба 1:100000 – 1:25000 соответственно с высотой сечения 20 – 5 м. Для размещения сооружений гидроузла, жилых поселков необходима съемка в масштабе 1:10000 – 1:5000 с высотой сечения от 5 до 2 м.

Гидротехнические сооружения проектируют в две стадии:

- технический проект;
- рабочие чертежи.

На стадии *технического проекта* более точно определяют отметку  $H_{НПУ}$ , мощность ГЭС и ее годовую выработку, разрабатывают генеральный план объекта, мероприятия по водохранилищу, принимают конструктивные и архитектурные решения и решения по технологии оборудования; определяют сметную стоимость строительства; разрабатывают проект организации строительства и сетевые графики.

Для разработки технического проекта выполняют следующие инженерно-геодезические работы:

- составление подробного продольного профиля реки по данным промеров глубин и уровней воды ( масштабы 1:10000 – 1:25000);
- для проекта водохранилища в густонаселенных районах требуется съемка в масштабах от 1:1000 до 1:10000;
- составление проекта сооружений по инженерной защите от затоплений и подтоплений (масштаба от 1:1000 до 1:10000);

– составление поперечных профилей русла и поймы рек с промерами глубин по створам:

– комплекс работ по координированию линейных сооружений, по съемке площадок под карьеры строительных материалов, для размещения жилых поселков и промышленных баз.

При разработке *рабочих чертежей* уточняют и детализируют принятые в техническом проекте решения. В состав рабочих чертежей входят следующие основные документы:

- каталог с перечнем чертежей;
- чертежи генерального плана с нанесенными коммуникациями и данными вертикальной планировки;
- чертежи зданий и сооружений;
- чертежи разбивочных осей котлованов сооружений, фундаментов под оборудование;
- чертежи временных сооружений (перемычек, водоотлива, бетоновозные эстакады).

На стадии рабочих чертежей необходима топографическая съемка масштабов 1:500 – 1:1000 с высотой сечения 0,5 – 1 м. В этой же стадии проектирования выносят на местность запроектированный контур водохранилища, а также окончательные варианты трасс наземных и подземных линейных сооружений.

## **5.6. Геодезические работы при изысканиях и строительстве каналов**

По назначению *каналы* делятся на судоходные, оросительные, энергетические, водопроводные, обводнительные, осушительные и лесосплавные.

Судоходные, водопроводные, энергетические каналы и сооружения на них условно относятся к группе магистральных каналов.

Проектирование магистральных каналов ведут в две стадии: технический проект и рабочие чертежи. Двум этим стадиям предшествует разработка технико-экономического обоснования (ТЭО), для него необходимы: топографическая карта масштаба 1:100000 на район канала; топографическая карта в масштабе 1:25000 полосы вдоль трассы канала шириной 2 – 3 км; продольные профили рек, русла которых предполагается использовать в качестве ложа канала; сведения по плановому и высотному обоснованию на район проектирования.

*Топографо-геодезические работы на стадии технического проекта:*

- уточнение местоположения трассы канала на картах масштаба 1:10000 или 1:5000 с  $h = 2$  м и  $h = 1$  м;
- топографическая съемка существующих искусственных сооружений и русел рек (масштаб 1:2000  $h = 0,5 - 1$  м);
- топографическая съемка месторождения строительных материалов (1:5000 или 1:2000 с  $h = 1,0$  м);
- продольные и поперечные профили по оси запроектированного канала и других линейных сооружений.

*Топографо-геодезические работы на стадии рабочих чертежей:*

- создание планового и высотного обоснования (оно создается в виде триангуляционной цепочки четырехугольников без диагоналей или в виде геодезических засечек, светодальномерной полигонометрии; при необходимости сгущение производят теодолитными ходами);
- комплекс работ по составлению продольного и поперечного профилей по окончательному варианту трассы (разбивка пикетажа, кривых, поперечных профилей, нивелирование по пикетажу, закрепление трассы). Класс нивелирования выбирается в зависимости от уклона дна проектируемого канала (при  $i < 0,00005$  – III класса, если  $0,00005 < i < 0,00015$  – IV класса, при  $i > 0,00015$  – техническое нивелирование);
- окончательные изыскания линейных сооружений;
- топографическая съемка участков со сложным рельефом, под жилой поселок и для производственных предприятий в масштабе 1:2000 или 1:1000  $h = 0,5$  м;
- геодезическая привязка геологических выработок;
- вынесение в натуру оси канала;
- определение на местности контура водохранилища;
- закрепление осей трассы канала и гидротехнических сооружений постоянными знаками (вершин углов поворота, дополнительных углов, начал и концов кривых и т. д.).

## **5.7. Геодезические работы при гидромелиоративном строительстве**

*Мелиорацией земель* называют комплекс мероприятий по улучшению природных условий земель.

Различают мероприятия гидромелиоративные и агромелиоративные. Гидромелиорация связана с орошением или осушением земель, агромелиорация – с усилением водопроницаемости и влагоемкости почвы.

Оросительная система представляет собой комплекс гидротехнических сооружений, забирающих воду из источника орошения и распределяющих ее по орошаемой площади. Водозабор из источника может быть самотечным или напорным (с помощью насосов). По конструкции оросительная система может быть открытой, закрытой и комбинированной.

Геодезические работы выполняются на всех стадиях проектирования и строительства гидромелиоративных систем.

При изысканиях производят сбор и анализ картографо-геодезической информации на район работ; создают планово-высотное обоснование для съемки мелиорируемого участка, производят крупномасштабную съемку, выполняют трассирование каналов, коллекторов, водоприемников, напорных трубопроводов и других линейных сооружений; обеспечивают в геодезическом отношении другие виды инженерных изысканий.

Строительству предшествуют основные разбивочные и планировочные работы, а в процессе строительства выполняют детальные разбивки и геодезические измерения, обеспечивающие положение, форму и размеры запроектированных сооружений.

В зависимости от размера территории геодезической основой для изысканий и вынесения проекта в натуру служат триангуляционные, линейно-угловые и полигонометрические сети 4 класса и сети сгущения 1 и 2 разрядов. В качестве высотной основы прокладывают нивелирные хода III класса вдоль магистральных каналов, их сгущение производят нивелирными полигонами IV класса.

Разбивочные работы начинают с перенесения в натуру основных осей сооружений. Выносят и закрепляют оси магистральных каналов или трубопроводов. От них выполняют разбивку распределительных каналов и поливных борозд.

Разбивку осушительных систем начинают с выноса в натуру осей коллекторов, а от них выносят оси отдельных дренажей.

Детальную разбивку трасс сооружений для разработки траншей производят через 20 метров. Закрепленные пикеты трасс нивелируют с точностью нивелирования IV класса.

При планировочных работах сначала производят предварительную планировку, в результате чего получают поверхность с отметками, отличающимися от проектных на 10 – 15 сантиметров. Здесь успешно может применяться лазерная система контроля.

Перед окончательной планировкой на горизонтальных участках выносят проектные отметки, а на наклонных – строят плоскости с заданным уклоном. Качество планировки проверяют нивелированием по квадратам со стороной 20 метров. Отклонение фактических отметок спланированной территории от проектных допускают до 5 сантиметров.

В процессе гидромелиоративного строительства выполняют большой объем земляных и трубоукладочных работ с использованием специальных машин. Для производительной работы этих машин применяют автоматизированные лазерные системы, позволяющие вести планировку территории по заданному направлению и уклону.

*Для более глубокого изучения теоретического материала по модулю № 1 можно воспользоваться литературой [2,3,5,8,12] из перечня учебно-методических материалов по дисциплине.*

По модулю № 5 рабочей программой рекомендовано написание реферата по теме *"Особенности трассирования при изысканиях и проектировании линейных сооружений"*. Студентам предлагается осветить небольшой вопрос по данной тематике. Объем реферата 7 – 10 страниц. При подготовке реферата необходимо использовать статьи из журнала "Геодезия и картография", "Геодезист", "Автоматизированные технологии изысканий и проектирования" и научно-производственного журнала "Земля".

### **Примерный перечень тем рефератов**

1. Трассировочные работы при проектировании автомобильных дорог
2. Трассировочные работы при проектировании железных дорог
3. Трассировочные работы при проектировании мостовых переходов
4. Трассировочные работы при проектировании трубопроводов
5. Трассировочные работы при проектировании воздушных ЛЭП
6. Трассировочные работы при проектировании каналов и мелиоративных систем
7. Трассировочные работы при проектировании тоннелей
8. Трассировочные работы при проектировании аэропортов



## 9. Технологическая схема изысканий дорожно-транспортных сооружений

Также по модулю № 5 предусмотрена самостоятельная работа и подготовка доклада по теме *"Геодезические разбивочные работы при проектировании и строительстве автомобильных и железных дорог, подземных инженерных сетей"*. Объем доклада 5 – 7 минут.

### **Примерный перечень тем докладов**

1. Верхнее строение автомобильных и железных дорог
2. Восстановление дорожной трассы
3. Детальная разбивка земляного полотна
4. Разбивка поперечного профиля насыпи
5. Разбивка поперечного профиля выемки
6. Разбивка верхнего строения дороги
7. Симметричный серпантин
8. Несимметричный серпантин
9. Разбивка примыканий и пересечений автомобильных дорог
10. Разбивка соединений и парков железнодорожных путей
11. Разбивочные работы на трубопроводах
12. Разбивочные работы при укладке подземных коммуникаций

*В качестве контроля знаний и умений по пятому модулю рекомендуется устный или письменный опрос (студенту предлагается 10 – 12 вопросов). По модулю № 5 планируется собеседование по теме реферата и выступление с докладом перед однокурсниками.*

### **Вопросы и задания для самопроверки**

1. Составные части мостового перехода.
2. Охарактеризуйте состав работ при изысканиях мостовых переходов.
3. Исходя из чего выбирают оптимальное место для мостового перехода?
4. Охарактеризуйте съёмочные работы на мостовом переходе.

5. Как можно определить длину мостового перехода?
6. Охарактеризуйте методы передачи высот через водотоки.
7. Какими методами создают мостовую разбивочную основу?
8. Какие вам известны требования к проектированию магистральных трубопроводов?
9. В чем заключаются изыскания кратчайшей трассы трубопровода?
10. Охарактеризуйте габарит приближения проводов.
11. Каковы требования к проектированию трассы воздушной ЛЭП?
12. Охарактеризуйте съемочные работы на трассах ЛЭП.
13. Назовите основные сооружения аэропорта.
14. Каковы требования к выбору площадок для аэропортов?
15. Охарактеризуйте состав геодезических работ на стадиях проектирования аэропортов.
16. Охарактеризуйте съемку воздушных подходов.
17. Какие геодезические работы выполняют при проектировании гидротехнических сооружений?
18. Виды систем мелиорации?
19. Каково геодезическое обеспечение проектирования систем мелиорации?

## МОДУЛЬ–РЕЗЮМЕ (заключение)

Учебно-методический комплекс по специальной геодезической дисциплине «Основы инженерных изысканий» аккумулирует в себе теоретический и практический материал по инженерным изысканиям при проектировании различных инженерных сооружений. Наиболее подробно представлены инженерно-геодезические изыскания и геодезическое обеспечение других видов изысканий, создание опорных сетей, производство топографических съемок на застроенных территориях и геодезические работы при проектировании линейных сооружений.

Только комплексные изыскания позволяют качественно выполнять проектирование и в последующем строительство инженерных сооружений.

Использование блочно-модульной технологии при разработке данного УМК позволило создать систему взаимосвязанных, взаимодополняющих средств обучения и позволит вести изучение по дисциплине опережающими темпами.

Наличие у каждого студента УМК в печатном виде или на электронном носителе позволит освободить время для дополнительных пояснений, примеров, знакомства с новыми идеями и направлениями, опубликованными в специальных журналах и сборниках.

Изучение теоретических основ дисциплины, подготовка и выполнение лабораторных и практических работ, контрольных заданий при наличии УМК позволяет создать атмосферу продуктивно-познавательного сотрудничества между преподавателем и студентами.

Учебно-методический комплекс позволит преподавателю работать с обучаемыми на качественно новом, более высоком и эффективном уровне, в соответствии с современными требованиями к качеству образования.

Знания и навыки, полученные при изучении данной дисциплины, в последующем помогут успешно освоить такие специальные дисциплины, как «Прикладная геодезия» и «Организация, планирование и управление производством» и, несомненно, будут полезны выпускникам геодезического факультета в их профессиональной деятельности.

## МОДУЛЬ-КОНТРОЛЬ

Итоговый, выходной контроль по дисциплине может быть представлен традиционным экзаменом, выходным тестом или их сочетанием.

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Основы инженерных изысканий» предусмотрено два экзамена, ниже приводятся вопросы к экзамену за осенний и весенний семестры.

### Вопросы к экзамену за осенний семестр

1. Общие сведения об инженерных изысканиях, их видах и особенностях.
2. Состав инженерно-геодезических изысканий.
3. Состав инженерно-геологических изысканий.
4. Состав гидрогеологических изысканий.
5. Геодезические работы, производимые при инженерно-геологических изысканиях.
6. Инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка.
7. Геодезическое обеспечение горно-проходческих и буровых работ.
8. Геодезическое обеспечение электроразведки, сейсморазведки, магнитной разведки.
9. Применение гравиметрической разведки. Изучение грунтов.
10. Состав гидрологических изысканий.
11. Наблюдение за уровнями воды в реках, озерах и водохранилищах.
12. Наблюдения, проводимые на гидрологических станциях.
13. Промерные работы на водомерных постах.
14. Определение направления и скоростей течения.
15. Определение расходов воды.
16. Назначение и виды инженерно-геодезических опорных сетей.
17. Характерные особенности инженерно-геодезических опорных сетей.
18. Принципы проектирования и расчет точности построения опорных сетей.
19. Требования к точности проектов планового и высотного обоснования.
20. Ступени развития сетей и расчет точности на каждой ступени.
21. Триангуляционные сети. Типовые схемы сетей.
22. Методы оценки проектов триангуляции.

23. Особенности угловых измерений в триангуляции.
24. Трилатерационные сети. Типовые схемы сетей.
25. Особенности линейных измерений в трилатерации.
26. Линейно-угловые построения.
27. Бездиагональные четырехугольники.
28. Инженерная полигонометрия.
29. Методы оценки проектов полигонометрических сетей.
30. Особенности угловых и линейных измерений в инженерной полигонометрии.
31. Короткобазисная полигонометрия.
32. Геодезическая строительная сетка, назначение и требования к точности.
33. Технология создания строительных сеток.
34. Детальная разбивка строительной сетки осевым способом.
35. Детальная разбивка строительной сетки способом редуцирования.
36. Системы координат, применяемые в инженерно-геодезических работах.
37. Переход от частной (условной) к геодезической системе координат.
38. Редукционные поправки.
39. Высотные инженерно-геодезические сети.
40. Закрепление пунктов плановой и высотной основы.
41. Применение метода геометрического нивелирования.
42. Применение методов гидронивелирования и микро nivelирования.
43. Применение тригонометрического нивелирования.
44. Характеристика крупномасштабных планов. Точность, детальность и полнота планов.
45. Выбор масштаба съемки.
46. Выбор высоты сечения рельефа.
47. Масштаб съемки и высота сечения рельефа для различных территорий (согласно СНБ 1.02.01 – 96).
48. Обоснование крупномасштабных съемок.
49. Создание планового обоснования для крупномасштабных съемок.
50. Высотное и съемочное обоснование для крупномасштабных съемок.
51. Методы съемки застроенной и незастроенной территории.
52. Горизонтальная и вертикальная съемка.

53. Тахеометрическая съемка, выполняемая теодолитом.
54. Тахеометрическая съемка, выполняемая электронным тахеометром.
55. Мензуральная съемка.
56. Нивелирование поверхности по квадратам.
57. Аэрофотограмметрический метод съемки.
58. Фототеодолитная съемка.
59. Методы съемки подземных коммуникаций.
60. Индуктивный метод поиска подземных коммуникаций.

### **Вопросы к экзамену за весенний семестр**

1. Инженерно-геодезические изыскания площадных и линейных сооружений.
2. Стадии проектирования инженерных сооружений.
3. Трассирование линейных сооружений. Элементы и категории трасс.
4. Параметры и правила трассирования (камеральное и полевое трассирование).
5. Особенности плановых и высотных параметров трассирования.
6. Правила трассирования в равнинной и горной местности.
7. Технология изысканий магистральных трасс.
8. Камеральное трассирование по топографическим картам. Состав работ, способы.
9. Построение на карте линии заданного уклона. Понятие «линия нулевых работ».
10. Полевое трассирование. Состав и краткая характеристика геодезических работ.
11. Вынесение проекта трассы в натуру.
12. Определение углов поворота трассы.
13. Линейные измерения при полевом трассировании.
14. Основные элементы круговых кривых.
15. Пикетажные значения главных точек круговой кривой. Разбивка на местности круговой кривой.
16. Разбивка пикетажа по трассе, вынос пикетов на кривую.
17. Пикетажный журнал и план трассы.
18. Переходные кривые.
19. Вынесение на местность переходной кривой.

20. Детальная разбивка кривых. Краткая характеристика известных способов.
21. Способ прямоугольных координат.
22. Способ хорд.
23. Способ углов.
24. Способ продолженных хорд.
25. Способ вписанного многогранника.
26. Вертикальные кривые.
27. Нивелирование трассы.
28. Съёмочные работы при полевом трассировании.
29. Привязка трассы к пунктам геодезической основы.
30. Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых.
31. Составление продольного профиля трассы. Вычисление отметок точек «нулевых работ».
32. Мостовые переходы. Состав работ при изысканиях мостовых переходов.
33. Выбор оптимального места для мостового перехода.
34. Съёмочные работы на мостовом переходе.
35. Определение длины мостового перехода.
36. Методы передачи высот через водотоки, краткая характеристика каждого метода.
37. Нивелирование по льду и гидростатическое нивелирование.
38. Двойное геометрическое нивелирование.
39. Тригонометрическое нивелирование.
40. Создание мостовой разбивочной основы.
41. Магистральные трубопроводы, требования к их проектированию.
42. Изыскания кратчайшей трассы трубопровода.
43. Воздушные линии электропередач. Понятие габаритного приближения проводов.
44. Требования к проектированию трассы ЛЭП.
45. Съёмочные работы на трассах ЛЭП.
46. Изыскания аэродромных площадок. Основные сооружения аэропорта.
47. Требования к выбору площадок для аэропортов.
48. Состав геодезических работ на стадиях проектирования аэропортов.
49. Геодезическое обоснование площадки аэропорта.

50. Съемочные и трассировочные работы на аэродромных площадках.
51. Съемка воздушных подходов.
52. Гидротехнические сооружения, их виды.
53. Геодезические работы при изысканиях гидротехнических сооружений на разных стадиях проектирования.
54. Геодезические работы при проектировании каналов.
55. Мелиоративные системы. Топографическая основа для проектирования.
56. Особенности планового, высотного и съемочного обоснования для систем мелиорации.
57. Классификация автомобильных и железных дорог.
58. Верхнее строение автомобильной и железной дорог.
59. Разбивка земляного полотна автомобильных дорог (геодезические работы при восстановлении трассы на местности).
60. Разбивка поперечных профилей в выемке и в насыпи.
61. Разбивка примыканий и пересечений автомобильных дорог.
62. Вираз на автомобильной дороге, его разбивка.
63. Разбивка серпантинов.
64. Особенности изысканий и проектирования кабельных сетей.
65. Разбивочные работы при укладке трубопроводов.

В качестве **итогового контроля** по дисциплине можно использовать **тест**. Рассмотрим пример теста, составленного на основе материала, изучаемого в весеннем семестре.

Задания открытой формы  
(дать ответ)

1. Дайте определение трассы ...
2. Наиболее распространенные масштабы для составления продольного профиля трасс ...
3. Точки, в которых по трассе разбивают поперечники...
4. При проектировании трасс линейных сооружений в равнинной и слабопересеченной используют ... категорию трасс
5. В горной местности трасса линейного сооружения ..., чем в равнинной
6. Охарактеризуйте отгон виража ...



7. Ватерпасовку применяют ...
8. Топографическую съемку полосы по трассе линейного сооружения большой протяженности выполняют ... методом
9. Мостовые переходы через большие водотоки состоят из ...
10. Начальным пунктом ЛЭП являются ...
11. Габарит приближения проводов ЛЭП зависит от ...
12. Кроме главной взлетно-посадочной полосы, на территории аэродрома для движения самолетов имеются ...
13. Высотную основу аэродрома создают геометрическим нивелированием ... класса
14. К гидромелиоративным системам относятся ...

Задания закрытой формы  
(выбрать один правильный ответ)

15. Проекция трассы на плоскость – это ...
  - а) продольный профиль
  - б) план
  - в) поперечный профиль
16. Комплекс инженерно-геодезических работ по выбору трассы – это ...
  - а) трассирование
  - б) съемочные работы
  - в) нивелирные работы
17. Для напорных трубопроводов, линий электропередач и связи уклоны ... на проект трассы
  - а) наиболее важны
  - б) не влияют
  - в) мало влияют
18. В горной местности проектируют трассу ...
  - а) «вольным ходом»
  - б) «напряженным ходом»
19. Оптимальные углы поворота на дорожных трассах
  - а) 35 – 45 °
  - б) 10 – 20 °

в) до  $60^\circ$

20. Точность линейных измерений по трассе и разбивке пикетов в полевом трассировании на равнинной местности

а) 1: 500

б) 1:1000 – 1: 2000

в) 1: 5000 – 1:7000

21. Круговая кривая имеет ... радиус

а) постоянный

б) переменный

22. В горной местности трасса представлена графическим материалом в виде ...

а) плана и профилей

б) абриса и профилей

23. В стесненных условиях детальную разбивку кривых нельзя выполнить способом ...

а) секущих (хорд)

б) прямоугольных координат

в) продолженных хорд

24. Шаг детальной разбивки кривых зависит от

а) длины кривой

б) величины угла поворота

в) радиуса

25. При вписывании переходных кривых по трассе радиус круговой кривой ...

а) уменьшается

б) увеличивается

26. Определение отметок по трассе выполняют:

а) геометрическим нивелированием IV класса

б) техническим нивелированием

в) гидростатическим нивелированием

27. Предельная погрешность в техническом нивелировании при проведении изысканий

а)  $50\sqrt{L}$

б)  $30\sqrt{L}$

28. Съёмку мостового перехода экономичнее выполнять

а) мензульным методом

б) фототеодолитом

в) аэрометодами

29. На планах русловой съёмки рельеф изображают

а) горизонталями

б) горизонталями и изобатами

в) горизонталями и отметками

30. Продольный профиль для разработки схемы использования реки и технического проекта гидротехнического сооружения составляют в масштабе

а) 1: 50 000

б) 1:10 000 – 1: 25 000

в) 1: 100 000

31. Разбивку пикетажа по трассам трубопроводов ведут по

а) наклонным дальностям

б) горизонтальным проложениям

32. Магистральные – это трубопроводы

а) местного значения

б) для транспортировки на далекие расстояния

в) в городах и на промышленных площадках

33. Газопровод проектируют по отметкам ... населенных пунктов

а) ниже

б) выше

в) на равных отметках

34. Для участков перехода трубопровода через различные препятствия, для головных и промежуточных станций выполняют топографическую съёмку

а) 1: 500 – 1:1000  $h = 0.5$  м

б)  $1:1000 - 1:2000$   $h = 1$  м

в)  $1:5000$   $h = 2$  м

35. Длина анкерного пролета для воздушных ЛЭП

а) 1 км

б) 5 – 7 км

в) 200 – 450 м

36. При передаче отметок через водные препятствия тригонометрическим нивелированием используют

а) точные теодолиты типа Т5

б) теодолиты технической точности

в) высокоточные теодолиты Т1, Т2

37. Уклон летного поля должен быть не менее 5 промилле для ...

а) уменьшения объема земляных работ

б) быстрого отвода ливневых вод

в) безопасных взлетно-посадочных операций

38. Проектирование аэропортов выполняют

а) в две стадии

б) в три стадии

в) по требованию заказчика

39. Точность исходной плановой основы, с пунктов которой выносят в натуру оси аэропорта

а) 5 – 10 мм

б) 10 см

в) 5 см

40. Съёмку аэродромной площадки на стадии рабочих чертежей выполняют

а) тахеометрическим методом

б) нивелированием поверхности по квадратам

в) мензульным способом

41. Главная взлетно-посадочная полоса аэропорта проектируется

а) в зависимости от ситуации на местности

б) вдоль направления господствующих ветров

в) в любом направлении

42. Для составления планов равнинной, мало застроенной местности, узких полос вдоль линейных сооружений применяют ... съемку

- а) мензульную
- б) фототеодолитную
- в) тахеометрическую

Задания закрытой формы

(выбрать несколько правильных ответов из множества предложенных вариантов)

43. При трассировании выполняют нивелирование

- а) пикетов
- б) углов поворота
- в) плюсовых точек
- г) точек через 20 м
- д) пересечений с существующими сооружениями
- е) урезов воды
- ж) главных точек кривых

44. К высотным параметрам трассирования относят:

- а) радиусы горизонтальных кривых
- б) радиусы вертикальных кривых
- в) продольные уклоны
- г) длины переходных кривых
- д) длины элементов в профиле
- е) прямые вставки
- ж) углы поворота

45. Вторая стадия (проектная) предполагает

- а) технико-экономическое обоснование трассы
- б) подбор достоверных картографо-геодезических материалов
- в) составление технического проекта
- г) составление разбивочных чертежей
- д) выбор оптимального варианта трассы
- е) составление сметы на строительство

46. В качестве плановой геодезической основы на мостовых переходах используется

- а) трилатерация
- б) мостовая триангуляция
- в) полигонометрия в виде вытянутых ходов
- г) линейно-угловая сеть
- д) полигонометрия в виде полигонов

47. При исполнительной съемке построенных ЛЭП контролируют

- а) длины прямолинейных участков
- б) расстояние между опорами
- в) величину углов поворота
- г) габарит приближения провода
- д) вертикальность опор

48. Способом прямоугольных координат можно выполнить

- а) разбивку углов поворота по трассе
- б) перенесение пикетов на кривую
- в) разбивку вертикальных кривых
- г) разбивку круговых кривых в стесненных условиях
- д) вынесение на местность концов переходных кривых
- е) детальную разбивку круговых кривых.

## Список литературы

1. Видуев Н.Г., Полищук Ю.В. Инженерные изыскания: Учеб. пособие для вузов. – Киев: Вища школа, 1979.
2. Глумов В.П., Горев В.В., Мельников С.Р., Царев В.М. Области применения спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS в народном хозяйстве. – Бюллетень «ГЛОНАСС Инфо», – М.: КНИЦ ВКС, 1994, № 1, С. 27 – 30.
3. Геодезия. Топографические съемки: справочное пособие под ред. В.П. Савиных и В.Р. Ященко. – М.: Недра, 1991.
4. Журнал «Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации». – М., 1998, № 1 (18)
5. Климов О.Д. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений. – М.: Недра, 1991.
6. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. – М.: Недра, 1981.
7. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. – М.: Недра, 1983.
8. Михелев Д.Ш. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2001.
9. Справочник по геодезическим разбивочным работам / Г.В. Баградуни, В.Ф. Лукьянов, Я.А. Сокольский, А.Н. Сухов. – М.: Недра, 1982.
10. Нестеренок М.С., Нестеренок В.Ф., Позняк А.С. Геодезия. – Мн.: Университетское, 1993.
11. СНБ 1.02.01 – 96 Инженерные изыскания для строительства. – Мн., 1996.
12. СНиП 11 – 02 – 96 Инженерные изыскания для строительства. – М., 1996.

*Учебное издание*

Составитель  
ЗУЕВА Людмила Федоровна

## ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

для студентов специальности 1-56 02 01  
«Геодезия»

Редактор М.А. Амелюшко

---

Подписано в печать 26.11.04 Формат 60x84 1/16 Гарнитура Таймс. Бумага офисная.  
Отпечатано на ризографе Усл. печ. л. 10,2 Уч.-изд. л. 11,83 Тираж 100 Заказ

---

Издатель и полиграфическое исполнение  
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ 02330/0133020 от 30.04.04 ЛП № 02330/0133128 от 27.05.04

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29