

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

# ПРИКЛАДНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

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

## ЧАСТЬ 1

Составление и общая редакция  
Л. Ф. Зуевой

Новополоцк 2006

УДК 528.48(075.8)

ББК 26.1я73

П 75

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В. В. ГЕРАСИМОВ, начальник сектора «Генплан» ОАО «Нафтан»;

Р. Н. КИРЕЕВ, инженер сектора «Генплан» ОАО «Нафтан»;

В. П. ПОДШИВАЛОВ, д-р техн. наук,  
зав. кафедрой прикладной геодезии и фотограмметрии

Рекомендован к изданию  
методической комиссией геодезического факультета

**П 75 Прикладная геодезия** : учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-56 02 01 «Геодезия». В 2 ч. Ч. 1 / сост. и общ. ред. Л. Ф. Зуевой. – Новополоцк : ПГУ, 2006. – 332 с.  
ISBN 985-418-491-1 (Ч. 1)  
ISBN 985-418-490-0

Разработан на основе базового учебного плана Т №118-1 от 13.11.2000 г. специальности 1-56 02 01 (Т21.01.00) «Геодезия» и рабочей программы по дисциплине.

Приведены темы изучаемого курса с указанием объема в часах лекций и лабораторных занятий. Представлен конспект лекций, приводятся глоссарий, список литературы.

В разработке лабораторного практикума участие принимали преподаватели кафедры прикладной геодезии и фотограмметрии: старший преподаватель А. И. Козакевич, доцент Г. А. Шароглазова, доцент И.С. Рабцевич.

Предназначен для студентов геодезического факультета УО «ПГУ».

**УДК 528.48(075.8)**

**ББК 26.1я73**

ISBN 985-418-491-1 (Ч. 1)

ISBN 985-418-490-0

© Л. Ф. Зуева, составление, 2006

© УО «ПГУ», 2006

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	6
1. Содержание рабочей программы.....	7
1.1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе.....	7
1.2. Виды занятий и форма контроля знаний .....	9
1.3. Содержание дисциплины (лекции) .....	9
Конспект лекций.....	13
2. Геодезические разбивочные работы .....	14
2.1. Элементы инженерно-геодезического проектирования .....	14
2.2. Общие положения о геодезических разбивочных работах.....	20
2.3. Теория и точность способов разбивочных работ.....	39
2.4. Составление разбивочных чертежей.....	53
2.5. Разбивка детальных строительных осей.....	58
2.6. Закрепление осей сооружений.....	59
3. Геодезическое обеспечение монтажа строительных конструкций и технологического оборудования .....	61
3.1. Принципы геодезического обеспечения монтажных работ .....	61
3.2. Способы плановой установки и выверки конструкций и оборудования.....	66
3.3. Способы выверки прямолинейности.....	71
3.4. Способы установки и выверки строительных конструкций по высоте .....	75
3.5. Способы установки и выверки конструкций по вертикали.....	80
4. Наблюдения за деформациями инженерных сооружений.....	86
4.1. Виды деформаций и причины их вызывающие.....	86
4.2. Назначение и организация наблюдений .....	88
4.3. Периодичность и точность наблюдений.....	89
4.4. Схема размещения реперов и осадочных марок. Анализ устойчивости реперов .....	93
4.5. Геодезические методы наблюдений за осадками сооружений .....	98
4.6. Наблюдения за кренами инженерных сооружений.....	110
4.7. Наблюдения за оползневыми процессами.....	135
5. Геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений.....	137
5.1. Гидротехнические сооружения, их виды и состав геодезических работ.....	137
5.2. Составление продольного профиля реки.....	141

5.3. Геодезические работы на водохранилищах .....	145
5.4. Кривая подпора .....	146
5.5. Теория расчета объема водохранилища .....	147
5.6. Вынос в натуру проектного контура водохранилища.....	149
5.7. Геодезическое обоснование для гидротехнических сооружений.....	151
5.8. Геодезическое обеспечение разбивочных и строительных работ на гидроузле.....	155
5.9. Монтаж металлоконструкций и оборудования.....	158
6. Геодезические работы при строительстве тоннелей и подземных сооружений.....	160
6.1. Виды тоннелей, способы их проектирования и сооружения.....	160
6.2. Схема геодезического обоснования тоннеля .....	162
6.3. Понятие сбойки встречных подземных сооружений и расчет влияния на сбойку подземных сооружений погрешностей геодезических измерений .....	168
6.4. Расчет требуемой точности измерений на различных стадиях построения геодезического обоснования .....	170
6.5. Аналитический расчет трассы тоннеля.....	173
6.6. Способы ориентирования подземной основы.....	178
6.7. Передача высот в подземные выработки.....	183
6.8. Разбивочные работы при проходке стволов шахт и разбивке оси тоннеля.....	184
7. Геодезические работы при строительстве гражданских и промышленных зданий.....	187
7.1. Геодезические работы при возведении подземной части здания.....	187
7.2. Геодезические работы при возведении надземной части здания.....	205
Лабораторный практикум.....	221
Лабораторная работа 1. Проектирование наклонной площадки.....	222
Лабораторная работа 2. Высотная привязка проектируемого здания к рельефу местности .....	226
Лабораторная работа 3. Аналитический расчет выноса в натуру основных осей зданий с предрасчетом точности различных способов разбивки .....	229
Лабораторная работа 4. Обоснование методики геометрического нивелирования при наблюдениях за осадками сооружений .....	231
Лабораторная работа 5. Высокоточное тригонометрическое нивелирование коротким лучом .....	233

Лабораторная работа 6. Решение обратной угловой засечки одного пункта по трем исходным.....	237
Лабораторная работа 7. Составление продольного профиля реки .....	241
Лабораторная работа 8. Определение объема водохранилища.....	242
Лабораторная работа 9. Аналитическая подготовка проекта основных осей гидроузла к перенесению на местность .....	249
Расчетно-графическая работа 1. Составление и вычерчивание разбивочного чертежа основных осей гидроузла .....	253
Лабораторная работа 10. Аналитическая подготовка к перенесению плана тоннеля в натуру.....	254
Лабораторная работа 11. Расчет требуемой точности геодезического обоснования на несбойку тоннеля метрополитена .....	260
Лабораторная работа 12. Уравнивание результатов измерений для ориентирования способом соединительного треугольника.....	264
Методические указания к выполнению курсового проекта .....	269
Рекомендации по изучению дисциплины студентами заочной формы обучения .....	285
Материалы, обеспечивающие проведение текущего и итогового контроля качества усвоения знаний студентами очной формы обучения.....	291
Словарь новых терминов.....	305
Литература .....	308
Приложения .....	313

## ВВЕДЕНИЕ

Геодезические работы являются неотъемлемой составляющей комплексных инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

Главными задачами геодезической службы в строительстве являются:

- своевременное и качественное выполнение комплекса геодезических работ как составной части технологического процесса строительного производства, обеспечивающих точное соответствие проекту геометрических параметров, координат и высот зданий и сооружений при их размещении и возведении;
- совершенствование организации и технологии геодезических работ на основе внедрения достижений науки и техники.

В период эксплуатации зданий и сооружений проводят их техническое обследование, во время которого выполняют геодезические работы по установлению геометрических параметров зданий, сооружений и их основных отдельных конструктивных элементов посредством обмеров, на основе результатов съемок и наблюдений за деформациями.

Возведение крупных уникальных зданий повышает требования к качеству строительно-монтажных работ. В связи с этим уделяется большое внимание строителям к инженерно-геодезическим работам. Уже на этапе проектирования необходим грамотный подход к составлению проектов производства геодезических работ (ППГР), что обеспечит соблюдение сроков строительства и повышение качества строительно-монтажных работ.

Дисциплина «Прикладная геодезия» предполагает рассмотрение вопросов, связанных с геодезическим обеспечением строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

## 1.1 Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

### 1.1.1. Цель преподавания дисциплины

Прикладная геодезия изучает методы топографо-геодезического обеспечения решения различных народно-хозяйственных и научных задач, возникающих в строительном производстве, горно-разведочном деле, исследовании природных ресурсов, при эксплуатации инженерных сооружений.

В прикладной геодезии используются методы измерений и способы математической обработки их результатов, а также приборы, применяемые для развития государственной геодезической основы и топографических съемок. Однако для геодезического обеспечения строительно-монтажных работ, наблюдений за деформациями сооружений, выверки конструкций применяются и разрабатываются новые высокоточные методы и создаются оригинальные приборы.

**Цель дисциплины** – сформировать у будущего специалиста достаточно широкий кругозор в области прикладной геодезии, привить умение и навыки специальных геодезических измерений и их обработки на этапах проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

### 1.1.2. Задачи изучения курса

В результате изучения дисциплины **студент должен освоить:**

- способы геодезических разбивочных работ;
- технологию разбивки сооружений;
- теоретические основы геодезической установки и выверки конструкций в плане, по высоте и вертикали;
- методы наблюдений за деформациями инженерных сооружений;
- методы определения кренов высотных сооружений;
- методы наблюдений за оползневыми процессами;
- геодезическое обеспечение строительства промышленных и гражданских сооружений;
- геодезические работы при строительстве и эксплуатации тоннелей и подземных сооружений;
- геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений;
- геодезические работы на промышленных площадках;
- высокоточные геодезические работы при строительстве и эксплуатации прецизионных сооружений;
- геодезические работы при планировке и застройке;
- выполнение исполнительных съемок.

**Студент должен уметь:**

- рассчитывать необходимую и достаточную точность выполнения геодезических работ для обеспечения строительства и эксплуатации сооружений;
- выполнять проектирование опорных и специальных геодезических сетей и производить расчет их точности;
- выполнять аналитический расчет выноса в натуру осей зданий и сооружений;
- составлять разбивочные чертежи;
- выполнять измерения различными геодезическими приборами;
- выполнять разбивку осей различными способами;
- технически грамотно и аккуратно оформлять результаты полевых измерений и камеральных работ.

**1.1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем),  
усвоение которых студентами необходимо для изучения  
данной дисциплины**

№ п/п	Название дисциплины	Раздел темы
1	2	3
1.	Высшая математика	Дифференциальное и интегральное исчисление; разложение в ряды функций; математическая статистика
2.	Геодезия (общий курс)	Проекция Гаусса-Крюгера; методы измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин линий
3.	Высшая геодезия	Принципы и методы построения государственной геодезической основы; высокоточные угловые и линейные измерения; уравнивание сетей на плоскости в проекции Гаусса-Крюгера
4.	Теория математической обработки геодезических измерений	Теория ошибок измерений; выявление математических ошибок измерений; основные алгоритмы уравнивательных вычислений
5.	Фотограмметрия	Сгущение сетей, методы аэрофототопографической и фототеодолитной съемки
6.	Вычислительная техника, информатика, программирование	Техника вычислений, действия с приближенными числами, программирование заданных алгоритмов
7.	Автоматизация высокоточных геодезических измерений	Автоматизация угловых и линейных измерений; применение светодальномеров, тахеометров, лазерных приборов, трассо- и кабелеискателей и других приборов
8.	Технология строительного производства	Элементы и типы основных инженерных сооружений и оснований, понятия о технологии производства основных видов строительных работ, знание строительных чертежей

## 1.2. Виды занятий и форма контроля знаний

Виды занятий, формы контроля знаний	Д	З
Курс	4,5	5,6
Семестр	7,8,9	9,11
Лекции, ч	80	24
Экзамен (семестр)	7,8,9	9,11
Зачет (семестр)	–	–
Практические (семинарские), ч	–	–
Лабораторные занятия, ч	80	24
Расчетно-графические работы (семестр)	8,9	–
Контрольные работы (семестр)	–	9,10
Курсовая работа (семестр/часы)	–	–
Курсовой проект (семестр/часы)	8/12	11
Управляемая самостоятельная работа (часы)	–	–

## 1.3. Содержание дисциплины (лекции)

### 1.3.1. Название тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

№ п/п	Название темы	Содержание	Объем в часах
1	2	3	4
Четвертый курс, седьмой семестр			
1.	Введение	Предмет и задачи прикладной геодезии. Этапы и состав геодезических работ в строительстве. Основные нормативные документы	1
2.	Геодезические разбивочные работы	Содержание разбивочных работ. Геометрическая основа проекта. Геодезическая подготовка проекта. Общий порядок разбивки сооружения	1
		Элементы геодезических разбивочных работ: построение на местности проектных углов, длин линий, отметок, линий и плоскостей проектного уклона, створа	2
3.	Геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ	Теория и точность основных способов разбивочных работ: полярных и прямоугольных координат; угловой, линейной и створной засечек; замкнутого треугольника; створно-линейного способа; проектного полигона; бокового нивелирования	4
		Точность разбивочных работ. Класс точности сооружений. Геодезическая подготовка проектных данных для разбивки зданий. Составление разбивочных чертежей. Построение главных и основных разбивочных осей. Детальная разбивка строительных осей. Закрепление осей на местности	2
3.	Геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ	Общие сведения. Требования к точности монтажа. Выбор и закрепление монтажных осей. Последовательность строительно-монтажных работ и геодезические измерения им сопутствующие	4
		Способы плановой установки и выверки строительных конструкций и технологического оборудования	2
		Высотная установка и выверка конструкций и оборудования. Способы установки и контроль вертикальности конструкций при их монтаже	2

1	2	3	4
4.	Наблюдения за деформациями инженерных сооружений	<p>Виды деформаций и причины их вызывающие. Назначение, организация, точность и периодичность наблюдений. Схема размещения реперов и осадочных марок</p> <p>Анализ устойчивости реперов. Геодезические методы наблюдений за осадками сооружений: геометрическое нивелирование, высокоточное и точное геометрическое нивелирование коротким лучом, тригонометрическое нивелирование, гидронивелирование, микро-нивелирование, стереофотограмметрический способ</p> <p>Наблюдения за кренами сооружений, требования к их точности. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа. Способы определения кренов: координат, горизонтальных и вертикальных углов (направлений), вертикального проектирования, высокоточного нивелирования основания, дифференциальных формул и т. д.</p> <p>Наблюдения за оползневыми процессами в плане и по высоте. Принципы построения и закрепления геодезической основы. Периодичность наблюдений</p>	<p>1</p> <p>3</p> <p>4</p> <p>2</p>
<b>Всего лекций за седьмой семестр</b>			<b>28</b>
<b>Четвертый курс, восьмой семестр</b>			
5.	Геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений	<p>Гидротехнические сооружения и состав топографо-геодезических работ при их возведении. Составление продольного профиля реки</p> <p>Геодезические работы на водохранилищах. Кривая подпора. Теория расчета объема водохранилища. Вынос в натуру проектного контура водохранилища</p> <p>Геодезическое обоснование для гидротехнических сооружений. Геодезическое обеспечение разбивочных и строительно-монтажных работ на гидроузле</p>	<p>2</p> <p>3</p> <p>3</p>
6.	Геодезические работы при строительстве тоннелей и подземных сооружений	<p>Виды тоннелей, способы их проектирования и сооружения. Габариты приближений. Схема геодезического обоснования тоннеля. Расчет влияния на сбойку подземных выработок ошибок геодезических измерений</p> <p>Аналитических расчет трассы тоннеля. Определение данных для перенесения в натуру кривых по хордам и секущим</p> <p>Ориентирование подземной основы различными способами (створа двух отвесов, соединительного треугольника, двух шахт, гиротеодолитом и т. д.). Передача высот в подземные выработки. Геодезические работы в подземных выработках</p>	<p>3</p> <p>2</p> <p>3</p>
7.	Геодезические работы при строительстве гражданских и промышленных зданий	<p>Геодезические работы при возведении подземной части здания: построение осевой разбивочной основы, разбивка котлованов, производство земляных работ, перенос осей и отметок на дно котлована</p> <p>Геодезические работы при возведении фундаментов, передача осей и отметок на монтажные горизонты, установка колонн</p> <p>Геодезические работы при строительстве бескаркасных и каркасных зданий. Контроль монтажа панелей, блоков, перекрытий, кирпичной кладки, каркаса зданий</p>	<p>2</p> <p>2</p> <p>4</p>
<b>Всего лекций за восьмой семестр</b>			<b>24</b>

1	2	3	4
<b>Пятый курс, девятый семестр</b>			
8.	Геодезические работы в период эксплуатации инженерных сооружений	<p>Состав и содержание инженерно-геодезических работ при эксплуатации инженерных сооружений. Техническое обследование зданий и сооружений</p> <p>Методы створных измерений (подвижной марки, подвижного приемника света, малых углов, полигонометрии). Схемы створных измерений (полного створа, последовательных створов, частных створов, частей створа). Приборы и оборудование для створных измерений. Анализ источников ошибок створных измерений</p> <p>Способы геодезического обмера зданий. Планово-высотная съемка элементов здания. Способы измерения вертикальности стен</p> <p>Геодезические работы при устройстве и эксплуатации подкрановых путей. Классификация грузоподъемных кранов и геометрические условия их нормальной работы. Плановая и высотная съемка подкрановых конструкций (измерение ширины колеи, определение непрямолинейности рельсовых осей, нивелирование подкрановых путей)</p> <p>Геодезические работы при эксплуатации башенных сооружений (резервуаров, дымовых труб и др.)</p>	<p>2</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>4</p> <p>3</p>
9.	Геодезические работы при планировке и застройке городов	Проекты планировки городов. Состав генерального плана. Ситуационный план района строительства. Планы горизонтальной и вертикальной планировки, вынесение их в натуру. Разбивка осей улиц и красных линий	4
10.	Исполнительные геодезические съемки промышленных площадок	Назначение и точность исполнительных съемок. Геодезическая основа. Методы плановых и высотных съемок скрытых сооружений. Контрольные съемки смонтированных конструкций и агрегатов оборудования	2
		Исполнительная документация: текущий (оперативный), дежурный и окончательный исполнительные генеральные планы. Порядок их составления	2
11.	Высокоточные геодезические измерения при строительстве и эксплуатации прецизионных сооружений	Виды прецизионных сооружений и требования к точности их установки в проектное положение. Состав и содержание инженерно-геодезических работ при их проектировании, строительстве и выверках в период эксплуатации. Особенности создания плановой и высотной основы. Наблюдения за деформациями оснований прецизионных сооружений	3
<b>Всего лекций за девятый семестр</b>			<b>28</b>
<b>Итого по курсу:</b>			<b>80</b>

### 1.3.2. Лабораторные занятия и расчетно-графические работы, их наименование и объем в часах

№ п/п	Наименование	Объем в часах
<b>Лабораторные занятия</b>		
1.	Проектирование наклонной площадки	4
2.	Высотная привязка проектируемого здания к рельефу местности	2
3.	Аналитический расчет выноса в натуру основных осей зданий с предрасчетом точности различных способов разбивки	6
4.	Обоснование методики геометрического нивелирования при наблюдениях за осадками сооружений	6
5.	Высокоточное тригонометрическое нивелирование коротким лучом.	6
6.	Решение обратной угловой засечки одного пункта по трем исходным	4
7.	Составление продольного профиля реки	2
8.	Определение объема водохранилища	4
9.	Аналитическая подготовка проекта основных осей гидроузла к перенесению на местность	4
10.	Аналитическая подготовка к перенесению плана тоннеля в натуру	6
11.	Расчет требуемой точности геодезического обоснования на несбойку тоннеля метрополитена	2
12.	Уравновешивание результатов измерений для ориентирования способом соединительного треугольника	4
13.	Оценка проекта створных измерений	2
14.	Определение нестворностей различными способами	4
15.	Определение геометрических параметров резервуаров для хранения нефтепродуктов	4
16.	Применение оптического створа при определении планового положения подкрановых путей	4
17.	Применение пространственной засечки при выверке подкрановых путей	4
<b>Расчетно-графические работы</b>		
1.	Составление и вычерчивание разбивочного чертежа основных осей гидроузла (восьмой семестр)	2
2.	Составление и вычерчивание проекта вертикальной планировки части городской территории (девятый семестр)	10
<b>Всего:</b>		<b>80</b>

Согласно учебному плану по дисциплине предполагается выполнение курсового проекта на тему: «Геодезическое обеспечение строительства промышленных сооружений».

# КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

### 2.1. Элементы инженерно-геодезического проектирования

#### 2.1.1. Состав геодезических работ

Строительство зданий и сооружений производится по проектам, представляющим собой систему чертежей, расчетов, показателей и текстового материала по обоснованию принятых решений и требований к технологическим процессам.

Запрещается выполнение строительно-монтажных работ без утвержденных проектов организации строительства и проекта производства работ.

Элементы геодезического обеспечения строительно-монтажных работ отражаются в разделе «Строительные решения» технических проектов зданий и сооружений или же они включаются в проект производства геодезических работ (ППГР).

Геодезические работы в соответствии с требованиями СНиП 3.01.01-85 должны найти отражение как в проектах организации строительства (ПОС), так и в проектах производства работ (ППР). Проект производства геодезических работ (ППГР) разрабатывается как составная часть ППР или как отдельный документ.

*В состав геодезических работ, выполняемых непосредственно в период строительства и эксплуатации зданий и сооружений* (в соответствии с техническим заданием заказчика), входят 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 (текущие и окончательные) планового и высотного положения зданий (сооружений) и инженерных коммуникаций;
- геодезические наблюдения за деформациями оснований и конструкций зданий (сооружений);
- 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 планово-высотного положения и вертикальности элементов зданий и сооружений;

- геодезические работы по определению в натуре скрытых подземных сооружений при ремонтных работах и др.;
- составление исполнительной геодезической документации [7].

Разработке проектов организации и производства геодезических работ предшествует техническое задание на проектирование, которое составляется на основе технико-экономического обоснования.

**Техническое задание** на проектирование геодезических работ выдается организацией-заказчиком и содержит следующие сведения:

- наименование организации-заказчика, подрядчика, субподрядчика;
- сроки строительства;
- наименование и местоположение объекта, его характеристику и назначение;
- виды геодезических работ, подлежащие включению в проектную документацию;
- описание отдельных работ и особых требований к их точности, не отраженных в строительных нормах;
- перечень материалов, которые следует предоставить в проектной документации (текстовые, графические расчетные);
- очередность работ, сроки выдачи промежуточных материалов;
- нормативные документы (ГОСТ, СНиП и др.) для задания допусков на все виды строительно-монтажных работ;
- характеристику геодезической сети (координаты, высоты, привязки и др.);
- специальные требования техники безопасности.

**Исходными данными для разработки проекта** объекта строительства является следующая документация:

*По площадкам строительства.*

1. Технический отчет о проведенных инженерно-геодезических изысканиях.
2. Каталог координат и высот пунктов опорных геодезических сетей.
3. Инженерно-топографические планы (фотопланы) в масштабах 1:500 – 1:2000.
4. Планы надземных и подземных сооружений, согласованные с эксплуатирующими организациями, в масштабах 1:500 – 1:2000.
5. Эскизы колодцев (камер) и эскизы опор при их детальном обследовании.
6. Материалы по определению геометрических размеров элементов зданий, сооружений, технологических установок, архитектурных и градостроительных форм.

7. Инженерно-топографические планы рек, внутренних водоемов и акваторий в масштабах 1:2000 – 1:5000.

8. Материалы геодезических измерений осадок и деформаций, выполненных на этой территории.

*По трассам линейных сооружений.*

1. Технический отчет о проведенных инженерно-геодезических изысканиях.

2. Инженерно-топографические планы полосы местности вдоль трасс и площадок для проектирования сооружений по трассе (мостовых переходов, станций и др.) и поселений в масштабах 1:500 – 1:2000.

3. Продольные и поперечные профили проектируемых трасс и существующих железных и автомобильных дорог.

4. Акты согласований (по дополнительному требованию заказчика).

**Для разработки рабочей документации** заказчику для целей реконструкции и технического перевооружения предприятий дополнительно должны быть представлены:

*По площадкам строительства.*

1. Обмерные чертежи зданий и сооружений.

2. Схемы инженерных сетей и транспортных коммуникаций.

3. Ведомости координат углов зданий (сооружений).

4. Каталоги колодцев (камер) подземных сооружений.

5. Инженерно-топографические планы в масштабах 1:2000 – 1:5000 (в том числе рек, внутренних водоемов и акваторий).

*По трассам линейных сооружений.*

1. План трассы, включая планы топографической съемки на сложных участках, в масштабах 1:500 – 1:1000.

2. Абрисы привязок характерных точек трассы к элементам ситуации.

3. Ведомость координат и высот закрепительных знаков трассы.

4. Схемы закрепленной трассы.

### **2.1.2. Проектная документация для строительства**

Строительство зданий и сооружений осуществляется по проектам. К основным **принципам геодезического проектирования** относятся:

1. *Вариативность*, предусматривающая рассмотрение не менее двух вариантов любого организационно-технического решения (выбор метода, технологии, способа, приборов и т. д.).

2. *Проектирование от общего к частному*, предполагающее последовательность постановки задач и их решений в пространстве и во времени с указанием цели, а затем пути ее достижения (от комплекса – к объекту и его частям; от конечного допуска – к точности отдельных геодезических операций).

3. *Комплексность* проектирования, предусматривающая параллельность постановки задач и увязку решения различных вопросов – тесная увязка геодезического обеспечения с техническими проектами, их технологическими и строительными частями, проектами организации и производства строительных работ.

4. *Использование типовых проектов*, предназначенных для многократного использования, что ускоряет процесс проектирования, сокращает объем документации.

**Геодезическая подготовка проекта.** Строительство инженерных сооружений осуществляется по рабочим чертежам проекта, которые разрабатываются на основе всесторонних комплексных изысканий.

Основными документами проекта являются:

- генеральный план масштаба 1:500 – 1:2000;
- рабочие чертежи (1:500 и крупнее);
- проект вертикальной планировки (1:1000 – 1:2000);
- планы и продольные профили дорог, подземных коммуникаций, воздушных линий (масштабы: горизонтальный 1:2000 – 1:5000; вертикальный 1:200 – 1:500);
- схемы геодезического обоснования строительных площадок, чертежи центров, ведомости координат и отметок;
- пояснительная записка.

**Генеральный план** представляет собой основной чертеж, выполненный на топографической основе, на нем нанесены все проектные сооружения и здания, указаны проектные координаты главных точек и отметки характерных плоскостей. Для сложных сооружений генплан дополняют чертежом разбивки главных осей.

Для выноса проекта сооружений в натуру выполняют его геодезическую подготовку, которая включает в себя:

- а) аналитический расчет проекта;
- б) составление разбивочных чертежей с данными привязки главных осей к пунктам геодезической основы;
- в) разработку проекта производства геодезических работ (ППГР).

Геодезическая подготовка зависит от способа проектирования сооружения. Существует три способа: аналитический, графо-аналитический, графический.

*Аналитический способ* – составление проекта путем расчета. Необходимые элементы выноса находят путем вычисления по известным координатам из решения обратной геодезической задачи.

*Графо-аналитический способ* – более оперативен, часть исходных данных берется графически с плана, а остальные получают путем математических вычислений.

*Графический способ* – производится графическое определение координат всех точек, применяющихся при предварительной разбивке, а расстояние и дирекционные углы вычисляются. При графическом способе погрешности проектирования зависят от точности плана и его масштаба, составляют 0,2 мм в масштабе плана.

**Аналитический расчет проекта.** Для выноса проекта в натуру все его геометрические элементы должны быть строго математически увязаны между собой и с имеющимися на площадке сооружениями.

При аналитическом расчете по проектным размерам и углам вычисляют координаты пересечений осей сооружений, проездов, красных линий застройки и, наоборот, по известным координатам, полученным из измерения на местности или снятым с карты (плана), находят расчетные значения длин линий и углов поворота. На трассах определяются элементы прямых и кривых, проектные высоты и уклоны. В опорных зданиях проверяют координаты углов точек. Главные разбивочные оси привязывают к пунктам геодезической основы.

Таким образом, при аналитическом расчете проекта решаются прямые и обратные геодезические задачи, задачи определения точек пересечения двух прямых, прямой и кривой, вычисление уравнений линий параллельных и перпендикулярных к исходным линиям, вычисление координат центров круговых сооружений; расчеты главных элементов кривых и др.

Для контроля проектные координаты вычисляют по замкнутым полигонам и ходам между пунктами геодезической основы [3].

**Привязкой проекта** – называют расчеты геодезических данных, по которым на местности разбивают главные оси сооружений. Привязка рассчитывается с гарантированным контролем. В зависимости от способа выноса в натуру (полярный способ, прямоугольных координат, линейные или угловые засечки и т. д.) вычисляются линейные и угловые элементы выноса в натуру.

Составление разбивочных чертежей подробно будет рассмотрено в разделе 2.4.

### **2.1.3. Проект производства геодезических работ**

Проекты производства геодезических работ (ППГР) разрабатываются на строительство зданий и сооружений, выполняемых по индивидуальным техническим проектам, или составляются на основе типовых для подобных групп зданий и сооружений.

ППГР является основным документом, определяющим содержание, объем и порядок выполнения геодезических работ на строительной площадке.

Целью ППГР является повышение качества строительно-монтажных работ, снижение трудозатрат и процента брака из-за геометрических отступлений от проекта путем правильной организации производства геоде-

зических работ и выполнения их с заданной точностью (в соответствии с требованиями существующих нормативов).

**ППГР состоит из следующих основных разделов:**

1. *Организация геодезических работ на строительной площадке.* В этом разделе отражены технология и календарный план выполнения работ, схема геодезической службы и функции ее подразделений, график обеспечения геодезическими приборами, смета на производство геодезических работ.

2. *Основные инженерно-геодезические работы.* Раздел включает в себя схему и программу построения на стройплощадке плановой и высотной основы и обоснование ее точности, уравнивание, типы знаков и центров. Периодичность контроля устойчивости плановой и высотной основ.

3. *Геодезические разбивочные работы.* Разбивка главных осей сооружений, детальная разбивка сооружений по этапам строительномонтажных работ. Исполнительные съемки.

4. *Геодезическая выверка конструкций и оборудования.* Разбивка и закрепление монтажных осей. Установка и выверка конструкций в плане, по высоте, по вертикали. Требования к точности. Приборы. Контрольные измерения.

5. *Наблюдение за деформациями сооружений.* Обоснование точности. Методы. Геодезическая основа. Схема размещения знаков. Периодичность наблюдений. Отчетная документация [3].

ППГР могут разрабатывать как подрядчик, так и специализированные проектные организации (по заданию заказчика).

До начала выполнения геодезических работ на строительной площадке рабочие чертежи проекта, используемые при разбивочных работах, должны быть проверены в части взаимной увязки размеров, координат и отметок и разрешены к производству техническим надзором заказчика.

Обязательно должны соблюдаться методики выполнения геодезических работ и соблюдаться точностные требования. Точность характеризуется допусками разбивки точек и осей в плане, положения осей по вертикали и передачи осей и отметок на монтажные горизонты (см. СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве»). Если каких-то допусков нет, то их устанавливают по результатам расчета точности с учетом функциональных, конструктивных, технологических и экономических требованиям, предъявляемым к зданиям и сооружениям.

Геодезические работы следует выполнять средствами измерений необходимой точности. Геодезические приборы должны быть проверены и отъюстированы в установленном порядке, регулярно поверяться перед началом работ.

Геодезические работы начинают выполнять после предусмотренной проектной документацией расчистки и освобождения территории от строений подлежащих сносу и вертикальной планировки стройплощадки.

## 2.2. Общие положения о геодезических разбивочных работах

### 2.2.1. Назначение и организация разбивочных работ

Разбивочные работы являются одним из основных видов инженерно-геодезической деятельности. **Разбивкой сооружения**, или вынесением проекта в натуру, называют геодезические работы, выполняемые на местности для определения планового и высотного положения характерных точек и плоскостей строящегося сооружения согласно рабочим чертежам проекта. Проект сооружения составляют на топографических планах крупных масштабов.

**Содержание разбивочных работ** состоит в следующем: по проектным планам (чертежам) и профилям находят на местности положение осей и точек сооружения для его строительства с точностью предусмотренной нормативными документами.

Разбивочные работы диаметрально противоположны съемочным. При съемке на основании натуральных измерений определяют координаты точек относительно пунктов опорной сети. Точность этих измерений зависит от масштаба съемки. При разбивке же, наоборот, по координатам, указанным в проекте, находят на местности положение точек сооружения с заранее заданной точностью. При разбивочных работах углы, расстояния и превышения не измеряют, а откладывают на местности. В этом основная особенность разбивочных работ. Точность разбивочных работ значительно выше точности съемочных.

Компоновка сооружения определяется его геометрией, которая, в свою очередь, задается осями. Относительно осей сооружения в рабочих чертежах указывают местоположение всех элементов сооружения.

**Геометрической основой проекта** для вынесения его в натуру являются *продольные* и *поперечные оси* сооружения, относительно которых в рабочих чертежах даются все проектные размеры.

В нормативных документах существует понятие разбивочной оси. Главные разбивочные оси обязательно привязывают к пунктам геодезической основы. На практике же различают главные, основные, промежуточные или детальные оси.



Рис. 2.1. Главные оси здания

**Главными осями** линейных сооружений (дорог, каналов, плотин, мостов и т. п.) служат продольные оси этих сооружений. В промышленном гражданском строительстве в качестве главных осей принимают оси симметрии зданий (см. рис.2.1).

**Основными** называют оси, определяющие форму и габариты зданий и сооружений.

**Промежуточные или детальные** оси – это оси отдельных элементов зданий, сооружений.

На строительных чертежах оси проводят штрихпунктирными линиями и обозначают цифрами или буквами в кружках. Для обозначения продольных осей служат арабские цифры, а для поперечных осей – прописные буквы русского алфавита, за исключением букв З, И, О, Х, Ы, Ь, Ъ. Оси обозначают слева направо и снизу вверх.

Указанные в проекте сооружения координаты, углы, расстояния и превышения называют *проектными*.

Высоты плоскостей и отдельных точек проекта задают от условной поверхности. В зданиях за условную поверхность (нулевую отметку) принимают уровень «чистого пола» первого этажа. Высоты относительно нулевой отметки обозначают следующим образом: вверх – со знаком «плюс», вниз – со знаком «минус».

Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте [6].

Весь процесс разбивки сооружения определяется общим геодезическим правилом перехода от общего к частному. Разбивка главных и основных осей определяет положение всего сооружения на местности, т. е. его размеры и ориентирование относительно сторон света и существующих контуров местности. Детальная же разбивка определяет взаимное положение отдельных элементов и конструкций сооружения.

**Разбивочные работы** – это комплексный, взаимосвязанный процесс, являющийся неотъемлемой частью строительного-монтажного производства. Поэтому организация и технология разбивочных работ целиком зависит от этапов строительства.

При строительстве зданий и сооружений различают следующие **этапы выполнения геодезических работ**.

*I этап – работы по созданию генплана:*

- получение данных для разработки проектов строительства (комплексные изыскания);
- развитие опорных геодезических сетей;
- съемочные работы на территории предполагаемого строительства;
- составление генерального плана.

*II этап – перенесение проекта в натуру:*

- геодезическая подготовка для перенесения проекта на местность;
- создание разбивочной основы зданий, вынос в натуру разбивочных осей зданий и сооружений.

*III этап – геодезическое обслуживание строительного-монтажных работ и эксплуатации законченных объектов строительства:*

- создание внутренней разбивочной основы зданий и сооружений на исходном и монтажных горизонтах, производство детальных разбивочных работ;
- контроль точности геометрических параметров зданий и сооружений, исполнительные съемки;
- наблюдения за деформациями конструкций, зданий и их частей в период строительства и эксплуатации;
- создание геодезической основы для монтажа и геодезический контроль монтажа технологического оборудования.

В подготовительный период на местности строят плановую и высотную геодезическую разбивочную основу соответствующей точности, определяют координаты и отметки пунктов этой основы.

Затем производится *геодезическая подготовка* проекта для перенесения его в натуру, которая включает в себя:

- а) составление разбивочных чертежей с данными привязки главных осей к пунктам геодезической основы, аналитический расчет проекта;
- б) проект геодезических разбивочных работ.

**Разбивка сооружения** включает в себя:

- основные разбивочные работы;
- детальную строительную разбивку сооружения;
- разбивку технологических осей.

**Основные разбивочные работы.** От пунктов геодезической основы согласно данным привязки находят на местности положение главных разбивочных осей и закрепляют их знаками. Затем от главных осей осуществляют разбивку основных осей и их закрепление на местности. Основными осями задается общее положение и ориентировка сооружения. Точность вынесения в натуру главных осей составляет 3 – 5 см, а иногда и грубее.

**Детальная строительная разбивка сооружения.** Начиная с возведения фундаментов, проводят детальную строительную разбивку сооружений. От закрепленных точек главных и основных осей разбивают продольные и поперечные оси отдельных строительных блоков и частей сооружений с одновременной установкой точек и плоскостей на уровень проектных отметок.

Детальная разбивка производится значительно точнее, чем разбивка главных осей, поскольку она определяет взаимное расположение элементов сооружения, а разбивка главных осей – лишь общее положение сооружения и его ориентирование.

Точность разбивки основных и детальных осей составляет 2 – 3 мм и даже в некоторых случаях точнее.

**Разбивка технологических осей.** После завершения строительства фундаментов разбивают монтажные или технологические оси для установки в проектное положение конструкций и технологического оборудования. Точность геодезических работ на этом этапе составляет 1 – 0,1 мм.

Таким образом, точность геодезических разбивочных работ от этапа к этапу повышается.

Процесс производства разбивочных работ состоит из ряда геодезических операций, которые называют **элементами геодезических разбивочных работ**, к ним можно отнести проектный угол, проектное расстояние, проектную отметку (высоту), линию или плоскость проектного уклона.

Отдельные виды и этапы разбивочных работ являются сочетанием тех или иных элементов.

### 2.2.2. Элементы геодезических разбивочных работ

#### Вынос в натуре проектных углов и длин линий

Разбивочные работы по существу сводятся к фиксации на местности точек, определяющих проектную геометрию сооружения. Плановое положение этих точек может быть определено с помощью построения на местности проектного угла от исходной стороны и отложения проектного расстояния от исходного пункта.

При построении **проектного угла** одна точка (вершина угла) и исходное направление обычно бывают заданы. Необходимо на местности отыскать второе направление, которое образовывало бы с исходным проектным углом  $\beta$  (рис. 2.2). В нашем случае  $BA$  – исходное направление,  $B$  – вершина проектируемого угла.

Работы ведут в следующем порядке. Установив теодолит в точку  $B$ , наводят зрительную трубу на точку  $A$  и берут отсчет по лимбу. Далее прибавляют к этому отсчету проектный угол  $\beta$  и, открепив алидаду, устанавливают вычисленный отсчет. Теперь визирная ось зрительной трубы теодолита указывает второе искомое направление.

В этом направлении на соответствующем проекту расстоянии фиксируют на местности точку  $C_1$ . Аналогичные действия выполняют при другом круге теодолита и отмечают на местности вторую точку  $C_2$ . Из положения двух точек берут среднее (точка  $C$ , рис. 2.2), принимая угол  $ABC$  за проектный.

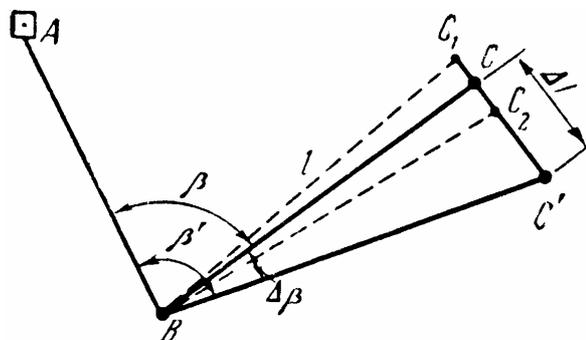


Рис. 2.2 Схема построения в натуре проектного угла

Стандартные геодезические приборы, изготовленные серийно, по точности предназначены для выполнения измерений, а не построений. В результате точность отложения разбивочных элементов этими приборами оказывается ниже, чем точность измерений с использованием этих приборов. Поэтому, если необходимо построить проектный угол с повышенной точностью, то поступают следующим образом.

Построенный в натуре угол измеряют несколькими приемами и определяют его более точное значение  $\beta''$ . Число приемов измерения угла можно определить по приближенной формуле

$$n = \frac{(m'_\beta)^2}{m_\beta^2}, \quad (2.1)$$

где  $m'_\beta$  – номинальная для данного теодолита средняя квадратическая погрешность измеренного угла;

$m_\beta$  – требуемая средняя квадратическая погрешность отложения угла.

Например, для того, чтобы отложить угол со средней квадратической погрешностью 2'' теодолитом 2Т5, надо его измерить шестью приемами.

Измерив построенный в натуре угол, вычисляют поправку

$$\Delta\beta = \beta' - \beta, \quad (2.2)$$

которую необходимо ввести для уточнения построенного угла.

Зная проектное расстояние  $BC = l$ , вычисляют линейную поправку  $CC' = \Delta l$ . Из геометрии построений (см. рис. 2.2) следует, что

$$\Delta l = l \frac{\Delta\beta}{\rho}, \quad (2.3)$$

где  $\beta$  и  $\rho$  выражены в секундах.

Далее откладывают от точки  $C$  перпендикулярно к линии  $BC$  величину вычисленной поправки  $\Delta l$  и фиксируют точку  $C'$ . Угол  $ABC'$  и будет равен проектному углу с заданной точностью. Для контроля угол  $ABC'$  измеряют. Если полученное значение отличается от проектного на допускаемую величину, то работу заканчивают. В противном случае требуется дальнейшее уточнение.

Точность построения на местности проектного угла зависит от инструментальных погрешностей, погрешностей собственно измерения (визирования и отсчета по лимбу), а также погрешностей из-за влияния внешних условий. Погрешности центрирования, редукции и исходных данных (погрешности в положении пунктов  $A$  и  $B$ ) на точность отложения проектного угла влияния не оказывают, что позволяет учитывать их отдельно. В этом заключается еще одна особенность разбивочных работ. Однако эти погрешности вызывают смещение на местности направления  $BC$  и выносимой точки  $C$ .

Необходимая точность отложения линейной поправки (редукции)  $\Delta l$  может быть подсчитана по формуле

$$m_{\Delta l} = l \frac{m_{\Delta\beta}}{\rho}. \quad (2.5)$$

Если  $l = 200$  м,  $m_{\Delta\beta} = 2''$ , то получим  $m_{\Delta l} = 2$  мм. Очевидно, что с такой точностью линейную редукцию можно легко отложить при помощи рулетки или линейки с миллиметровыми делениями.

Для построения **проектной длины линии** необходимо от исходной точки отложить в заданном направлении расстояние, горизонтальное проложение которого равно проектному значению. Надо помнить, что в проекте задается именно горизонтальное проложение. Поправки в линию за компарирование, температуру и наклон местности необходимо вводить непосредственно в процессе ее построения. Но это затрудняет работу, особенно при необходимости вынесения линии с высокой точностью. Поэтому часто поступают таким же образом, как и при построении углов, т. е. используют способ редукции.

На местности от исходной точки  $A$  сначала откладывают и закрепляют приближенное значение проектного расстояния (точка  $B'$ ). Это расстояние с необходимой точностью измеряют компарированными мерными приборами или точными дальномерами, учитывая все поправки.

Вычислив длину закрепленного отрезка, сравнивают его с проектным значением, находят линейную поправку

$$\Delta l = l_{np} - l_{изм} \quad (2.6)$$

и откладывают ее с соответствующим знаком от конечной точки  $B'$  отрезка. Затем, для контроля, построенную линию  $AB$  измеряют.

Точность построения проектного расстояния в способе редукции в основном зависит от точности линейных измерений расстояния  $AB'$ . Исходя из требуемой точности определения проектного расстояния, выбирают приборы для измерений [6].

Если проектное расстояние откладывается непосредственно в натуре, то поправки за компарирование, температуру и наклон местности вводят со знаками, обратными тем, которые учитывают при измерении линий согласно табл. 2.1.

Таблица 2.1

### Поправки в длину линии

Поправки	При измерении линий	При отложении проектных расстояний
За компарирование	$\pm \Delta l_k$	$\mp \Delta l_k$
За температуру	$\{\alpha \cdot l_t (t - t_0) + \beta \cdot l_{t_0} (t^2 - t_0^2)\}$	$-\{\alpha \cdot l_{t_0} (t - t_0) + \beta \cdot l_{t_0} (t^2 - t_0^2)\}$
За наклон местности	$-h^2 / 2l - h^4 / 8l^3$	$+h^2 / 2l + h^4 / 8l^3$

## Поправки линейных измерений при применении мерных приборов

Уравнение мерного прибора можно записать в общем виде:

$$l_t = l_H + \Delta l_k + \alpha \cdot l_{t_0} (t - t_0) + \beta \cdot l_{t_0} (t^2 - t_0^2), \quad (2.7)$$

где  $l_t$  – длина мерного прибора при температуре измерения  $t$ ;

$l_H$  – номинальная длина прибора;

$l_{t_0}$  – длина мерного прибора при температуре  $t_0$ , полученная из компарирования;

$\Delta l_k$  – поправка за компарирование;

$\alpha, \beta$  – коэффициенты линейного расширения.

Пусть, например, при выносе в натуру проектной линии использовался мерный прибор, длина которого при температуре измерения была меньше его номинальной длины. В этом случае отложенная линия будет короче проектной, и, следовательно, поправку надо вводить со знаком «плюс». Если этот прибор использовать для измерения линии, то поправку надо вводить со знаком «минус», так как при измерении укороченным мерным прибором результат получится большим, чем следует.

Если же мерный прибор при температуре измерения имеет длину, большую номинальной, то при измерении линии поправка будет иметь знак «плюс», при отложении – «минус».

При измерении линии на наклонной местности поправка за наклон, для приведения ее длины к горизонту, вводится со знаком «минус», так как наклонное расстояние всегда больше горизонтального приложения.

Все размеры в проекте приведены к горизонту. Поэтому при отложении проектного размера на наклонной местности откладывают расстояние равное горизонтальному проложению плюс поправка за наклон.

В зависимости от требуемой точности для отложения проектных расстояний используют стальные и инварные мерные приборы, оптические дальномеры, светодальномеры, электронные тахеометры.

### Вынос в натуру проектных отметок, линий и плоскостей заданного проектного уклона

Все отметки, указанные в проекте сооружения, даются от уровня «чистого пола» или какого-либо другого условного уровня. Поэтому предварительно их необходимо перевычислить в систему, в которой даны высоты исходных реперов.

Для выноса в натуру точки с проектной отметкой  $H_{np}$  устанавливают нивелир примерно посередине между репером с известной отметкой  $H_{Pn}$  и выносимой точкой (рис. 2.3).

На исходном репере и выносимой точке устанавливают рейки, взяв отсчет  $a$  по рейке на исходном репере, определяют горизонт прибора

$$H_{ГП} = H_{РП} + a. \quad (2.8)$$

Для контроля желательно аналогичным образом проверить значение  $H_{ГП}$  по другому исходному реперу.

Чтобы установить точку на проектную отметку  $H_{ГП}$ , необходимо знать величину отсчета  $b$  по рейке на определяемой точке. Можно записать, что:

$$b = H_{ГП} - H_{РП} = H_{РП} + a - H_{ПР}. \quad (2.9)$$

Вычислив отсчет  $b$ , рейку в точке на проектной поверхности поднимают или опускают до тех пор, пока отсчет по среднему штриху зрительной трубы нивелира не будет равен вычисленному. В этот момент пятка рейки будет соответствовать проектной высоте. Ее фиксируют в натуре, забивая колышек, ввинчивая болт или проведя черту на строительной конструкции.

Для контроля, нивелируя обычным способом, определяют фактическую отметку вынесенной точки и сравнивают ее с проектной. В случае недопустимых расхождений работу выполняют заново.

Если необходимо передать проектные отметки точек, лежащих в одной вертикальной плоскости (на стенах, колоннах и т. п.), то поступают следующим образом. На вертикальной плоскости отмечают проекцию среднего штриха сетки, т. е. фиксируют горизонт прибора. Затем, отмеряя вверх или вниз от этой линии соответствующее превышение, отмечают проектную отметку точки.

Проектная отметка точки может быть установлена в натуре путем, аналогичным редуцированию. Для этого выносимую точку приближенно устанавливают на проектную высоту. Нивелированием определяют превышение  $h$  между приближенно установленной точкой и исходным репером. Полученную величину сравнивают с проектной  $h_{пр}$ , вычисленной как  $h_{пр} = H_{пр} - H_{РП}$ . С учетом знака разности  $h_{пр} - h$  изменяют высоту точки, добиваясь, чтобы  $h_{пр} = h$ . Этот способ более трудоемкий и применяется, когда производят бетонирование до проектной отметки или поднимают конструкцию путем последовательного подбора подкладок.

На точность вынесения в натуре проектных отметок в основном влияют: погрешность в определении отметки исходного репера, погрешность отсчета  $a$  по рейке на исходном репере, погрешность установки рей-

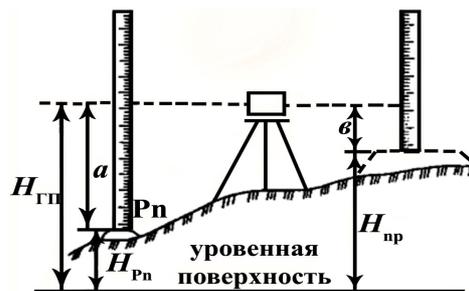


Рис. 2.3. Схема выноса в натуру проектной отметки

ки на проектный отсчет и погрешность фиксирования проектной отметки в натуре. При тщательной работе можно считать, что погрешности отсчитывания по рейкам приблизительно равны, следовательно, средняя квадратическая погрешность вынесения проектной отметки в натуре будет равна

$$m_{пр}^2 = m_{РП}^2 + 2m_a^2 + m_{ф}^2. \quad (2.10)$$

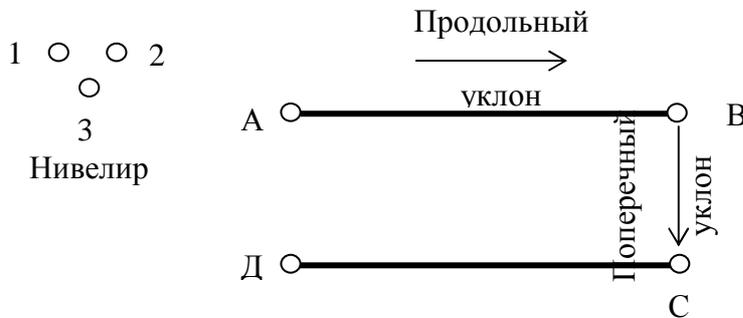


Рис. 2.4. Схема построения в натуре линий проектных уклонов

Для построения в натуре линий проектных уклонов используют нивелиры, теодолиты, а также лазерные приборы. Сначала конечные точки линии  $AB$  (рис. 2.4) устанавливают на проектные отметки.

Если дана отметка только одной точки, например  $A$ , и проектный уклон  $i$ , то отметку другой точки  $B$  можно вычислить по формуле:

$$H_B = H_A + l_{AB} \cdot i, \quad (2.11)$$

где  $l_{AB}$  – расстояние  $AB$ ;  
 $i$  – уклон.

На точках  $A$  и  $B$  устанавливают нивелирные рейки. Затем, наклоняя нивелир двумя подъемными винтами (или элевационным винтом), методом приближений добиваются, чтобы отсчеты по рейкам стали одинаковыми. В этом случае визирная линия зрительной трубы нивелира будет иметь проектный уклон.

Далее устанавливают рейку в створе линии  $AB$  (например, через 5 м), добиваясь, чтобы отсчет по ней был равен отсчету на конечные точки. Пятка рейки будет определять точку линии проектного уклона. Эти точки фиксируют кольшками соответствующей высоты.

При использовании теодолита его устанавливают в начальной точке с проектной отметкой и измеряют высоту прибора (рис. 2.5).

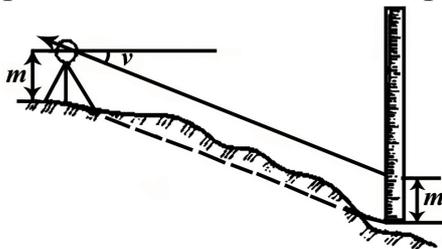


Рис. 2.5. Схема выноса в натуре теодолитом линии проектного уклона

На вертикальном круге с учетом места нуля устанавливают отсчет в градусной мере, равный проектному уклону. Линия визирования зрительной трубы теодолита будет фиксировать угол наклона  $\nu$ , соответствующий проектному уклону.

Затем, отметив на рейке или вехе высоту прибора, выполняют те же операции, что и при использовании нивелира.

С меньшей точностью линию проектного уклона (например точки  $A, B, C$ ) можно вынести при помощи трех визирок одинаковой длины (рис. 2.6).

Две визирки задают опорную линию заданного уклона. В эту линию глазомерно вводят третью визирку, основание которой будет фиксировать точку линии проектного уклона [6].

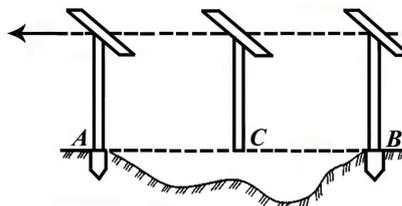


Рис. 2.6. Схема построения линии проектного уклона при помощи визирок

Для вынесения в натуру проектной плоскости устанавливают на проектные отметки точки  $A, B, C, D$  (см. рис. 2.4). Действуя подъемными винтами нивелира, добиваются методом приближений, чтобы отсчеты на всех четырех точках были равны между собой, т. е. чтобы линия визирования была параллельна заданной проектной плоскости. При установке на тот же отсчет рейки в любой точке внутри фигуры  $ABCD$  пятка ее будет лежать в проектной плоскости.

### 2.2.3. Система допусков в строительном производстве

Система допусков позволяет обеспечить геометрическую точность возведения зданий и сооружений. Её основы разработаны в системе стандартов, составляющих основу государственной «Системы обеспечения точности геометрических параметров в строительстве».

Геометрическими параметрами являются линейные и угловые величины, связанные с проектированием, изготовлением элементов конструкций и оборудования, выполнением разбивочных и монтажных работ. Различают номинальные – указанные в проекте на чертежах, и действительные параметры – определяемые в результате измерений с некоторой погрешностью.

Точность параметров выражают функциональными и технологическими допусками.

Функциональный допуск регламентирует точность собранной конструкции из условия обеспечения предъявляемых к ней функциональным требованиям. Технологический допуск устанавливает точность выполнения отдельного технологического процесса.

Различную точность одинаковых геометрических параметров выражают классом точности. Класс точности содержит ряд допусков для одинакового геометрического параметра.

Согласно ГОСТ 21778-81 при симметричном (нормальном) распределении параметра  $X$  характеристиками геометрической точности ряда являются:

- выборочное среднее  $X_m = \sum_1^n X_i / n$ ,

где  $X_i$  – действительные размеры;

- среднее квадратическое отклонение (погрешность)

$$S_x = m = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_m)^2}{n-1}};$$

- систематическое отклонение

$$\delta X_c = X_m - X_{nom},$$

где  $X_{nom}$  – номинальный размер.

Предельные значения геометрического параметра  $X$ , между которыми находится его действительное значение, вычисляются по формулам

$$X_{min} = X_m - tS_x; X_{max} = X_m + tS_x \quad (2.12)$$

где  $t$  – параметр, выбираемый из таблиц распределения функции Лапласа  $\Phi(t)$  по заданной доверительной вероятности  $P$ :

$$\Phi(t) = P - 0,5;$$

$t$	0,5	1	1,5	2,3	2,5	3	3,5	4
$\Phi(t)$	0,192	0,341	0,433	0,477	0,494	0,4986	0,4998	0,500

В стандартах, на рабочих чертежах и в других нормативных документах точность геометрических параметров характеризуют:

- действительным отклонением

$$\delta X_i = X_{min} - X_{nom}; \quad (2.13)$$

- нижним  $\delta X_{inf}$  и верхним  $\delta X_{sup}$  отклонениями

$$\delta X_{inf} = X_i - X_{nom}; \delta X_{sup} = X_{max} - X_{nom}; \quad (2.14)$$

- допуском

$$\Delta X = X_{max} - X_{min}; \quad (2.15)$$

- предельным отклонением

$$\delta X = \frac{\Delta X}{2} = \frac{X_{max} - X_{min}}{2} = \frac{\delta X_{sup} - \delta X_{inf}}{2}. \quad (2.16)$$

Существует взаимосвязь величин:

$$X_{min} = X_{nom} + \delta X_c - \delta X; X_{max} = X_{nom} + \delta X_c + \delta X;$$

$$\Delta X = 2\delta X = \delta X_{sup} - \delta X_{inf}.$$

Согласно ГОСТ 21779-82 значения технологических допусков  $\Delta X$  вычисляются по формуле:

$$\Delta X = iK, \quad (2.17)$$

где  $i$  – единица допуска;  
 $K$  – коэффициент точности.

Единица допуска  $i$  определяется в зависимости от размера параметра, вида его искажения или вида геодезических и монтажных работ. Коэффициент точности  $K$  устанавливает число единиц допуска  $i$  для данного класса точности.

Технологические допуски назначаются для интервалов размеров геометрических параметров. Границы интервалов, коэффициенты точности и допуски выбирают в соответствии со значениями системы предпочтительных чисел или производных от них.

Система допусков в строительстве построена по принципу группирования погрешностей однотипных технологических процессов производства геодезических и монтажных работ [23].

**Рассмотрим допуски параметров изготовления элементов строительных конструкций.** Согласно ГОСТ 21779-82 основными дефектами элементов строительных конструкций являются: искажения линейных размеров, отклонения от прямолинейности (шероховатость) поверхности, отклонения от плоскости (искривление опорных плоскостей, овальность), искажения перпендикулярности поверхностей (клиновидность), перекося (неравенство диагоналей). На эти виды дефектов установлены допуски. Единица допуска вычисляется по формуле

$$i = \alpha_i (0,8 + 0,001\sqrt{L})(\sqrt[3]{L + 25} + 0,01\sqrt[3]{L^2}), \quad (2.18)$$

где  $L$  – размер элемента, мм;  
 $\alpha$  – коэффициент, зависящий от вида дефекта (см. табл. 2.2).

Таблица 2.2

Значения коэффициента  $\alpha$ , зависящего от вида дефекта

Вид дефекта	$\alpha$	K по классам точности								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Искажение линейных размеров	1	0,1	0,16	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0
Отклонение от прямолинейности, плоскости, неравенство диагоналей	1	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	–	–	–
Отклонение перпендикулярности	0,6	0,16	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0

Величина допусков вычисляется по формуле (2.17). Значение коэффициентов устанавливается в зависимости от вида дефекта и класса точности (см. табл. 2.3).

Таблица 2.3

Значения коэффициентов в зависимости от вида дефекта и класса точности

Интервал, мм		Класс точности									
Свыше	До	Линейных размеров									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
20	20	0,24	0,4	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6	10	
	60	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0	3	5	8	12	
	60	120	0,46	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6	10	16
Свыше	До	Перпендикулярности									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
120	250	0,5	0,8	1,2	2,0	3	5	8	12	20	
	250	500	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6	10	16	24
Свыше	До	Прямолинейности и плоскостности									
				1	2	3	4	5	6		
500	1 000	0,8	1,2	2,0	3	5	8	12	20	30	
	1 000	1 600	1,0	1,6	2,4	4	6	10	16	24	40
	1 600	2 500	1,2	2,0	3	5	8	12	20	30	50
Свыше	До	Равенства диагоналей									
				1	2	3	4	5	6		
2 500	4 000	1,6	2,4	4	6	10	16	24	40	60	
	4 000	8 000	2,0	3	5	8	10	20	30	50	80
8 000	16 000	2,4	4	6	10	16	24	40	60	100	
16 000	25 000	3,0	5	8	12	20	30	50	80	120	
25 000	40 000	4,0	6	10	16	24	40	60	100	160	
40 000	60 000	5,0	8	12	20	30	50	80	120	200	

Допуски линейных размеров регламентируют точность изготовления по длине, ширине, высоте, толщине или диаметру элементов и положения выступов, выемок, отверстий, проемов, крепежных и соединительных деталей, а также положения наносимых на элементы ориентиров (рисок, осей и т. д.).

Допуски линейных размеров содержат 9 классов точности для различных интервалов  $20 < X_i < 60\,000$ .

Отклонения от прямолинейности измеряют по всей длине от линии, проходящей через две крайние точки конструкции, до реальной точки конструкции. При этом отклонения могут быть как положительными, так и отрицательными. На заданном отрезке (части длины) конструкции отклонения измеряют от линии, касательной к точкам поверхности, при этом они будут только положительными.

Аналогично отклонение от плоскости измеряют от плоскости, проходящей через три крайние точки реальной конструкции, или от прилегающей плоскости.

Допуски прямолинейности и плоскостности содержат 6 классов точности для интервалов  $1000 < X < 60000$ .

Искажения перпендикулярности поверхностей деталей (рёбер или плоскостей) измеряют по заданной или всей длине элемента. В первом случае неперпендикулярность определяют от условной прилегающей плоскости, а во втором – от плоскости, проходящей через две крайние точки элемента. Длина прилегающей плоскости (линии) выбирается из ряда 0 – 250 – 500 – 1000 – 1600 – 2500 – 4000. Допуски перпендикулярности содержат девять классов точности.

Для крупноразмерных элементов перпендикулярность поверхностей регламентируется дополнительно допусками равенства диагоналей, определяемыми как разность их длин. Величины допусков равенства диагоналей в интервалах  $4000 < X < 60000$  имеют шесть классов точности (см. табл.2.3). Допуски перпендикулярности приводятся для интервалов  $250 < X < 4000$ .

**Рассмотрим допуски геодезических разбивочных работ.** Нормы точности на разбивочные работы задаются в проекте или в нормативных документах: строительных нормах и правилах (СНиП), Государственном общесоюзном стандарте (ГОСТ), отраслевых стандартах (ОСТ), ведомственных инструкциях. Они могут быть указаны в явном виде, как это сделано в ГОСТ 21779-82 «Технологические допуски», или по видам измерений (угловые, линейные, высотные) – в СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве».

При строительстве новых, расширении, реконструкции и техническом перевооружении действующих предприятий, зданий и сооружений точность геодезических работ должна соответствовать требованиям СНиП 3.01.03-84 «Геодезические работы в строительстве». Данный нормативный документ содержит условия обеспечения точности всех видов измерений при производстве геодезических разбивочных работ в строительстве.

Требования к точности разбивочных работ зависят от многих факторов: вида, назначения, местоположения сооружения; размеров сооружения и взаимного расположения его частей; материала, из которого возводится сооружение; порядка и способа производства строительных работ; технологических особенностей эксплуатации и т. п.

В СНиП 3.01.03-84 приводятся величины средних квадратических погрешностей, с которыми необходимо выносить на местность разбивочные элементы (расстояния, углы, высоты). Величины погрешностей разбивочных элементов (см. табл. 2.4) даны по шести классам точности (1-р, 2-р, ..., 6-р) в зависимости от этажности, конструктивных особенностей, способов выполнения соединений, сопряжений и узлов сооружений [39].

Таблица 2.4

## Величины погрешностей разбивочных элементов

Класс точности	Характеристика зданий, сооружений и конструкций	Величины средних квадратических ошибок результатов измерений при разбивочных работах			
		линейные измерения	угловые измерения, угл. с	определение превышения на станции, мм	передача отметок с исходного на монтажный горизонт, мм
1-р	Металлические конструкции с фрезерованными поверхностями, сборные железобетонные конструкции, монтируемые методом самодетекции в узлах, сооружениях высотой от 100 до 120 м с пролетами от 24 до 36 м	1:15000	5	1	4
2-р	Здания от 16 до 25 этажей, сооружения от 60 до 100 м с пролетами от 18 до 24 м	1:10000	10	2	3
3-р	Здания от 5 до 16 этажей, сооружения высотой от 16 до 60 м с пролетами от 6 до 18 м	1:5000	20	2,5	2,5
4-р	Здания до 5 этажей, сооружения высотой до 15 м с пролетами до 6 м	1:3000	30	3	2
5-р	Деревянные конструкции, инженерные сети, дороги, подземные пути	1:2000	30	5	10
6-р	Земляные и временные сооружения	1:1000	45	10	20

Наличие одной из характеристик, указанных в таблице, служит основанием для назначения соответствующих требований к точности. В этом же СНиПе указываются приборы, применение которых может обеспечить требуемую нормативную точность разбивочных работ.

ГОСТ 21779-82 регламентирует допуски по видам геодезических работ при:

- а) разбивке точек и осей в плане;
- б) передаче точек и осей по вертикали;
- в) разбивке створных точек;
- г) разбивке высотных отметок на расстоянии  $L$ ;
- д) передаче высотных отметок по вертикали  $H$ ;
- е) разбивке взаимно перпендикулярных осей.

Допуски вычисляются по формуле (2.17). Единица допуска определяется по формуле

$$i = \alpha \cdot L, \quad (2.19)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, зависящий от вида разбивочных работ;

$L$  – длина (или высота  $H$ ) разбивки (передачи), м.

Стандартом установлено шесть классов точности геодезических разбивочных работ. Значения коэффициентов  $K$  и  $\alpha$  приведены в табл. 2.5.

Точность геодезических работ характеризуют допусками, верхним и нижним отклонениями  $\delta_{inf}$  и  $\delta_{sup}$ , а при симметричном распределении – предельным отклонением  $\delta X$ , определяемым по формуле (2.16).

Таблица 2.5

Класс точности	1	2	3	4	5	6
Коэффициент $K$	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5
Вид разбивки	$a$	$b$	$c$	$z$	$d$	$e$
Коэффициент	1,0	0,4	0,25	0,6	0,25	0,4

На стадии проектирования и в процессе контрольно-монтажных измерений обычно принимают симметричное распределение ошибок геодезических работ, когда  $\delta X = \Delta X/2$ .

Допуски на геодезические разбивочные работы приведены в табл. 2.6 – 2.8. При передаче точек и осей по вертикали, разбивке высотных отметок с одного монтажного горизонта передают на верхний или нижний монтажный горизонты на высоту  $H$ , а при передаче – на расстояние  $L$ . Стандартом установлено шесть классов точности по всем видам разбивочных работ и интервалам  $L$  и  $H$ .

Таблица 2.6

**Допуски разбивки точек и осей в плане**

Интервал $L$ , мм		Класс точности					
свыше	до	1	2	3	4	5	6
–	2 500	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6
2 500	4 000	1,0	1,6	2,4	4	6	10
4 000	8 000	1,6	2,4	4	6	10	16
8 000	16 000	2,4	4	6	10	16	24
16 000	25 000	4	6	10	16	24	40
25 000	40 000	6	10	16	24	40	60
40 000	60 000	10	16	24	40	60	100
60 000	100 000	16	24	40	60	100	160
100 000	160 000	24	40	60	100	160	–

Таблица 2.7

Допуски разбивки точек и осей по вертикали, створности точек

Интервал $H$ , мм		Интервал $L$ , мм		Класс точности					
свыше	90	свыше	90	1	2	3	4	5	6
	2 500		4 000	–	–	0,6	1,0	1,6	2,4
2 500	4 000	4 000	8 000	–	0,6	1,0	1,6	2,4	4
1 000	8 000	8 000	16 000	0,0	1,0	1,6	2,4	4	6
8 000	16 000	16 000	25 000	1,0	1,6	2,4	4	6	10
16 000	25 000	25 000	40 000	1,6	2,4	4	6	10	16
25 000	40 000	40 000	60 000	2,4	4	6	10	16	24
40 000	60 000	60 000	100 000	4	6	10	16	24	40
00 000	100 000	100 000	160 000	6	10	16	24	40	60
100 000	160 000	–	–	10	16	24	40	60	100

Таблица 2.8

Допуски разбивки, передачи высотных отметок и перпендикулярности осей

Интервал $H$ , мм		Интервал $L$ , мм		Класс точности					
свыше	90	свыше	90	1	2	3	4	5	6
	2 500		8 000	–	0,0	1,0	1,6	2,4	4
2 500	4 000	8 000	16 000	0,6	1,0	1,6	2,4	4	6
4 000	8 000	16 000	25 000	1,0	1,6	2,4	4	6	10
8 000	16 000	25 000	40 000	1,6	2,4	4	6	10	16
16 000	25 000	40 000	60 000	2,4	4	6	10	16	24
25 000	40 000	60 000	100 000	4	6	10	16	24	40
40 000	60 000	100 000	160 000	6	10	16	24	40	60
60 000	100 000	–	–	10	16	24	40	60	100
100 000	160 000	–	–	16	24	40	60	100	160

**Рассмотрим допуски строительно-монтажных работ.** При монтаже элементы строительных конструкций устанавливают в плане и по высоте относительно точек, линий или поверхностей, вынесенных в результате геодезических разбивочных работ. В практике производства строительно-монтажных работ установку элементов выполняют относительно вынесенных точек или осей, по граням элементов или рискам, специально нанесенным на поверхности элемента. ГОСТ 21779-82 устанавливает два вида допусков: при совмещении ориентиров (исходного и на элементе) и при симметричной установке элементов.

Стандарт на монтажные работы содержит шесть классов точности по видам монтажа (табл. 2.9).

Допуски  $\Delta X$  на строительно-монтажные работы рассчитываются по формуле (2.17), а единица допуска  $I$  – по формуле (2.18). Коэффициент  $\alpha$  указан в табл. 2.9 а, б.

Таблица 2.9, а

Совмещение ориентиров ( $\alpha = 1,6$ )

Интервал, мм		Классы точности					
свыше	до	1	2	3	4	5	6
	120	1,6	2,4	4	6	10	16
120	250	2,0	3	5	8	12	20
250	500	2,4	4	6	10	16	24
500	1000	3	5	8	12	20	30
1000	1600	4	6	10	16	24	40

Таблица 2.9, б

Симметричность установки конструкций ( $\alpha = 0,6$ )

Интервал, мм		Классы точности							
свыше	до	1	2	3	4	5	6		
1600	2500	2	3	5	8	12	20	30	50
2500	4000	2,4	4	6	10	16	24	40	60
4000	8000	3	5	8	12	20	30	50	80
8000	16000	4	6	10	16	24	40	60	100
16000	25000	5	8	12	20	30	50	80	120
25000	40000	6	10	16	24	40	60	120	200
40000	60000	8	12	20	30	50	80	120	200
Коэффициенты $K$	б) 0,25	0,4	а) 0,25 0,6	0,4 1,0	0,6 1,6	1,0 2,5	1,6	2,5	

Величина допуска совмещения ориентиров в плане или по высоте зависит от номинального размера  $L$  между ориентирами. В табл. 2.9 для совмещения ориентиров указаны интервалы  $120 < L < 60\ 000$ , а при симметричной установке  $2500 < L < 60000$ .

Симметричность установки включает варианты совмещения: осей симметрии двух конструкций, оси конструкции с осью отверстия, осей двух отверстий как с перекрытиями, так и с зазорами.

Допуски строительно-монтажных работ характеризуют точность установки элементов конструкций после их закрепления. При временном креплении в зависимости от способа крепления точность монтажа необходимо принимать на один два класса выше.

Во многих случаях указывают нормы на установку строительных конструкций относительно теоретического (проектного) положения, откуда характеристики точности разбивочных работ могут быть получены лишь расчетным путем.

Точность геометрических параметров в нормативных документах и чертежах указывают в виде симметричных допусков  $\Delta X$ , которые определяют допустимую разность между наибольшим и наименьшим значениями

каждого параметра. Для расчетов пользуются **допускаемым (предельным) отклонением**  $\delta X$ , т. е. разностью между наибольшим или наименьшим значением параметра и его проектным значением, а также средним квадратическим отклонением (погрешностью)  $S_X$ . Переход от допуска к предельному и среднему квадратическому отклонениям можно выполнить по формулам

$$\delta X = \frac{\Delta X}{2}; S_X = \frac{\delta X}{3} = \frac{\Delta X}{6}. \quad (2.20)$$

Таким образом, если пользоваться допусками, указанными в нормативных документах непосредственно на разбивочные работы, то можно по формулам (2.20) получить исходные показатели точности для выбора способов и средств геодезических измерений.

Если указываются допуски на положение строительных конструкций, то из полученных по формулам (2.20) нормативных величин необходимо определить долю, приходящуюся на геодезические измерения. Для этого с учетом конкретной технологии возведения строительной конструкции решается вопрос о соотношении погрешностей каждой технологической операции. Так, например, точность установки колонны здания на свое проектное место будет зависеть от погрешностей геодезических измерений, изготовления колонны, монтажных работ и влияния деформаций, которые по разным причинам могут происходить после монтажа.

Если принять принцип равных влияний всех  $n$  источников погрешностей, то на каждый из них, в том числе на геодезические измерения, придется доля от общей погрешности установки, равная:

$$\delta_{геод} = \delta_i = \frac{\delta_{общ}}{\sqrt{n}}. \quad (2.21)$$

Когда точностные возможности строительного-монтажного производства ограничены, применяют принцип ничтожно малого влияния погрешностей геодезических измерений на общую погрешность, т. е.:

$$\delta_{геод} = k \cdot \delta_{общ}, \quad (2.22)$$

где  $k$  – коэффициент, определяющий степень влияния погрешностей геодезических измерений на общую погрешность.

Обычно коэффициент  $k$  принимают равным 0,2 – 0,4. Для приведенного примера примем  $\delta_{общ} = 5$  мм,  $n = 4$ ,  $k = 0,3$ . Тогда по принципу равных влияний получим  $\delta_{геод} = 2,5$  мм, а по принципу ничтожно малого влияния –  $\delta_{геод} = 1,5$  мм.

Приведенный принцип расчета в основном относится к разбивкам детальным осей. Точность разбивки главных или основных осей зависит от способа определения положения точек проектируемого здания. В большинстве случаев размещение зданий, сооружений и их взаимную компоновку проектируют на крупномасштабных топографических планах. Точность размещения объектов строительства определяется точностью плана. Следовательно, чтобы обеспечить подобие в положении объекта на проектной чертеже и на местности, необходимо выдержать точность плана. Известно, что точность плана характеризуется средней квадратической погрешностью определения положения точки, равной 0,2 мм на плане. С учетом того, что рабочие чертежи разрабатываются в основном на планах масштаба 1:500, эта погрешность на местности составит 10 см. Этой точности в основном и придерживаются при выносе в натуру точек, определяющих положение главных или основных осей.

При выполнении разбивочных работ на территории с плотной застройкой, насыщенной подземными коммуникациями, или при реконструкции комплекса зданий и сооружений основные оси выносят в натуру с точностью, определяемой не графическими построениями, а аналитическими расчетами. В этом случае погрешность выноса основных осей по отношению к существующей застройке составляет величину 2 – 3 см [6].

Расчетный путь определения точности разбивочных работ требует от исполнителя определенной инженерной подготовки. Для более простого решения этой задачи пользуются требованиями СНиП 3.01.03-84 (см. табл. 2.4).

## 2.3. Теория и точность способов разбивочных работ

### 2.3.1. Основные источники погрешностей при разбивочных работах

Для выполнения разбивочных работ применяют способы: полярных и прямоугольных координат, угловой, линейной и створной засечек, створно-линейный и бокового нивелирования.

Применение того или иного способа зависит от вида сооружения, условий его возведения, схемы расположения пунктов опорной разбивочной сети, наличия измерительных средств, этапа производства разбивочных работ и других факторов. Целесообразнее использовать тот способ, который при прочих равных условиях обладает более высокой точностью. В свою очередь, точность разбивочных работ определяется различными источниками погрешностей, одна часть которых зависит от геометрии применяемого способа, другая является общей для всех способов.

Погрешности, зависящие от геометрии способа разбивки, т. е. от способа построения в натуре проектных линий и углов, называют *погрешностями собственно разбивочных работ*. Ожидаемые величины этих погрешностей  $m_{ср}$  вычисляют по известным в геодезии формулам.

На точность разбивочных работ влияют погрешности исходных данных  $m_{исх}$ , т. е. погрешности в положении опорных пунктов, с которых производится разбивка. Их учитывать довольно сложно, поэтому для каждого способа разбивки при расчете ожидаемых величин определяют их приближенные значения. Погрешности в определении координат исходных пунктов, в качестве которых при разбивках выступают пункты разрядной полигонометрии и теодолитных ходов, можно принять равными 10 мм.

При выносе проектной точки в натуру необходимо зафиксировать ее положение на местности, что приводит к погрешности фиксирования  $m_{ф}$ . Погрешность фиксирования в случае применения визирной пели, установленной на некоторой высоте над поверхностью фиксируемой точки, определяется способом проектирования. Применяя визирные марки с оптическим отвесом, можно зафиксировать точку с точностью 1 мм. При использовании нитяных отвесов эта погрешность увеличивается: в закрытых помещениях до 2 – 3 мм, а на открытой местности при небольшом ветре – до 3 – 5 мм. Для фиксации точки в качестве визирной цели часто применяют карандаш, гвоздь, шпильку. В этом случае можно добиться точности фиксации порядка 0,5 – 1,0 мм. При закреплении точки кольшком погрешность фиксирования составит 3 – 5 мм, при использовании болтов или шурупов – 1 мм и меньше.

При отложении проектных углов и задания проектного направления возникают погрешности центрирования угломерного прибора и визирных целей, а также погрешность визирования. Погрешности центрирования влияют не на точность откладываемого угла как при угловых измерениях, а на положение выносимой в натуру точки. Их влияние аналогично влиянию погрешности исходных данных. Погрешность визирования (в угл. с), зависящую от увеличения  $\Gamma^x$  зрительной трубы, подсчитывают по формуле

$$m_{виз}'' = 20'' / \Gamma^x. \quad (2.23)$$

В линейной мере эта погрешность имеет вид

$$m_{виз} = \frac{m_{виз}'' \cdot S}{\rho''}, \quad (2.24)$$

где  $S$  – расстояние визирования, мм.

На точность выполнения разбивочных работ существенное влияние могут оказать погрешности из-за внешних условий и особенно боковая рефракция. Для их уменьшения необходимо выбрать наиболее благоприятное время и условия производства разбивочных работ.

### 2.3.2. Способы прямой и обратной угловых засечек

Способ угловой засечки применяют для разбивки недоступных точек, находящихся на значительном расстоянии от исходных пунктов.

Различают прямую и обратную угловые засечки.

В способе **прямой угловой засечки** положение на местности проектной точки  $C$  (рис. 2.7) находят отложением на исходных пунктах  $A$  и  $B$  проектных углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Базисом засечки служит или специально измеренная сторона, или сторона разбивочной сети. Проектные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  вычисляют как разность дирекционных углов сторон. Дирекционные углы находят из решения обратной геодезической задачи по проектным координатам определяемой точки и известным координатам исходных пунктов.

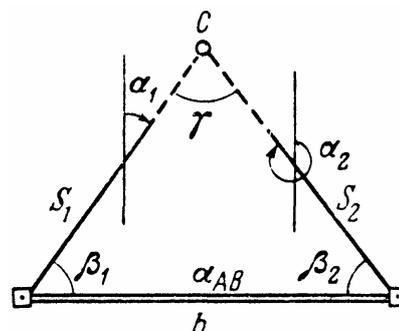


Рис. 2.7. Схема разбивки способами прямой угловой и линейной засечек

На точность разбивки способом прямой угловой засечки оказывают влияние погрешности собственно прямой засечки, исходных данных, центрирования теодолита и визирных целей, фиксирования разбивочной точки, т. е.:

$$m_C^2 = m_{c.з}^2 + m_{исх}^2 + m_{ц}^2 + m_{ф}^2. \quad (2.25)$$

Средняя квадратическая погрешность собственно засечки равна:

$$m_{c.з} = \frac{m_{\beta} b}{\rho \cdot \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2} \quad (2.26)$$

Или

$$m_{c.з} = \frac{m_{\beta}}{\rho \cdot \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}, \quad (2.27)$$

где  $m_{\beta}$  – средняя квадратическая погрешность отложения углов  $\beta_1$  и  $\beta_2$ .

Иногда возникает необходимость определить ошибку положения точки по осям координат. В этом случае ошибку засечки вычисляют по формулам:

$$m_x^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2 \cdot \sin^2 \gamma} (S_1^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + S_2^2 \cdot \cos^2 \alpha_1), \quad (2.28)$$

$$m_y^2 = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2 \cdot \sin^2 \gamma} (S_1^2 \cdot \sin^2 \alpha_2 + S_2^2 \cdot \sin^2 \alpha_1). \quad (2.29)$$

Для приближенных расчетов принимают  $S_1 = S_2 = S$ . Тогда формула (2.27) будет иметь вид:

$$m_{c.з} = \frac{m_{\beta} \sqrt{2}}{\rho \cdot \sin \gamma} S. \quad (2.30)$$

При заданной погрешности  $m_{\beta}$  величина погрешности засечки будет зависеть от угла  $\gamma$  и расстояния  $S$  до определяемой точки. Согласно исследованиям А. С. Чеботарева наиболее выгодная фигура – равнобедренный треугольник ( $\beta_1 = \beta_2$ ,  $S_1 = S_2$ ). Погрешность засечки будет минимальной при  $\gamma = 109^{\circ}28'$ . Исследования проф. А. Ф. Лютца показывают, что наибольшая точность достигается при  $\gamma = 90^{\circ}$  и  $S_1 = S_2$ .

Погрешность исходных данных является следствием погрешностей в положении пунктов  $A$  и  $B$ . Если принять, что  $m_A = m_B = m_{AB}$ , то

$$m_{исх}^2 = m_{AB}^2 \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma} = m_{AB}^2 \frac{S_1^2 + S_2^2}{b^2}. \quad (2.31)$$

По аналогии с формулой (2.31) совместное влияние погрешностей центрирования теодолита и визирной цели выразится формулой

$$m_{ц}^2 = m_l^2 \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma} = m_l^2 \frac{S_1^2 + S_2^2}{b^2}; \quad (2.32)$$

где  $m_l$  – средняя квадратическая погрешность определения линейного элемента центрирования.

При разбивочных работах центрирование теодолита и визирных целей с помощью оптических отвесов, фиксация выносимой точки могут быть выполнены сравнительно точно. Поэтому основными погрешностями, определяющими точность способа прямой угловой засечки, являются погрешности собственно засечки и исходных данных. Суммарная величина этих погрешностей составит

$$m_C^2 = \left( \frac{m_{\beta}^2 b^2}{\rho^2 \sin^2 \gamma} + m_{AB}^2 \right) \frac{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2}{\sin^2 \gamma} \quad (2.33)$$

или

$$m_C^2 = \left( \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2 \sin^2 \gamma} + \frac{m_{AB}^2}{b^2} \right) (S_1^2 + S_2^2). \quad (2.34)$$

Часто при проектировании разбивочных работ решают вопрос о необходимой точности отложения разбивочных элементов, если задана точность определения проектного положения выносимой в натуру точки. Для прямой угловой засечки определяют погрешность отложения проектных углов [6].

Так, например, для  $b = 500$  м,  $m_C = 20$  мм,  $m_{AB} = 8$  мм, используя формулу (2.34), будем иметь  $m_B = 2,3''$ .

Отложить с такой точностью угол довольно сложно. Требуемая точность разбивки в этом случае может быть достигнута следующим образом. Отложив с возможной точностью углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , определяют в натуре положение точки  $C$ . Затем на опорных пунктах соответствующим числом приемов измеряют точное значение отложенных углов. Для приведенного примера при использовании теодолита 2Т2 надо выполнить не менее четырех приемов. Измеряют также угол  $\gamma$  на точке  $C$ . Распределив невязку в треугольнике поровну на все три угла, определяют координаты точки  $C$ . Сравнивая их с проектными значениями, находят поправки (редукции), по которым в натуре смещают (редуцируют) приближенно вынесенную точку  $C$ . Такой способ называют **способом замкнутого треугольника**. При использовании для разбивки третьего исходного пункта удается повысить точность разбивки в  $\sqrt{2}$  раз.

На принципе редуцирования основано и применение для разбивки *способа обратной угловой засечки*. На местности находят приближенно положение  $O'$  разбиваемой проектной точки  $O$  (рис. 2.8). В этой точке устанавливают теодолит и с требуемой точностью измеряют углы не менее чем на три исходных пункта с известными координатами.

По формулам обратной засечки вычисляют координаты приближенно определенной точки и сравнивают их с проектными значениями. По разности координат вычисляют величины редукции (угловой и линейный элементы) и смещают точку в проектное положение. Для контроля на этой точке измеряют углы, вновь вычисляют ее координаты и сравнивают их с проектными. В случае недопустимых расхождений все действия повторяют.

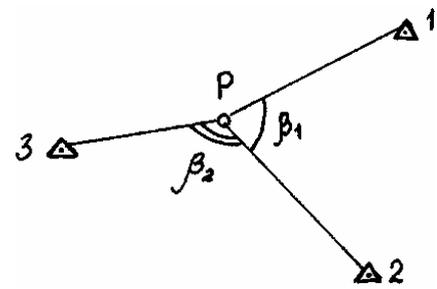


Рис. 2.8. Схема способа обратной угловой засечки по трем исходным пунктам

Для вычисления координат точки  $P$  можно использовать формулы Деламбера и Гаусса. Применительно к рис. 2.8, они будут иметь вид:

$$tg\alpha_2 = \frac{(Y_3 - Y_2)ctg\beta_2 + (Y_1 - Y_2)ctg\beta_1 - (X_3 - X_1)}{(X_3 - X_2)ctg\beta_2 + (X_1 - X_2)ctg\beta_1 + (Y_3 - Y_1)}; \quad (2.35)$$

$$X_P = \frac{X_1 \cdot tg\alpha_1 - X_2 \cdot tg\alpha_2 + (Y_2 - Y_1)}{tg\alpha_1 - tg\alpha_2}; \quad (2.36)$$

$$Y_P = Y_1 + (X_P - X_1) \cdot tg\alpha_1; \quad Y_P = Y_3 + (X_P - X_3) \cdot tg\alpha_3;$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 - \beta_1 \pm 180^\circ; \quad \alpha_3 = \alpha_2 + \beta_2 \pm 180^\circ.$$

Также для решения обратной угловой засечки можно использовать формулы Пранис-Праневича, Ансермета [19], они будут рассмотрены при выполнении лабораторной работы № 6.

На точность разбивки способом обратной угловой засечки оказывают влияние погрешности собственно засечки, исходных данных, центрирования теодолита и визирных целей, фиксирования разбивочной точки и редуцирования. Очевидно, что при сравнительно больших расстояниях от определяемого до исходных пунктов влияние первых двух источников будет наиболее существенным; остальными погрешностями можно пренебречь.

Погрешность собственно обратной засечки может быть подсчитана по приближенной формуле:

$$m_{c.з.} = \frac{m_{\beta} \cdot S_1}{\rho \cdot \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{213})} \cdot \sqrt{\left(\frac{S_2}{b_{12}}\right)^2 + \left(\frac{S_3}{b_{13}}\right)^2}, \quad (2.37)$$

где  $S$  – расстояние от определяемого до соответствующих опорных пунктов;  
 $b$  – расстояние между соответствующими опорными пунктами;  
 $\omega_{213}$  – угол между исходными сторонами.

Если для приближенных расчетов принять  $S_1 = S_2 = S_3 = S_{cp}$ ;  $b_{12} = b_{13} = b_{cp}$ , то формула (2.37) примет вид:

$$m_{c.з.} = \frac{m_{\beta} \cdot S_{cp} \sqrt{2}}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{213})} \cdot \frac{S_{cp}}{b_{cp}}. \quad (2.38)$$

Погрешности исходных данных учитывают по формуле:

$$m_{исх} = \frac{m_{1,2,3}}{\sin \tau} \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{b_{12}^2} + \frac{S_1^2 + S_3^2}{b_{13}^2} + \frac{S_2^2 \cdot S_3^2}{b_{12} \cdot b_{13}}} \cdot \cos \tau, \quad (2.39)$$

где  $m_1 = m_2 = m_3 = m_{1,2,3}$  – погрешности в положении исходного пункта;  
 $\tau = \beta_1 + \beta_2 + \omega_{213} - 180^\circ$ .

Например, при  $S_{cp} \approx 1350$  м,  $b_{cp} \approx 2200$  м,  $\omega_{213} \approx 80^\circ$ ,  $m_{\beta} = 2''$ ,  $m_{1,2,3} = 5$  мм получим  $m_{c.з.} = 11,5$  мм,  $m_u = 6,2$  мм, а общая погрешность вынесения на местность проектной точки способом обратной угловой засечки составит:

$$m_p = \sqrt{m_{c.з.}^2 + m_u^2} = 13,1 \text{ мм.}$$

### 2.3.3. Способ линейной засечки

В способе линейной засечки положение выносимой в натуру точки  $C$  (см. рис. 2.7) определяют в пересечении проектных расстояний  $S_1$  и  $S_2$ , отложенных от исходных точек  $A$  и  $B$ . Этот способ обычно применяют для разбивки осей строительных конструкций в случае, когда проектные расстояния не превышают длины мерного прибора.

Наиболее удобно разбивку производить при помощи двух рулеток. От точки  $A$  по рулетке откладывают расстояние  $S_1$ , а от точки  $B$  по второй рулетке –  $S_2$ . Перемещая обе рулетки при совмещенных нулях с центрами пунктов  $A$  и  $B$ , на пересечении концов отрезков  $S_1$  и  $S_2$  находят положение определяемой точки  $C$ .

Средняя квадратическая погрешность в положении определяемой точки в общем виде выражается формулой, аналогичной выражению (2.34) для угловой засечки. Погрешность собственно линейной засечки может быть подсчитана по формуле:

$$m_{c.з.} = \sqrt{\frac{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2}{\sin^2 \gamma}}. \quad (2.40)$$

Минимальной погрешность собственно линейной засечки будет при  $\gamma = 90^\circ$ . В этом случае

$$m_{c.з.} = m_S \sqrt{2} \quad (2.41)$$

Влияние погрешностей исходных данных в линейной засечке выражается формулой

$$m_{исх}^2 = \frac{m_A^2 + m_B^2}{2 \sin^2 \gamma}. \quad (2.42)$$

Для засечки при  $\gamma = 90^\circ$   $m_{исх} = m_{AB}$ .

В случае применения мерных приборов погрешности центрирования отсутствуют. Тогда общая погрешность в определении положения разбиваемой точки  $C$  будет в основном зависеть от суммарной погрешности собственно засечки и исходных данных и выражаться формулой

$$m_C^2 = \frac{1}{\sin \gamma} (2m_S^2 + m_{AB}^2). \quad (2.43)$$

Для приближенных расчетов, приняв  $\gamma = 90^\circ$ , будем иметь

$$m_C = \sqrt{2m_S^2 + m_{AB}^2}. \quad (2.44)$$

Определить необходимую точность отложения разбивочных расстояний можно, если задана точность определения проектного положения выносимой в натуре точки и известна погрешность в положении исходных пунктов [3,6]. Так, например, при  $m_C = 10$  мм и  $m_{AB} = 5$  мм из формулы (2.44) можно получить  $m_S = 6$  мм.

В случае, если для линейной засечки применяются дальномерные комплекты, которые центрируются при помощи штативов, то влияние погрешностей центрирования можно определить по формуле:

$$m_{ц} = m_l / \sin \gamma. \quad (2.45)$$

### 2.3.4. Способ полярных координат

Способ полярных координат широко применяют при разбивке осей зданий, сооружений и конструкций с пунктов теодолитных или полигонометрических ходов, когда эти пункты расположены сравнительно недалеко от выносимых в натуру точек.

В этом способе положение определяемой точки  $C$  (рис. 2.9) находят на местности путем отложения от направления  $AB$  проектного угла  $\beta$  и расстояния  $S$ . Проектный угол  $\beta$  находится как разность дирекционных углов  $\alpha_{AB}$  и  $\alpha_{AC}$ , вычисленных как и расстояние  $S$  из решения обратных геодезических задач по координатам точек  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

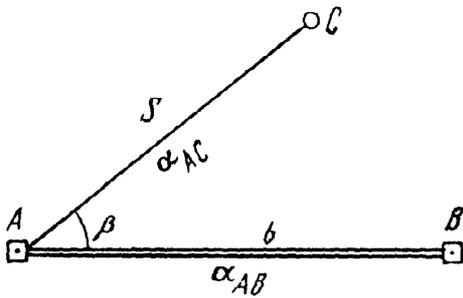


Рис. 2.9. Схема разбивки способом полярных координат

Для контроля положение зафиксированной точки  $C$  можно проверить, измерив угол на пункте  $B$  и сравнив его со значением, полученным как разность дирекционных углов  $\alpha_{BA}$  и  $\alpha_{BC}$ .

Средняя квадратическая погрешность выноса в натуру точки  $C$  определяется формулой:

$$m_C^2 = m_{c.p.}^2 + m_{исх}^2 + m_{ц}^2 + m_{ф}^2. \quad (2.46)$$

Погрешность собственно разбивки полярным способом зависит от погрешности  $m_\beta$  построения угла  $\beta$  и погрешности  $m_S$  отложения проектного расстояния  $S$ :

$$m_{c.p.}^2 = m_S^2 + \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 \cdot S^2. \quad (2.47)$$

Влияние погрешностей исходных данных при  $m_A = m_B = m_{AB}$  выражается формулой:

$$m_{исх}^2 = m_{AB}^2 \left[ 1 + \left( \frac{S}{b} \right)^2 - \frac{S}{b} \cos \beta \right], \quad (2.48)$$

а погрешностей центрирования:

$$m_{ц}^2 = m_l^2 \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{S}{b} \right)^2 - \frac{S}{b} \cos \beta \right] \quad (2.49)$$

Формулы (2.48) и (2.49) аналогичны. Из этих формул следует, что для уменьшения влияния ошибок исходных данных и центрирования необходимо, чтобы угол  $\beta$  и отношение  $S/b$  были минимальны, полярный угол был бы меньше прямого, а проектное расстояние – меньше базиса разбивки, т. е.  $\beta \leq 90^\circ$ ,  $S \leq b$ .

Для приближенных расчетов, приняв  $\beta = 90^\circ$  и  $S = b$ , получим:

$$m_{исх}^2 = 2m_{AB}^2; \quad m_{\psi}^2 = 2m_l^2, \quad (2.50)$$

а для суммарной погрешности в положении точки, разбиваемой способом полярных координат:

$$m_C^2 = m_S^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \cdot S^2 + 2m_{AB}^2 + m_{\psi}^2 + m_\phi^2. \quad (2.51)$$

Для примера оценим точность разбивки проектного положения точки с пунктов полигонометрии ( $b = 250$  м,  $m_{AB} = 10$  мм). Примем  $S = 100$  м,  $\frac{m_S}{S} = \frac{1}{5000}$ ,  $\beta = 45^\circ$ ,  $m_\beta = 10''$ ,  $m_l = 1$  мм и  $m_\phi = 1$  мм.

Погрешность отложения проектной линии составит 20 мм; линейная величина погрешности построения проектного угла – 5 мм; влияние погрешностей исходных данных – 9,4 мм.

Из соотношения полученных величин видно, что погрешностями центрирования и фиксации можно пренебречь. Таким образом, погрешность разбивки, вычисленная по формуле 2.51, составит 23 мм.

Расчет показывает, что для данных условий уменьшение погрешности в положении выносимой в натуру точки возможно лишь при существенном уменьшении погрешности отложения проектного расстояния, хотя бы в два раза [6].

Если разбиваемая точка находится на значительном расстоянии от исходного пункта, то применяют способ **проектного полигона** (рис. 2.10).

В этом способе приходится несколько раз откладывать полярным способом проектные углы и расстояния, прокладывая проектный ход.

При наличии прямой видимости с точки  $C$  на точку  $B$  для контроля измеряют примычные углы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  образуя замкнутый угловой полигон. При точных разбивочных работах углы полигона уравнивают, вычисляют по ним и проектным расстояниям координаты точки  $C$ , сравнивают их с проектными и при необходимости редуцируют в проектное положение.

При редкой разбивочной основе способ проектного полигона может быть использован для разбивки всех точек пересечения основных осей сооружения от одного исходного пункта. В этом случае проектный ход с проектными углами и расстояниями прокладывают полностью.

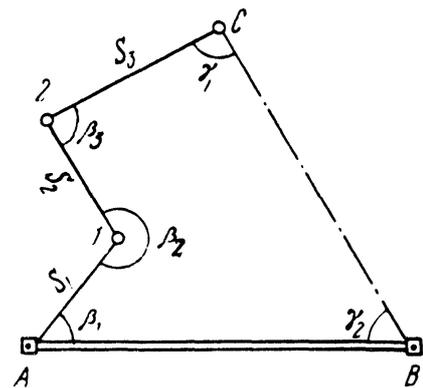


Рис. 2.10. Схема разбивки способом проектного полигона

### 2.3.5. Способы створной и створно-линейной засечек

Способы створной и створно-линейной засечек широко применяют для выноса в натуру разбивочных осей зданий и сооружений, а также монтажных осей конструкций и технологического оборудования.

Положение проектной точки  $C$  в **способе створной засечки** определяют на пересечении двух створов, задаваемых между исходными точками  $1 - 1'$  и  $2 - 2'$  (рис. 2.11).

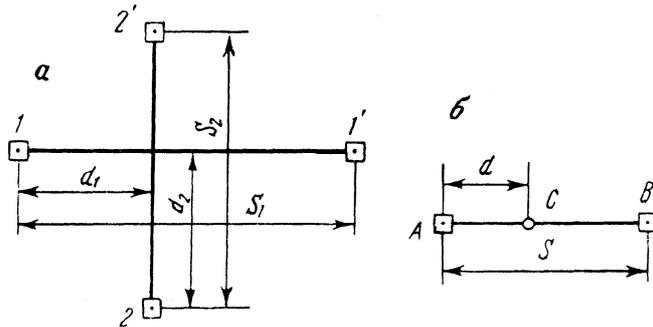


Рис. 2.11. Схемы разбивки способами створной (а) и створно-линейной (б) засечек

Створ задают обычно теодолитом, который центрируют над исходным пунктом (например – 1), а зрительную трубу ориентируют по визирной цели, отцентрированной на другом исходном пункте (в данном случае – 1'). Положение точки  $C$  фиксируют в заданном створе.

Средняя квадратическая погрешность створной засечки зависит от погрешностей построения первого  $m_{C_1}$  и второго  $m_{C_2}$  створов, а также от погрешности фиксации:

$$m_C^2 = m_{cm_1}^2 + m_{cm_2}^2 + m_{\phi}^2. \quad (2.52)$$

Основными погрешностями при построении каждого из створов являются погрешности положения исходных точек, центрирования теодолита и визирных целей, визирования и перемены фокусировки зрительной трубы при наведении на визирную цель и на определяемую точку, т. е.:

$$m_{cm}^2 = m_{исх}^2 + m_{ц}^2 + m_{виз}^2 + m_{фок}^2. \quad (2.53)$$

Погрешности положения исходных точек для задания створа имеют значение только в направлении, перпендикулярном створу, т. е. для каждого створа по одной из координат  $x$  или  $y$ . Их влияние определяется формулой:

$$m_{исх}^2 = m_{x,y}^2 \left[ \left(1 - \frac{d}{S}\right)^2 + \left(\frac{d}{S}\right)^2 \right], \quad (2.54)$$

где  $d$  – расстояние от точки установки теодолита до определяемой точки;  
 $S$  – расстояние между исходными точками (длина створа).

Совместное влияние погрешностей центрирования теодолита и визирной цели выражается формулой:

$$m_y^2 = \frac{m_l^2}{2} \left[ \left( 1 - \frac{d}{S} \right)^2 + \left( \frac{d}{S} \right)^2 \right]. \quad (2.55)$$

Анализируя формулы (2.54) и (2.55), можно сделать вывод, что наименьшее влияние погрешности исходных данных и центрирования оказывают на положение определяемой точки в середине створа. По мере приближения ее к исходным пунктам эти погрешности возрастают.

Погрешность визирования в угловой или линейной мере подсчитывают соответственно по формулам (2.23) и (2.24).

При построении створа приходится визировать дважды: вначале на визирную цель, установленную на исходной точке, затем на цель, фиксирующую положение разбиваемой точки в створе. В обоих случаях линейная величина погрешности визирования для определяемой точки будет пропорциональна расстоянию  $d$  от теодолита до этой точки. Следовательно, для створных построений погрешность визирования (в мм) будет равна:

$$m_{виз} = \frac{m''_{виз} \cdot d \sqrt{2}}{\rho''}, \quad (2.56)$$

или с учетом формулы (2.23):

$$m_{виз} = \frac{20'' \cdot \sqrt{2}}{\Gamma^x} \cdot \frac{d}{\rho''}. \quad (2.57)$$

При построении створа приходится визировать на точки, расположенные от теодолита на разных расстояниях, что приводит к необходимости менять фокусировку трубы. Изменение хода фокусирующей линзы вызывает смещение визирной оси трубы и приводит к погрешности, которую необходимо учитывать при точных работах.

В современных высокоточных теодолитах погрешность из-за перефокусировки трубы примерно равна погрешности визирования. Поэтому для приближенных расчетов можно принять  $m_{фок} = m_{виз}$ . С учетом этого совместное влияние погрешностей визирования и фокусирования при створных построениях может быть выражено формулой

$$m_{виз,фок} = \frac{20'' \cdot d \sqrt{3}}{\Gamma^x \rho''}. \quad (2.58)$$

Для примера оценим точность разбивки проектного положения точки способом створной засечки, если точка находится посередине обоих створов. Пример  $d = 100$  м,  $\Gamma^x = 25$ ,  $m_{x,y} = 5$  мм,  $m_l = 1$  мм,  $m_\phi = 1$  мм.

Так как в каждом створе определяемая точка находится в одинаковых условиях, то достаточно сделать расчет для одного створа. Используя формулу (2.54), получим погрешность исходных данных  $m_{исх} = 3,5$  мм.

По формуле (2.55) погрешность центрирования имеет значение  $m_y = 0,5$  мм.

На основании формулы (2.58) совместное влияние погрешностей визирования и фокусирования составит  $m_{виз,фок} = 0,7$  мм.

Общая погрешность разбивки с учетом погрешностей двух створов будет равна  $m_C = 5,3$  мм.

В приведенном расчете наиболее существенной оказалась погрешность исходных данных [6].

**Створно-линейный способ** позволяет определить проектное положение выносимой в натуру точки  $C$  (см. рис. 2.11) путем отложения проектного расстояния  $d$  по створу  $AB$ .

Разбивка этим способом точек сооружения или точек осей заключается в нахождении створа  $AB$ . Измеряя отрезок  $AC = S$  на местности, в створе  $AB$  находят искомую точку  $C$ . Точность способа будет обусловлена погрешностями задания створа, отложения проектного расстояния  $S$  и фиксации точки на местности:

$$m_C^2 = m_{см}^2 + m_S^2 + m_\phi^2. \quad (2.59)$$

Причем погрешность створа определяется по формуле (2.53).

Широкое применение способ получил при выносе точек главных осей сооружений с пунктов строительной сетки. Створ задают при двух положениях круга теодолита. Длину линии откладывают лентой, рулеткой или с помощью дальномера. Для этого грубо намечают положение точки  $C$  в створе линии  $AB$ . Затем точно измеряют расстояние, вводят поправки (за наклон, компарирование, температуру) и, определив разность между проектным расстоянием и измеренным, смещают точку по створу и закрепляют ее. Теодолит и визирное приспособление тщательно центрируют. Визирный луч должен проходить не ближе 1 м от поверхности земли и стен зданий.

### 2.3.6. Способ прямоугольных координат

Способ прямоугольных координат применяют в основном при наличии на площадке или в цехе промышленного предприятия строительной сетки, в системе координат которой задано положение всех главных точек и осей проекта.

Разбивку проектной точки  $C$  (рис. 2.12) производят по вычисленным значениям приращений ее координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$  от ближайшего пункта сетки. Большее приращение (на рисунке  $-\Delta y$ ) откладывают по створу пунктов сетки  $AB$ . В полученной точке  $D$  устанавливают теодолит и строят от стороны сетки прямой угол.

По перпендикуляру откладывают меньшее приращение  $\Delta x$  и закрепляют полученную точку  $C$ . Для контроля положение точки  $C$  можно определить от другого пункта строительной сетки.

Схема способа прямоугольных координат по существу сочетает в себе схему створно-линейного и полярного способов.

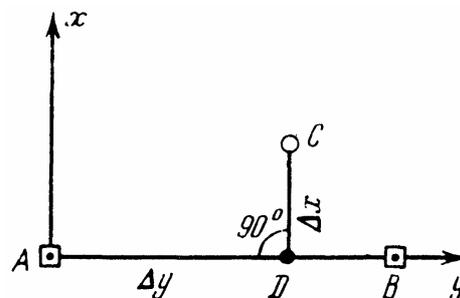


Рис. 2.12. Схема разбивки способом прямоугольных координат

Средняя квадратическая погрешность в положении точки  $C$ , определенной способом прямоугольных координат, может быть выражена формулой:

$$m_C^2 = m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 + \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2 \cdot \Delta x^2 + m_{исх}^2 + m_{ц}^2 + m_{\phi}^2, \quad (2.60)$$

где  $m_{\Delta x}$  и  $m_{\Delta y}$  – погрешности отложения приращений координат.

Если по перпендикуляру откладывается ордината, то в формуле (2.60) величина  $\Delta x$  заменяется на  $\Delta y$ .

Из формулы (2.60) следует, что большее приращение необходимо откладывать по створу стороны сетки, а меньшее – по перпендикуляру. В этом случае влияние погрешности построения прямого угла будет меньшим.

Влияние погрешностей в положении исходных пунктов при условии  $m_A = m_B = m_{AB}$  выражается формулой

$$m_{исх}^2 = m_{AB}^2 \left[ 1 + \left(\frac{\Delta x}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{b}\right)^2 - \frac{\Delta y}{b} \right], \quad (2.61)$$

а погрешностей центрирования

$$m_{ц}^2 = m_l^2 \left[ 1 + \left(\frac{\Delta x}{b}\right)^2 + \left(\frac{\Delta y}{b}\right)^2 - \frac{\Delta y}{b} \right], \quad (2.62)$$

где  $b$  – длина стороны строительной сетки.

При разбивке точки  $C$  по перпендикуляру от стороны абсцисс в формулах (2.61) и (2.62) в последнем члене вместо  $\Delta y$  следует принимать  $\Delta x$ .

Рассчитаем для примера точность выноса в натуру проектной точки  $C$ , расположенной в середине квадрата строительной сетки со стороной 200 м. Примем относительную погрешность отложения расстояния равной 1:10000,  $m_B = 10''$ ,  $m_{AB} = 10$  мм  $m_l = 1$  мм,  $m_\phi = 1$  мм.

Поскольку точка  $C$  расположена в середине квадрата строительной сетки, то  $\Delta x = \Delta y = 100$  м. Для этого случая:

$$m_{\Delta x} = m_{\Delta y} = 10 \text{ мм};$$

$$m_{исх} = m_{AB} = 10 \text{ мм};$$

$$m_\psi = 1 \text{ мм};$$

$$\frac{m_B}{\rho} \cdot \Delta x = 5 \text{ мм}.$$

Подставив эти данные в формулу (2.60), получим  $m_C = 18$  мм.

Погрешности центрирования и фиксации можно не учитывать, так как они малы по сравнению с величинами других погрешностей.

### 2.3.7. Способ бокового нивелирования

Способ бокового нивелирования широко применяют для выноса осей при детальной разбивке и для установки строительных конструкций в проектное положение.

Сущность способа состоит в том, что по линии, параллельной основной оси  $AB$  (рис. 2.13), оптическим визированием, например теодолитом, задается створ  $A'B'$ . Точки  $A'$  и  $B'$  находят путем отложения некоторого расстояния  $l$  от точек  $A$  и  $B$  перпендикулярно линии  $AB$ .

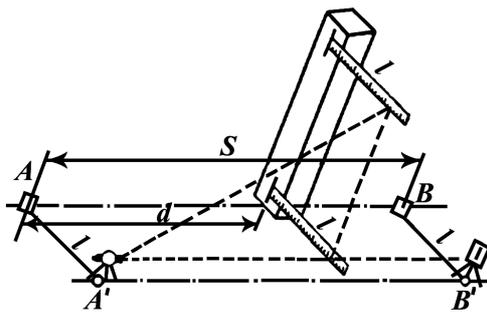


Рис. 2.13. Схема разбивки способом бокового нивелирования

Расстояние  $l$  выбирают в пределах 1 – 2 м, исходя из удобства производства разбивочных работ. Положение оси конструкции определяют при помощи горизонтально устанавливаемой нивелирной рейки. При отсчете по рейке  $l$ , равном расстоянию параллельного створа  $A'B'$  от оси  $AB$ , пятка рейки определяет положение этой оси в данном месте.

Основными погрешностями бокового нивелирования являются:

- погрешность разбивки параллельного створа  $m_{ств}$ ;
- погрешности центрирования оптического прибора и визирной цели при задании параллельного створа  $m_\psi$ ;
- погрешность установки рейки  $m_y$ ;
- погрешность отсчета по рейке  $m_0$ .

Общая погрешность способа может быть подсчитана по формуле:

$$m_C^2 = m_{cmв}^2 + m_y^2 + m_x^2 + m_o^2. \quad (2.63)$$

Погрешность разбивки параллельного створа складывается из погрешностей построения прямого угла и отложения расстояния  $l$ . Расчет их аналогичен полярному способу, используется формула (2.47).

Влияние погрешности центрирования можно подсчитать, как и в способе створной засечки, по формуле (2.55).

Погрешность установки рейки будет в основном зависеть от перпендикулярности рейки к створу визирования. Эту погрешность можно вычислить так:

$$m_y = lv^2 / 2\rho^2, \quad (2.64)$$

где  $v$  – угол отклонения рейки от ее перпендикулярного положения.

Погрешность отсчета по рейке подсчитывают по формуле

$$m_o = 0,03t + 0,2 \frac{d}{\Gamma^x}, \quad (2.65)$$

где  $t$  – цена деления рейки;

$d$  – расстояние от прибора до рейки, м;

$\Gamma^x$  – увеличение зрительной трубы прибора.

Для примера определим погрешность способа бокового нивелирования при следующих данных:  $S = 100$  м;  $d = 50$  м;  $l = 2$  м;  $v = 2^\circ$ ;  $t = 10$  мм;  $m_l = 1$  мм;  $m_{\text{р}} = 30''$ ;  $\Gamma^x = 25$ .

В данном случае полярный способ применяется для двух точек. Тогда, используя частично формулу (2.47), будем иметь  $m_{cmв} = 1,5$  мм.

При  $d = S/2$  из формулы (2.55) получим  $m_y = l = 1$  мм.

По формуле (2.64) найдем  $m_y = 1,2$  мм.

По формуле (2.65) вычислим  $m_o = 1,1$  мм.

А общая погрешность способа бокового нивелирования для данного примера составит  $m = 2,4$  мм.

Способом бокового нивелирования можно производить разметку колонн, установку и контроль установки конструкций по высоте [6].

## 2.4. Составление разбивочных чертежей

**Разбивочный чертеж** – это основной документ для разбивки главных осей сооружения в натуре.

Разбивочные чертежи составляют на основании генерального плана сооружения, аналитического расчета и привязки проекта. Разбивочные чертежи выполняют в масштабе 1:2000 – 1:5000 и крупнее.

На разбивочном чертеже показывают пункты геодезической основы с координатами, положение главных осей с их координатами и разбивочными элементами привязки, контуры сооружений с длинами сторон и углами поворота.

На основе изучения генплана объекта, стройгенплана и технических условий на возведение отдельных зданий составляется проект производства геодезических работ (ППГР).

Для осуществления детальной разбивки зданий и сооружений используются рабочие чертежи проекта. Они представляют собой крупномасштабные чертежи и вертикальные разрезы зданий и сооружений. При выполнении геодезических работ используются следующие основные чертежи проекта: заглавный лист проекта, план разбивки главных или основных осей план фундаментов зданий, сооружений площадок под оборудование, вертикальные разрезы, чертежи на монтажные работы и технологическое оборудование.

Для выполнения разбивочных работ применяют способы: полярных и прямоугольных координат, угловой, линейной и створной засечек, створно-линейный и бокового нивелирования.

Применение того или иного способа зависит от вида сооружения, условий его возведения, схемы расположения пунктов опорной разбивочной сети, наличия измерительных средств, этапа производства разбивочных работ и других факторов. Целесообразнее использовать тот способ, который при прочих равных условиях обладает более высокой точностью. В свою очередь, точность разбивочных работ определяется различными источниками погрешностей, одна часть которых зависит от геометрии применяемого способа, другая является общей для всех способов.

Независимо от вида сооружения и условий производства работ существуют некоторые общие принципы разбивки главных и основных осей. Прежде всего, на местности необходимо иметь исходную разбивочную систему, включающую в себя: пункты разбивочной основы, закрепленные линии регулирования застройки (оси проездов, границы кварталов), углы капитальных зданий и сооружений, а в отдельных случаях и четко определяемые контуры местности.

В проекте или на разбивочных чертежах должны быть указаны привязки выносимых в натуру осей к точкам исходной разбивочной основы. Значения угловых и линейных привязок получают из решения обратных геодезических задач, используя координаты пунктов разбивочной основы и проектные координаты точек осей, выносимых зданий и сооружений.

Рассмотрим, как могут выглядеть разбивочные чертежи, и дадим описание разбивочных работ для разных случаев.

При наличии на площадке строительной сетки для сравнительно несложных по геометрии цеховых зданий обычно выносят габаритные (основные) оси способом прямоугольных координат. Так, например, положение точек здания  $A/1$  и  $A/11$  (рис. 2.14) определяют от ближайших пунктов строительной сетки 17 и 18 по вычисленным приращениям координат. От пунктов 10 и 11 аналогичным образом определяют положение точек  $E/1$  и  $E/11$ .

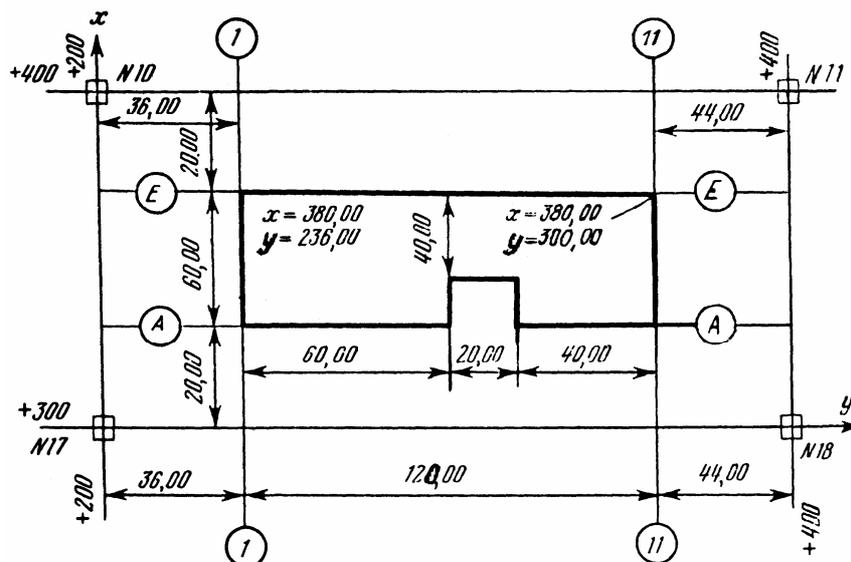


Рис. 2.14. Схема разбивки основных осей здания от пунктов строительной сетки

После закрепления вынесенных в натуру точек устанавливают на каждой из них теодолит и проверяют взаимную перпендикулярность осей. Кроме того, проверяют соответствие расстояний между осями проектным значениям. Следует иметь в виду, что взаимная перпендикулярность основных осей является одним из важных требований, предъявляемых к разбивке. Перекос этих осей может в дальнейшем привести к перекосу всех остальных осей сооружения, так как основные оси служат исходными для детальной разбивки.

Для разбивки основных осей гражданских зданий с точек полигонометрических или теодолитных ходов чаще всего применяют способ полярных координат, угловых и линейных засечек, створно-линейный способ. Точка пересечения осей  $A/1$  выносится от точки  $V$  теодолитного хода путем отложения полярного угла и полярного расстояния (рис. 2.15).

Аналогично с точки  $VI$  теодолитного хода выносятся точки  $A/10$  и  $B/10$ . Можно было бы ограничиться выносом лишь двух точек длинной оси  $A$  здания, а две остальные точки найти путем построений прямых углов и соответствующих расстояний. Однако третью точку пересечения

осей тоже определяют способом полярных координат с целью исключения разворота здания. Часто тем же способом выносят и четвертую точку, контролируя выполненную разбивку путем измерения прямых углов и длин сторон по зданию. Также с целью контроля положения вынесенных точек выполняют независимые (отличные от основной разбивки) измерения. В приведенном примере на створе теодолитного хода намечают вспомогательную точку  $V + 49.87$ , измеряют на ней контрольный полярный угол  $\beta_k$  и контрольное полярное расстояние  $s_k$ . По полученным значениям вычисляют координаты точки  $A/10$  и сравнивают их с проектными. Такие определения производят не менее чем для трех точек пересечения осей зданий.

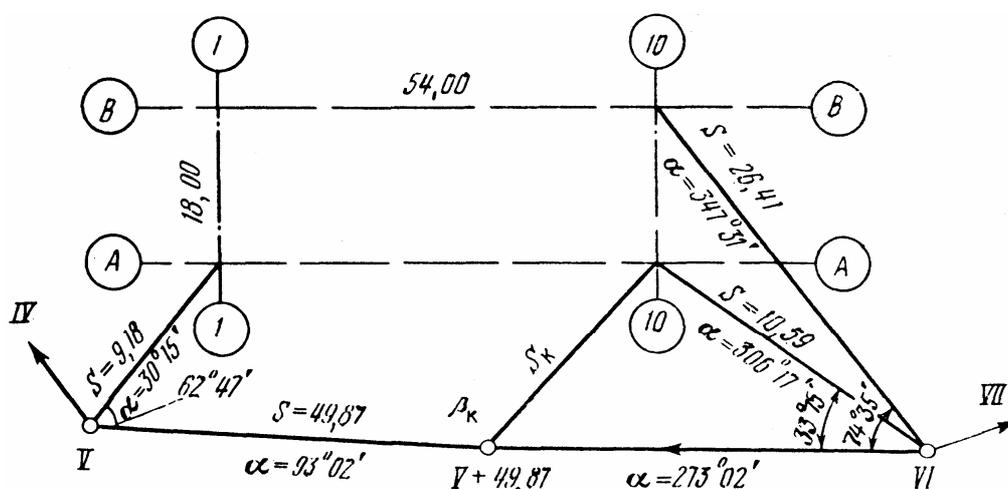


Рис. 2.15. Схема разбивки основных осей здания с точек полигонометрических или теодолитных ходов

Если на местности закреплены пункты, определяющие положение линий регулирования застройки, то разбивка осуществляется также как с точек теодолитных или полигонометрических ходов, имея в виду, что координаты этих пунктов известны.

Размещение новых зданий и сооружений среди существующей застройки иногда производят графически по топографическому плану крупного масштаба (1:500 – 1:1000), а их разбивку – от существующих зданий по данным, полученным также графически. Например, чтобы разместить здание  $A$  (рис. 2.16) по линии застройки между зданиями  $B$  и  $B$ , находят по плану расстояния между соответствующими углами этих зданий и выносят в натуре углами здания  $A$ . Так как в этом случае все размеры берутся с плана, то при разбивке в натуре расстояние между углами  $a$  и  $d$  существующих зданий окажется не равным проектному, т. е. появится невязка. Поскольку размер выносимого в натуре здания должен в точности соответствовать проектному, то полученную невязку поровну распределя-

ют на промежутки  $a - b$  и  $c - d$  между зданиями. В этом случае несколько изменятся проектные размеры планировочных элементов (внутренних проездов, газонов и т. п.) между зданиями, но это вполне допустимо.

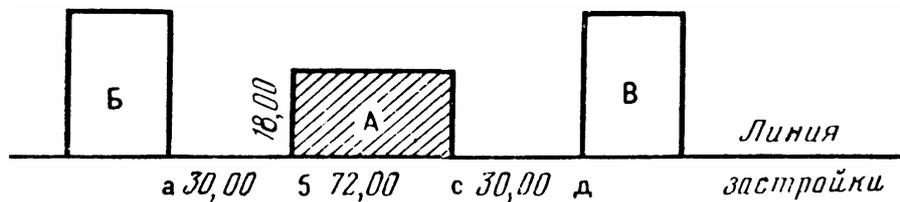


Рис. 2.16. Графический способ определения размещения здания для разбивки

При выполнении разбивок должны соблюдаться следующие требования: относительная погрешность отложения проектных расстояний от пунктов полигонометрии при  $S = 100 - 200$  м допускают  $1:5000$ , а проектных углов –  $20''$ .

Вынос в натуру сравнительно протяженной линии – часто встречающийся случай в практике разбивочных работ. Это и главная ось линейного сооружения (плотины, моста, взлетно-посадочной полосы аэропорта и др.), и исходное направление для построения строительной сетки, и базис для последующих разбивочных работ. Для этого случая разбивки чаще всего применяют полярный способ, а также способы прямой угловой и линейной засечек. Приведем пример выноса в натуру оси  $A - B$  линейного сооружения (рис. 2.17).

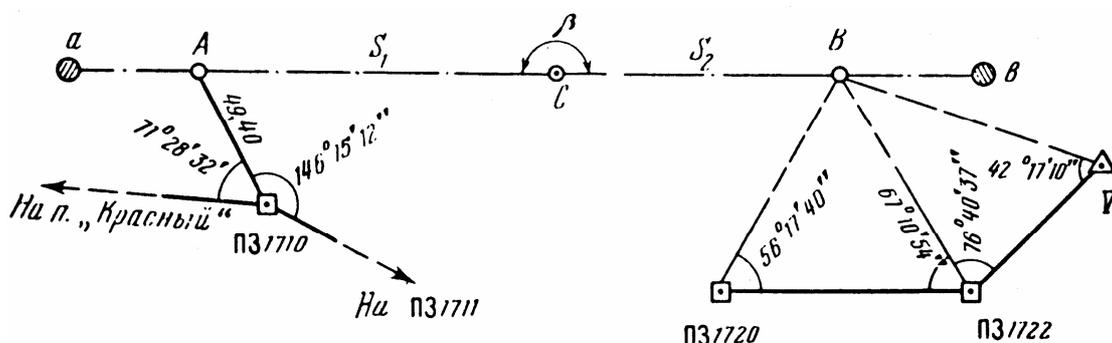


Рис. 2.17. Схема выноса в натуру оси линейного сооружения.

Точка  $A$  выносится от ближайших пунктов геодезического обоснования полярным способом, а точка  $B$  – прямой угловой засечкой. Если между точками  $A$  и  $B$  нет прямой видимости, то дополнительно выносят промежуточные точки (например, точку  $C$ ). При наличии вблизи промежуточной точки пунктов геодезического обоснования она выносится аналогично основным точкам с проверкой ее положения по створу.

Положение промежуточной точки  $C$  на створе  $A - B$  может быть найдено и иным способом. Первоначально ее положение на створе определяют приближенно. Затем на этой точке при помощи теодолита измеряют угол  $\beta$ .

Величину нестворности  $q$ , на которую необходимо переместить точку  $C$ , чтобы она находилась на створе  $A - B$ , можно вычислить по формуле

$$q = \frac{s_1 \cdot s_2 (180^\circ - \beta)}{(s_1 + s_2) \cdot \rho}, \quad (2.66)$$

где  $s_1$  и  $s_2$  – расстояния от точки  $C$  до пунктов  $A$  и  $B$  соответственно.

Расстояния определяют приближенно, например, по генплану.

Для контроля вновь измеряют угол  $\beta$ . В случае недопустимого отклонения этого угла от  $180^\circ$  вновь вычисляют нестворность и вновь редуцируют [6].

## 2.5. Детальная разбивка строительных осей

Главные и основные оси сооружений служат исходными для последующей детальной разбивки. Точность детальной разбивки зависит от вида сооружения и включает в себя:

$$m_{\text{д.р.}} = \sqrt{m_{\text{г.и.}}^2 + m_{\text{т.р.}}^2 + m_{\text{с.м.р.}}^2}. \quad (2.67)$$

То есть на точность разбивки влияют погрешности геодезических измерений, технологических расчетов и строительно-монтажных работ. Детальные (дополнительные) оси должны быть разбиты одна относительно другой с погрешностью порядка  $\pm 1 - 2$  мм.

Схема детальной разбивки зависит от вида сооружения и его компоновки, от условий выполнения работ и принятого способа разбивки. При всем многообразии детальных разбивочных схем можно выделить типовую схему, характерную для строительства гражданских и промышленных зданий и сооружений. Это определение положения точек пересечения промежуточных осей с главными и основными осями, разбивку таких точек выполняют створно-линейным способом.

Предположим, что в натуру вынесены и закреплены основные оси  $A - A$ ,  $B - B$ ,  $1 - 1$  и  $8 - 8$  (рис. 2.18). Для определения положения точек пересечения осей  $2, 3, \dots, 7$  с осями  $A - A$  и  $B - B$  теодолитом задают створы  $A - A$  и  $B - B$ . От точек  $A/1$  и  $B/1$  вдоль соответствующих створов откладывают проектные расстояния  $6,00$  м;  $12,00$  м и т. д. и получают искомые точки.

Аналогичным образом находят положение точек  $B/1$  по створу оси  $1 - 1$  и  $B/8$  по створу  $8 - 8$ . Створы промежуточных осей выносят за зону будущих земляных работ и закрепляют.

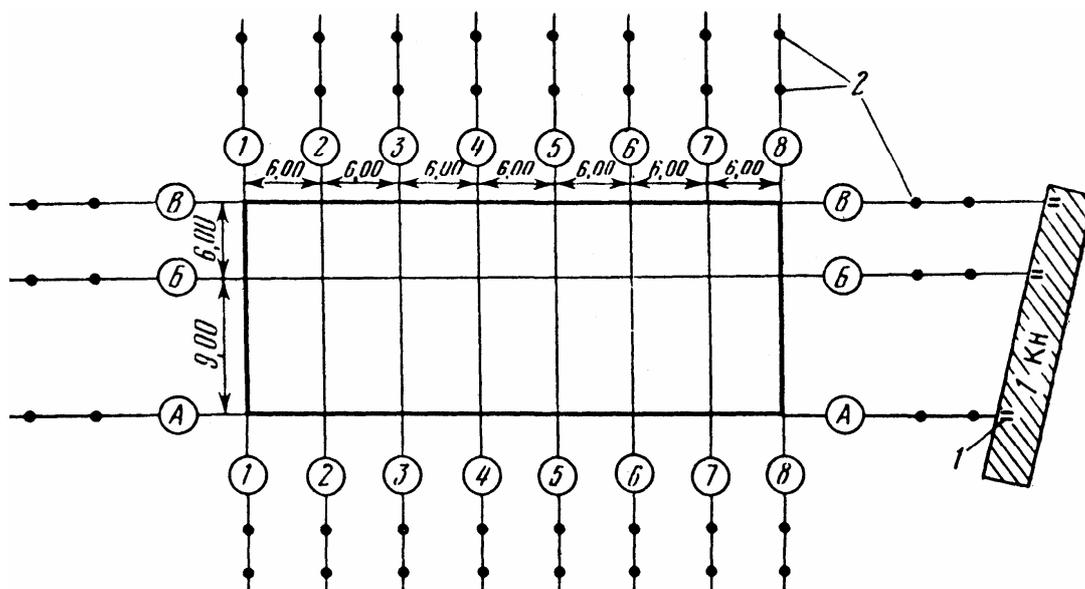


Рис. 2.18. Схема детальной разбивки осей

## 2.6. Закрепление осей сооружений

Для закрепления осей, удобства пользования в процессе строительства и обеспечения точности детальной разбивки оси выносят на обноску.

Обноску проектируют по генплану, ее линии располагают параллельно осям сооружений. Обычно обноска имеет прямоугольную форму, для сооружений сложной конфигурации – обноска также имеет форму прямоугольника, к которому примыкают обноски отдельных частей.

Обноска представляет собой доску, закрепленную горизонтально на столбах на высоте 400 – 600 мм от земли. На углах обноски забивают гвозди и натягивают проволоку, поскольку по ней производят линейные промеры. Применяют также инвентарную металлическую обноску. Оси на деревянной обноске фиксируют гвоздем, а на металлической – специальным передвижным хомутом с прорезью.

Расстояние между наружной гранью фундамента и обноской зависит от глубины котлована  $h$ , оно принимается –  $(h + 3 - 5 \text{ м})$ . Если фундамент глубокого залегания, то после выполнения земляных работ обноску устраивают на дне котлована, а расстояние между обноской и наружной гранью фундамента составит 1 м.

Помимо обноски, вынесенные в натуру оси закрепляют постоянными и временными знаками. Постоянными знаками закрепляют главные и основные оси. Места закрепления осей постоянными знаками выбирают на стройгенплане с учетом долговременной их сохранности, а также обеспечения беспрепятственного ведения строительного-монтажных работ. Эти

места должны быть удобными для установки над знаком геодезических приборов и выполнения измерений. Знаки устанавливают вне зоны земляных работ в местах свободных от складирования строительных материалов, размещения временных построек и т. п.

Конструкции постоянных знаков могут быть различными. Наиболее часто применяют грунтовые постоянные знаки, в качестве которых могут выступать обрезки металлических труб или рельсов, к их нижней части приваривают металлические якоря для закрепления в бетонном монолите. К верхней части знака приваривают квадратную металлическую пластину, на которой с помощью керн отмечают положение точки закрепления оси. Реперные трубы или рельсы устанавливают в скважине, пробуренной на глубину не менее 0,5 м ниже глубины промерзания грунта, и бетонируют. Грунтовые знаки закрепления осей ограждают деревянной или металлической оградой в виде квадрата или треугольника со стороной 1,5 – 2,0 м.

Для временных знаков используют деревянные колья, костыли, металлические штыри и трубки.

В сочетании с грунтовыми знаками для закрепления створов осей широко применяют цветные откраски на постоянных и временных зданиях и сооружениях. Откраски представляют собой цветные риски, наносимые яркой несмываемой краской.

Для быстрого восстановления осей на продолжении их створов закрепляют по два знака с каждой стороны здания. Один из знаков обычно располагают под обноской.

После завершения работ по построению осевой разбивочной основы, составляют акт сдачи работ и исполнительный чертеж, на который наносят: пункты геодезической основы, от которых главные разбивочные оси выносятся с указанием разбивочных элементов; обноску с расположением осей и с указанием расстояний между ними по результатам контрольных измерений; знаки закрепления осей [3; 17].

### 3. ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНТАЖА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

#### 3.1. Принципы геодезического обеспечения монтажных работ

Производство монтажных работ при возведении гражданских и промышленных сооружений, а также установка технологического оборудования связаны с выполнением разнообразных геодезических измерений. Многообразие видов сооружений и условий их возведения приводит к необходимости выполнения геодезических измерений различными методами и средствами. Но в тоже время, принципиальная схема производства геодезических измерений должна соответствовать общему геодезическому правилу последовательного выполнения работ на отдельных этапах монтажа.

В подготовительный период осуществляется построение исходной разбивочной основы; проверяется соответствие положения опорных плоскостей и закладных деталей проектным требованиям. При необходимости производят доводку их до проектных размеров и уровней.

Монтаж строительных конструкций предусматривает последовательную установку в проектное положение несущих элементов зданий и сооружений.

Монтаж технологического оборудования предусматривает установку его на соответствующее место и выверку его проектного положения.

На каждом этапе работ и отдельных технологических операций производится исполнительная геодезическая съемка, которая должна не только отображать фактическое положение смонтированных элементов, но и производить монтаж с необходимой точностью.

Одновременно с монтажом могут выполняться наблюдения за деформациями конструкций и оборудования, что позволит при необходимости корректировать их положение по ходу работ.

Для монтажа строительных конструкций и оборудования пользуются, как правило, не проектными осями, а линиями, параллельными осям и плоскостям расположения конструкций и оборудования. Эти линии и называют монтажными осями. Их выбирают с таким расчетом, чтобы производить измерения не только при монтаже, но и при периодических выверках и наблюдениях за деформациями. Кроме того, расположение монтажных осей должно обеспечивать удобство проведения измерений для видимости, установки приборов и оборудования, пользования разными приспособлениями.

Расположение монтажных осей (параллелей) выбирают после тщательного изучения рабочих и технологических чертежей проекта, в числе которых: планы расположения разбивочных осей, планы и разрезы по сооружению, монтажные схемы и карты, чертежи узлов и блоков оборудования.

Несмотря на различие видов сооружений, условий и точностных требований, **общие принципы геодезического обеспечения монтажа конструкций и оборудования** следующие:

– установка и выверка конструкций и оборудования производится от закрепленных в натуре разбивочных и технологических осей или монтажных осей;

– условия монтажа (удобство подходов, метеоусловия, видимость и т. п.) должны обеспечивать применение различных способов измерений с заданной точностью;

– применяемые способы измерений должны соответствовать решаемой задаче и заданной точности;

– для объекта монтажа должны быть определены его геометрические или технологические оси, а обработка его поверхности должна соответствовать требованиям точности монтажа;

– при точных и высокоточных работах установку и выверку рекомендуется проводить в два этапа: предварительно – с приближенной точностью и окончательно – с заданной проектной точностью. Это позволяет уменьшить диапазон работы приборов на окончательном этапе, увеличивая их точность, и улучшить организацию работ;

– для выполнения геодезических работ следует, по возможности, применять серийные приборы и оборудование или специально разработанные приборы [6].

Требования к точности геодезического обеспечения монтажных работ определяются проектными и нормативными документами. Нормы точности на монтаж строительных конструкций задаются государственными нормативными документами (СНиП, ГОСТ).

Точностные требования к геодезическому обеспечению монтажных работ можно охарактеризовать обобщенными средними квадратическими погрешностями:

- 1) при монтаже строительных конструкций 1 – 5 мм;
- 2) при установке заводского технологического оборудования 0,5 – 1,0 мм;
- 3) при высокоточной установке оборудования уникальных сооружений 0,05 – 0,2 мм.

Исходную разбивочную основу при выполнении монтажа закрепляют специальными знаками, к ним предъявляют высокие требования:

а) знаки должны быть *устойчивыми* и сохранять свое положение в пределах, меньших заданных допусков на монтажные работы;

б) знаки должны быть *долговечными*, чтобы служить опорой на период монтажа и для периодических контрольных измерений в период эксплуатации.

Конструкции знаков должны обеспечивать центрирование приборов с высокой точностью. В зависимости от точности монтажа оси закрепляют фундаментальными знаками с глубиной закладки до коренных пород, грунтовыми реперами, облегченными металлическими марками, забетонированными в строительных конструкциях.

Для закрепления осей строительных конструкций применяют откраски. Маркирование геометрических и технологических осей на конструкциях и оборудовании также производят путем открасок или закрепления специальными знаками, которые используют для установки технологического оборудования с высокой точностью.

Геодезический контроль при монтаже включает определение действительного планового, высотного и вертикального положения конструкций и частей оборудования относительно проектного. Перед началом монтажа оборудования и конструкций на их гранях, плоскостях и сферических поверхностях должны быть нанесены установочные риски, фиксирующие геометрические оси, высоты и центры симметрии.

Для производства монтажных работ необходимо иметь следующую документацию: план осей зданий, сооружений, план фундаментов, план расположения оборудования, конструкций, разрезы характерных частей фундаментов и оборудования, схему исполнительной съемки фундаментов под оборудование и других опорных поверхностей, схему разбивочной сети на опорных поверхностях с указанием мест заложения осевых плашек и высотных реперов.

Контроль планового положения монтируемых элементов оборудования и конструкций следует осуществлять линейными промерами и от плоскостей и осей монтируемых элементов до осей, нанесенных на фундаменте, контроль взаимного положения монтируемых элементов в плане осуществляется шаблонами, концевыми мерами, металлическими рулетками и теодолитами способом бокового нивелирования.

Горизонтальность плоскостей выверяется методами геометрического или гидростатического нивелирования с использованием соответствующих приборов или специальных контрольных уровней. Контроль вертикальности смонтированных конструкций и оборудования свыше 5 м производят с помощью теодолита, оптических центриров и приборов вертикального проектирования. Высотный контроль при монтаже осуществляют геометрическим или тригонометрическим нивелированием. Для контроля створов, наклонных линий и плоскостей целесообразно и экономично применять лазерные приборы [3].

Пространственный контроль конструкций и оборудования в случае недоступности для непосредственных измерений выполняют способом косвенных измерений с использованием аналитических расчетов.

Результаты геодезического контроля при монтаже оборудования и конструкций записывают в журнал геодезического контроля монтажных работ.

Для сложного оборудования, требующего большого объема геодезических работ и высокой точности монтажа, необходимо создавать специальные приборы и средства измерения.

При необходимости выполняют многократные контрольные определения выноса осей на фундамент и высот реперов.

Проект геодезического обоснования разрабатывают совместно с геодезической службой заказчика и генподрядчика.

Плановое обоснование можно совмещать с высотным, если закладываются знаки со сферическими головками. Отметки их определяют нивелированием, соответствующим по методике и точности II классу. Высотную привязку следует производить от глубинных реперов, закладываемых для этой цели в скважины, пробуренные до коренных пород.

До начала работ по устройству фундаментов монтажная организация передает генподрядному тресту схему геодезического обоснования монтажа, где указываются все необходимые технологические оси, а также места установки плашек для закрепления осей.

В схемах геодезического обоснования указывают контрольные и рабочие оси и реперы.

Контрольные реперы – это реперы, установленные на отдельных монолитах вне фундаментов под оборудование. Отметки контрольных реперов проверяют по отметкам ближайших реперов опорной сети строительной площадки. Контрольные реперы и оси служат только для проверки рабочих реперов и осей.

Рабочие реперы и оси располагают непосредственно на фундаментах под оборудование, в местах, не закрываемых основаниями машин.

Рабочие реперы и оси делятся на основные и вспомогательные. На каждом фундаменте располагают (обычно у базовой машины) один основной репер, привязанный к контрольному. Все остальные реперы на этом фундаменте привязывают и проверяют относительно основного репера. Их называют вспомогательными.

К основным осям относятся оси технологических линий, основных агрегатов и машин, к вспомогательным – все прочие оси (многоопорных валов, рабочих клетей и др.), которые разбивают и проверяют относительно основных осей.

Отметки основных реперов относительно контрольных и вспомогательных определяют с точностью 0,5 мм. Разбивка основных осей относительно контрольных и вспомогательных производится с точностью 1 мм.

При сдаче под монтаж оборудования фундаментов строительная организация представляет монтажной организации:

- исполнительные схемы геодезического обоснования;
- исполнительные схемы основных и привязочных размеров и отметок фундаментов и анкерных болтов.

Генподрядная строительная организация производит разбивку и кернение основных рабочих осей и одновременно устанавливает один высотный репер на каждом фундаменте. Все остальные разбивки выполняет монтажная организация.

Монтажная организация при приемке фундаментов обязана проверить правильность разбивки осей и отметок реперов по представленной исполнительной схеме геодезического обоснования. Если в процессе проверки выявятся расхождения фактических размеров между осями в плане или высотных отметок с исполнительными схемами, то монтажной организацией производится перекерновка плашек или исправление отметок реперов в присутствии представителей строительной организации с внесением соответствующих исправлений в исполнительную схему.

В период монтажа оборудования осуществляют систематические наблюдения за деформациями фундаментов. Для этого в нижней части фундамента, желательно по углам, закладывают осадочные реперы.

Наблюдения за осадками осуществляет геодезическая служба заказчика. Периодичность наблюдений, схемы передачи отметок на наблюдаемые реперы должны быть приведены в проекте производства работ.

Фундаменты, на которые оборудование устанавливают с последующей подливкой раствора, что должно быть оговорено в чертежах, сдают под монтаж забетонированными ниже проектной отметки опорной поверхности оборудования на 50 – 80 мм, а в местах выступающих ребер жесткости в основании оборудования – на 50 – 80 мм ниже этих ребер.

Помещения и фундаменты, сдаваемые под монтаж оборудования, должны быть освобождены от опалубки (включая колодцы для анкерных болтов), строительных лесов и очищены от мусора, проемы ограждены, а каналы, лотки и люки закрыты.

На зданиях, сооружениях, фундаментах, сдаваемых под монтаж оборудования, должны быть нанесены разбивочные оси, рабочие реперы или рабочие высотные отметки.

На фундаментах, предназначенных для установки оборудования точных и автоматических линий, агрегатов и комплексов машин, требующих высокой точности установки (например, прокатные станы, вращающиеся печи, бумагоделательные машины, разливные машины, линии пищевых производств, конвейеры большой протяженности, паротурбинные

агрегаты, компрессоры, комплектные блоки оборудования), оси наносят на закладные металлические детали, а высотные отметки фиксируют на реперах.

Оси и реперы, закрепленные на фундаменте, должны быть расположены вне контура опорных конструкций устанавливаемого оборудования.

Монтажная организация при приемке фундаментов под монтаж оборудования обязана проверить правильность разбивки осей и высотных отметок, а также соответствие фактических размеров фундаментов проектным. Одновременно проверяют расположение закладных деталей, анкерных болтов или колодцев для них. При этом отклонения от проектных размеров не должны превышать величин, устанавливаемых в СНиП по производству и приемке работ по возведению бетонных, железобетонных и металлических конструкций.

К установке оборудования разрешается приступать после подписания актов готовности объекта (зданий, сооружений) к монтажным работам и готовности фундаментов к установке оборудования. К актам приемки фундаментов под оборудование прилагается исполнительная техническая документация по фундаменту, подготовленная строительной организацией.

При всем многообразии существующих способов геодезических измерений, используемых при монтаже конструкций и оборудования, можно выделить четыре основные группы:

- 1) для плановой установки;
- 2) для выверки прямолинейности;
- 3) для высотной установки;
- 4) для установки по вертикали.

### 3.2. Способы плановой установки и выверки конструкций и оборудования

Во всех способах плановой установки конструкций и оборудования используют схему, по которой положение устанавливаемого элемента определяется линейными промерами от заданной в натуре разбивочной или технологической оси.

Положение оси может быть задано струнным или оптическим прибором, поэтому различают струнный, струнно-оптический и оптический способы плановой установки.

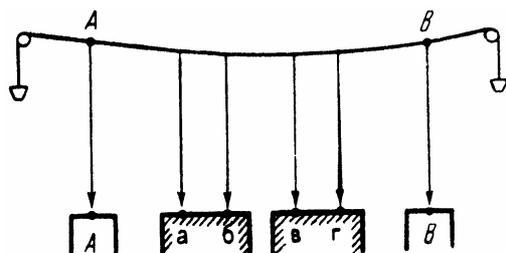


Рис. 3.1. Схема струнного способа установки конструкций

В струнном способе между закрепленными точками осей *A* и *B* с помощью грузов натягивают калиброванную струну диаметром 0,1 – 0,5 мм, которую принимают за технологическую ось (рис. 3.1).

В местах установки оборудования (точки *a*, *б*, *в*, *г*) подвешивают легкие нитяные отвесы.

Когда струна фиксирует параллель оси, то расстояние от нее до устанавливаемых элементов откладывают с помощью концевых приборов с микрометрами.

Струна имеет провес в вертикальной плоскости, максимальный по середине. Его можно подсчитать по формуле:

$$f_{\text{верт}} = ql^2 / 8F, \quad (3.1)$$

где  $q$  – масса одного метра струны, кг;

$l$  – длина створа, м;

$F$  – натяжение струны, кг.

Максимальное натяжение струны, составляющее 2/3 от разрывного усилия, может быть вычислено по приближенной формуле:

$$F = 100d^2, \quad (3.2)$$

где  $d$  – диаметр струны, мм.

На струну также действует боковое давление воздуха, вызывающее отклонение струны от прямой в горизонтальной плоскости. Наибольшее отклонение в середине створа подсчитывают по формуле:

$$f_{\text{гор}} = \frac{dv^2l^2}{64F}, \quad (3.3)$$

где  $v$  – скорость ветра, м/с.

Кроме бокового давления воздуха и неточности установки струны над опорными знаками при поднятии ее или подвеске из-за провеса, основными источниками погрешностей в струнном способе являются колебание струны в процессе измерений и проектирование струны отвесом на соответствующие точки оборудования.

Принято считать, что при тщательной работе в закрытых помещениях общая погрешность струнного способа в среднем составляет 2 – 3 мм на 100 м длины створа.

Струна, определяющая положение монтажной оси, обладает рядом преимуществ. На нее не влияют такие источники погрешностей оптических систем как рефракция, колебания изображений, перемена фокусировки. Кроме того, она удобна для одновременного монтажа на разных участках линии. Но нитяной отвес здесь является основным источником погрешностей, и чтобы использовать выше перечисленные преимущества в точных работах необходимо заменить нитяной отвес на оптическую проектирующую систему. Это сделано в **струнно-оптическом способе**, в котором монтажная ось задается натянутой струной, а проектирование ее на точки монтируемых конструкций осуществляется при помощи оптических приборов (теодолитов, приборов вертикального проектирования, специальных микроскопов на передвижном устройстве).

Рассмотрим применение струнно-оптического способа для установки оборудования (рис. 3.2). Чтобы струна не мешала производству работ, ее натягивают выше устанавливаемого оборудования. При помощи теодолита или прибора вертикального проектирования струну поперечным движением совмещают с центрами знаков *A* и *B*, закрепляющих монтажную ось. Установленную таким образом струну принимают за монтажную ось.

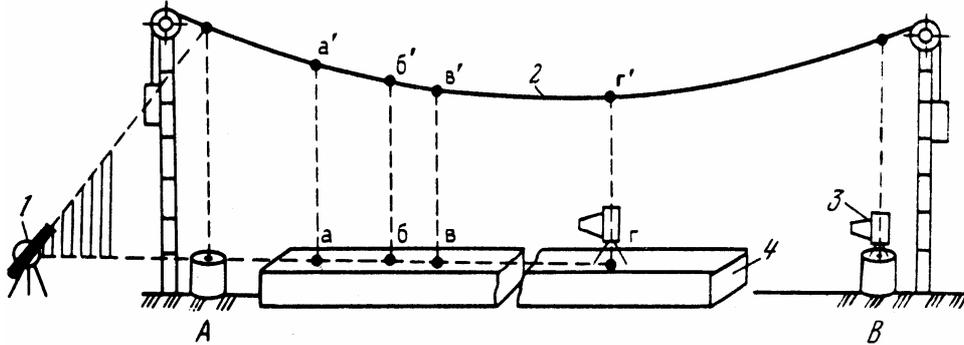


Рис. 3.2. Схема струнно-оптического способа установки конструкций:  
1) теодолит; 2) струна; 3) прибор вертикального проектирования; 4) оборудование

Далее, если установку выполняют с помощью теодолита, то оборудование перемещают и разворачивают так, чтобы точки *a*, *б*, *в*, *г* технологической оси оборудования попали в створ ориентированного по точкам *a'*, *б'*, *в'*, *г'* визирного луча теодолита. Если же используют приборы вертикального проектирования, то их устанавливают и центрируют на точках *a*, *б*, *в*, *г* оборудования, которое затем перемещают до совпадения вертикальных лучей приборов с соответствующими точками *a'*, *б'*, *в'*, *г'* струны. Одновременно производят установку оборудования по высоте.

Для струнно-оптического способа характерны некоторые источники погрешностей, характерные и для струнного способа: неточность разбивки и закрепления монтажной оси; отклонение струны в горизонтальной плоскости вследствие ветрового давления; колебания струны и появляются другие погрешности: установки в створ монтажной оси, проектирования струны оптическим прибором, из-за освещения струны.

Средняя квадратическая погрешность проектирования струны теодолитом в линейной мере может быть вычислена по формуле

$$m_{np} = \frac{h}{\rho''} \sqrt{(0,5\tau'')^2 + \left(\frac{20''}{\Gamma^x}\right)^2}, \quad (3.4)$$

где  $h$  – высота струны над прибором;

$\tau$  – цена деления уровня на алидаде горизонтального круга;

$\Gamma^x$  – увеличение зрительной трубы теодолита.

Эту же погрешность для прибора вертикального проектирования с компенсатором вычисляют по формуле:

$$m_{np} = \frac{h}{\rho''} \sqrt{(0,5'')^2 + \left(\frac{20''}{\Gamma^x}\right)^2}, \quad (3.5)$$

где  $0,5''$  – погрешность установки визирного луча в вертикальной плоскости.

При боковом освещении струны возникает систематическая погрешность за фазу, предельная величина которой составляет  $\Delta_{faz} = 0,25d$ , где  $d$  – диаметр струны. При  $d = 0,3$  мм  $\Delta_{faz} \approx 0,08$  мм, что при точных работах необходимо учитывать. Для уменьшения погрешности за фазу струну дополнительно освещают сверху.

Для уменьшения погрешности за колебание струны в процессе измерений определяют амплитуду колебаний и по ней – среднее положение струны.

Наиболее опасным и внешне не обнаруживаемым источником погрешностей является отклонение струны под действием постоянного ветрового давления. Однако и эту погрешность можно учесть, используя формулу для  $f_{zop}$ . В одних и тех же условиях струне придают различные натяжения  $F_1$  и  $F_2$  и измеряют максимальное изменение  $\Delta f_{2,1}$  горизонтального положения струны в средней точке створа, а значения отклонения струны от створа  $f_1$  и  $f_2$  для средней точки створа находят так:

$$f_1 = \frac{\Delta f_{2,1} \cdot F_2}{\Delta F_{2,1}} \text{ и } f_2 = \frac{\Delta f_{2,1} \cdot F_1}{\Delta F_{2,1}}. \quad (3.6)$$

Способ **оптического визирования** является наиболее простым и распространенным. В этом способе монтаж конструкций и оборудования производится при помощи зрительной трубы и визирных марок. Монтажной осью служит линия визирования, задаваемая оптическим прибором (алиниомером, теодолитом, нивелиром и специальными оптическими приборами, снабженными зрительной трубой большого увеличения и отсчетным устройством в виде окулярного микрометра или микроскопа).

Существуют две принципиальные схемы применения способа оптического визирования:

- 1) оптический прибор не имеет отсчетного устройства, тогда таким устройством снабжают подвижную марку, устанавливаемую на оборудовании;
- 2) прибор снабжен отсчетным устройством, тогда марка на оборудовании неподвижна, но должна быть установлена в створе монтажной оси.

Оптический створ может быть задан прямым визированием или визированием по частям. В способе прямого визирования на начальном пункте закрепленной монтажной оси устанавливают оптический прибор, а на конечном пункте – опорную визирную марку. Прибор наводят на опор-

ную марку и в створ линии последовательно вводят марки, установленные на соответствующих точках оборудования. В зависимости от применяемой схемы в одном случае марки в створ вводят, перемещая вместе с ними, оборудование, в другом – измеряют отклонение технологической оси оборудования от створа, а затем уже на величину этого отклонения перемещают оборудование. Так как погрешность визирования в линейной мере возрастает с увеличением расстояния от прибора до устанавливаемой точки, то, установив оборудование на первой половине створа, прибор и визирную марку на опорных пунктах меняют местами и продолжают монтаж на второй половине створа.

При визировании по частям для уменьшения погрешности визирования створ между опорными пунктами делят на несколько примерно равных частей. Прибор последовательно переносят на точки закрепления каждой части и, ориентируя его каждый раз по опорной марке на конечной точке, ведут монтаж только в пределах одной части. Для контроля монтажа таким же способом проверяют положение установленного оборудования обратным ходом, перенеся опорную марку на начальный пункт створа. Такая схема известна в створных наблюдениях как схема последовательных створов [3, 6].

Основные погрешности способа оптического визирования:

- ориентирования створа при визировании на опорную марку;
- введения промежуточной марки в створ;
- за перефокусирование зрительной трубы;
- центрирования прибора и визирных марок на знаках закрепления осей и оборудовании;
- за рефракцию.

Для приближенных расчетов совместное влияние первых трех источников погрешностей можно в линейной мере подсчитать по формуле

$$m_{\text{виз.ф.}} = \frac{20'' \sqrt{3}}{\Gamma^X \rho''} \cdot l, \quad (3.7)$$

где  $l$  – расстояние от прибора до устанавливаемой точки.

Для уменьшения влияния этой погрешности применяют специальные зрительные трубы с большим увеличением и минимальной погрешностью при изменении фокусировки. При работах высокой точности погрешности центрирования сводят к пренебрегаемо малой величине путем точного принудительного (механического) центрирования прибора и визирных марок на знаках крепления осей и оборудовании.

Для уменьшения погрешности за рефракцию выбирают или создают благоприятные условия производства работ.

### 3.3. Способы выверки прямолинейности

Выверка прямолинейности относится к работам по установке и контролю положения технологического оборудования. При этом имеется в виду установка в заданном створе фиксированных на оборудовании точек, совпадающих с геометрическими и технологическими осями.

К широко известным способам выверки прямолинейности – струнному и оптическому – относят также коллиматорный, автоколлимационный, дифракционный и лучевые способы.

**Коллиматорный способ** применяют при выверке прямолинейности направляющих путей и конвейерных линий большой протяженности (до 400 м) или при установке оборудования в проектное положение по базовым точкам.

Коллиматорная система (рис. 3.3) состоит из *зрительной трубы* 1 с окулярным микрометром 2 и *коллиматора* 3, задающего параллельный световой пучок. Зрительную трубу (теодолита) устанавливают на одной из исходных точек, а коллиматор передвигают по выверяемой линии и устанавливают в промежуточных точках. В качестве коллиматора выступает оптический прибор, позволяющий искусственно создать бесконечно удаленный объект.

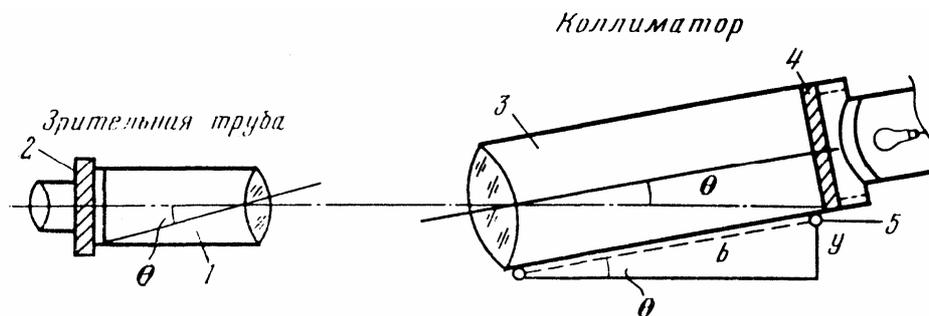


Рис. 3.3. Схема коллиматорного способа выверки прямолинейности

Сетка нитей 4 коллиматора расположена в фокальной плоскости и освещается сзади точечным источником света. Изображение этой сетки получается в фокальной плоскости зрительной трубы, сфокусированной на бесконечность, и налагается на изображение сетки нитей окулярного микрометра. При перемещении коллиматора параллельно визирной оси трубы, ориентированной по створу монтажной оси на второй коллиматор (марку), световой пучок не будет изменять своего направления и изображение сетки коллиматора относительно сетки трубы будет оставаться неподвижным. При повороте или наклоне коллиматора на некоторый угол  $\theta$ , на этот же угол от визирной оси отклонится световой пучок, вызывая смещение изображения сетки коллиматора в фокальной плоскости зрительной трубы. Угол  $\theta$  можно измерить окулярным микрометром. Зная расстояние  $b$  (база

прибора) между опорными точками 5, которыми коллиматор контактируется с выверяемой плоскостью, определяют линейную величину  $y$  отклонения оси коллиматора от заданного направления по формуле:

$$y = \frac{b \cdot \theta''}{\rho''}. \quad (3.8)$$

Средняя квадратическая погрешность  $m_y$  определения смещения может быть подсчитана по формуле:

$$m_y = \frac{b \cdot m_{\theta}''}{\rho''}. \quad (3.9)$$

Из этой формулы следует, что точность определения смещения коллиматорным способом не зависит от расстояния до наблюдаемых точек, но до известного предела. При больших удалениях коллиматора от зрительной трубы ухудшаются условия наблюдений и увеличивается погрешность измерения угла  $\theta$ . В благоприятных условиях при расстоянии до 200 м и базе коллиматора 1 м погрешность определения смещения составляет 0,005 – 0,01 мм. Углы в коллиматорном способе измеряют с точностью 0,5 – 0,8".

При выверке прямолинейности целой линии длиной  $L$  путем последовательных перестановок коллиматора суммарная погрешность отклонения от прямой в конечной точке может быть выражена формулой:

$$m_{yL} = \frac{m_{\theta}''}{\rho''} \sqrt{b \cdot L}. \quad (3.10)$$

При перемещении коллиматора от точки к точке передняя и задняя опоры должны последовательно контактировать с одними и теми же точками. Частота обработки поверхности выверяемого оборудования должна соответствовать точности способа. Эти условия выполнить трудно, поэтому фактическая погрешность измерений получается несколько большей, чем подсчитанная по формуле. Имеется прибор проверки соосности и прямолинейности ППС – 7.

**В способе автоколлимации** зрительная труба совмещена с коллиматором, т. е. образует единый автоколлимационный прибор. Такие приборы изготавливают на базе серийных теодолитов и нивелиров с добавлением специального автоколлимационного окуляра, формирующего изображение светящейся сетки нитей. Примером может служить выпускаемый в России автоколлимационный теодолит 3Т2А.

Принцип способа автоколлимации основан на получении изображения, образованного световым пучком, вышедшим из автоколлиматора и отраженным от отражателя, установленного на выверяемом оборудовании. Если в качестве отражателя используют хорошо отшлифованное зеркало, а

трубу автоколлиматора фокусируют на бесконечность, то получают автоколлимацию параллельного светового пучка, при сферическом отражателе – автоколлимацию сходящегося светового пучка. В зависимости от этого выверка может осуществляться двумя путями.

1. В параллельном пучке угол отклонения изображения, отраженного от плоского отражателя, измеряется оптическим микрометром автоколлимационной трубы. Схема автоколлимационного способа аналогична коллиматорной схеме, с той лишь разницей, что чувствительность автоколлиматора вдвое выше, т. к. при повороте отражателя на некоторый угол автоколлимационное изображение отклоняется на двойной угол (рис. 3.4., а). Отсюда, при одинаковых условиях погрешность автоколлимационного способа вдвое выше погрешности коллиматорного.

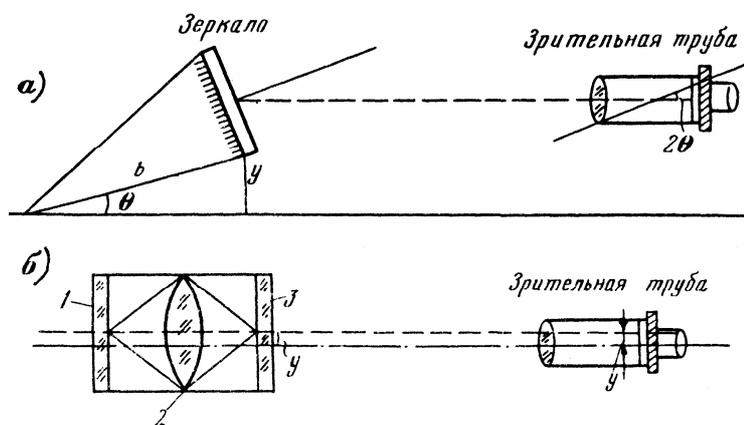


Рис. 3.4. Схемы автоколлимационного способа выверки прямолинейности

2. В сходящемся пучке (рис. 3.4., б) труба фокусируется на зеркально-линзовый отражатель, состоящий из плоского зеркала (1), помещенного в фокусе объектива (2), и защитного стекла (3). Эта система чувствительна к линейному смещению отражателя перпендикулярно створу. Величина смещения измеряется непосредственно окулярным микрометром трубы или при помощи отсчетного устройства, если им снабжен отражатель.

К недостатку автоколлимационного способа выверки прямолинейности следует отнести возрастающие потери яркости изображения с увеличением расстояний до отражателя. Применение лазеров увеличивает дальность действия способа.

Помимо выверки прямолинейности, автоколлимацию с успехом используют для точной передачи азимутов в ходах с очень короткими сторонами, равными нескольким метрам. Такие ходы могут прокладываться в закрытых помещениях для эталонирования гироскопов, в галереях гидростанций, в шахтах различного назначения и т. д. В качестве визирных целей в таких ходах применяют плоские зеркала; угловые измерения выполняют автоколлимационным теодолитом.

**Дифракционный способ** основан на интерференционном опыте Юнга с дифракцией от двух щелей. Свет от точечного источника (1) после прохождения узкой щели  $d_1$  марки  $M_1$  (рис. 3.5.) попадает на спектральную двухщелевую марку  $M_2$ . Вследствие дифракции от щелей  $d_2$  световой пучок загибается в область геометрической тени и, будучи когерентным, интерферирует. В пространстве после спектральной марки возникает интерференционная картина с ярко выраженной осью симметрии. Интерференционная картина рассматривается относительно сетки нитей приемника света 2. При монохроматическом пучке света наблюдатель видит одноцветную картину, состоящую из параллельных светлых полос, разделенных темными промежутками. Центральная полоса является самой яркой. Если интерференционная картина создается белым светом, то все полосы, кроме центральной, окрашены в различные цвета спектра.

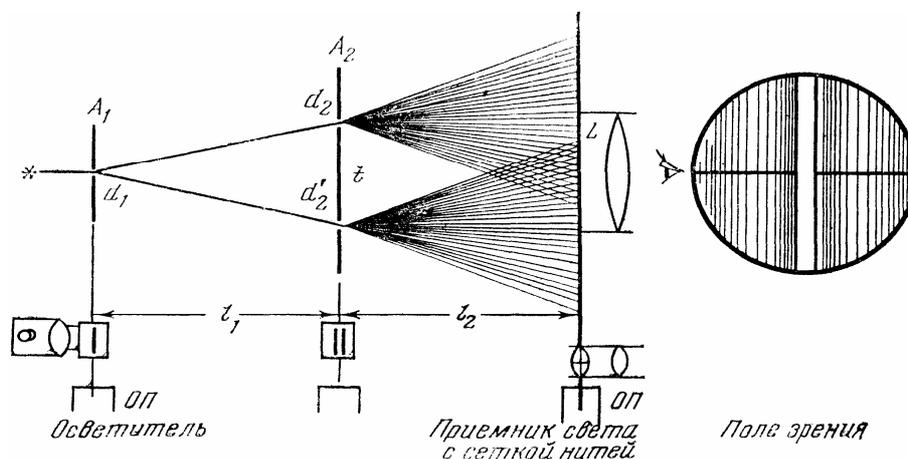


Рис. 3.5. Схема дифракционного способа выверки прямолинейности

Центр одиночной щели, оси симметрии спектральной марки и интерференционной картины всегда находятся на одной прямой. Это свойство и используется для выверки прямолинейности. При поперечном створу смещении спектральной марки соответственно смещается центр интерференционной картины. Если спектральная марка снабжена отсчетным устройством, то, совмещая центр интерференционной картины с биссектором сетки нитей приемника света при двух, отличающихся на  $180^\circ$ , положениях спектральной марки и производя при этом отсчеты, можно определить величину отклонения от створа. Марка с одиночной щелью и приемник света устанавливаются на знаках закрепления монтажной оси, спектральная марка – на оборудовании.

Размеры щелей обеих марок и расстояние между щелями спектральной марки рассчитывают, исходя из условия получения четкой интерференционной картины и необходимой ширины ее полосы.

Приборная точность дифракционного способа характеризуется средней квадратической погрешностью 0,05 – 0,1 мм на 100 м. Способ очень чувствителен к внешним условиям.

Увеличение дальности дифракционного способа и автоматизация процесса измерений при сохранении высокой точности стали возможны с появлением лазерных интерференционных створофиксаторов (ЛИСТ). В этих приборах в качестве источника излучения большой мощности и высокой когерентности используется лазер, а интерференционное изображение формируется специальными дифракционными линзами, называемыми зонными пластинами. В качестве приемника используются фотоэлектронные регистрирующие устройства (ФЭРУ) различного вида [3].

В практике выверки прямолинейности широкое распространение получил так называемый *лучевой способ*. Он основан на применении узкого лазерного пучка, задающего положение опорной прямой. Для этого используют различные лазерные визиры и указатели направлений. Положение контролируемых точек определяется с помощью фотоэлектронных регистрирующих устройств [23].

#### 3.4. Способы установки и выверки строительных конструкций по высоте

Установка конструкций и оборудования по высоте заключается в выведении их опорных точек и плоскостей на проектные высоты или уклоны. Выверка по высоте выполняется как правило геометрическим и гидростатическим нивелированием, микро nivelированием, индикаторным способом.

**Способ геометрического нивелирования** является самым распространенным для определения в натуре проектных высот. В зависимости от требуемой точности и выбранной схемы измерений применяют нивелирование того или иного класса.

При установке строительных конструкций требуется сравнительно невысокая точность, соответствующая нивелированию III и IV классов. При этом используют нивелиры средней точности типа Н-3 и стандартные шашечные рейки. Отметки на конструкции переносят в виде карандашных рисок или открасок.

При выполнении строительно-монтажных работ наиболее высокие требования предъявляются к установке по высоте металлических конструкций и закладных деталей. Применяя те же методы нивелирования, более высокой точности (порядка 1 мм) добиваются путем уменьшения расстояний от нивелира до реек (длин плеч).

Для производства геометрического нивелирования при монтаже технологического оборудования применяют наиболее точные приборы и ме-

тодику нивелирования. Используют прецизионные нивелиры типа Н-05, штриховые рейки с инварной полосой, специальные малогабаритные реечки или точные металлические линейки с миллиметровыми делениями. В этом случае способом геометрического нивелирования можно определить разности высот точек, расположенных на расстоянии 5 – 15 м, со средней квадратической ошибкой 0,02 – 0,05 мм и несколько сотен – с погрешностью до 0,2 мм.

При перенесении в натуру проектных высот  $H_{ПР}$  от исходного репера с высотой  $H_{РЕП}$  надо через горизонт инструмента  $H_j$  вычислить проектный отсчет по рейке  $b$ . Для этого используют формулы

$$H_j = H_{РЕП} + a, \quad b = H_j - H_{ПР},$$

где  $a$  – отсчет по основной шкале рейки, установленной на репере;

$b$  – отсчет по основной шкале рейки, установленной на проектной точке.

Вычисленный отсчет переводят в отсчет в виде номера штриха рейки  $B$  и деления головки  $\Gamma$  микрометра. Установив на головке микрометра отсчет  $\Gamma$  рейку поднимают до тех пор, пока в биссекторе поля зрения нивелира не окажется штрих основной шкалы  $B$  рейки. В этом случае пятка рейки будет соответствовать проектной отметке. Отсчеты по дополнительной шкале берутся только для контроля.

**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. 3.6.) 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. К подставке жестко крепится цилиндрический уровень (2) с ценой деления (5) – 8". Приведение пузырька в нуль-пункт осуществляется при помощи подъемного винта (4).

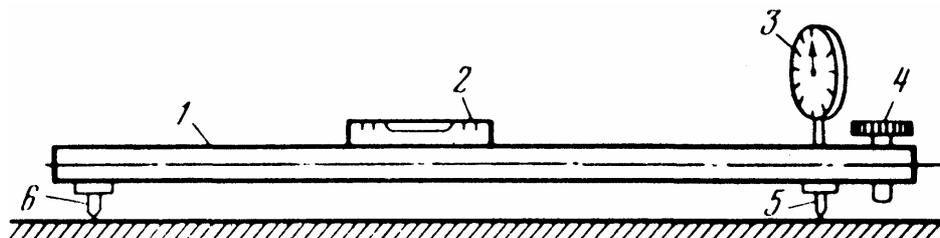


Рис. 3.6. Конструктивная схема микронивелира

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  $180^\circ$  и приведя вновь пузырек уровня на середину, берут второй отсчет по индикатору. Превышение на станции равно полуразности этих отсчетов  $h = \frac{O_3 - O_{II}}{2}$ .

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:

$$m_{[h]} = 0,01\sqrt{L/b}, \quad (3.11)$$

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

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

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

Различают гидромеханическое, гидродинамическое и гидростатическое нивелирование.

*Гидромеханическое нивелирование* основано на принципе измерения превышения как функции избыточного давления (или разрежения), создаваемого в измерительной системе столбом жидкости. Простейший гидромеханический нивелир состоит из датчика давления жидкости и компенсационной камеры, соединенных между собой шлангом с жидкостью.

Для определения превышения между двумя точками на одну из них устанавливают датчик (манометр или мановакуумметр), а на другую – компенсатор.

Нивелирование может выполняться по двум схемам:

- 1) компенсатор впереди;
- 2) датчик давления впереди.

Если датчик расположен ниже компенсатора, то манометром измеряют избыточное давление; если выше – вакуумметрическое давление.

Точность гидромеханического нивелирования зависит от величины измеряемого превышения, погрешностей измерения давления жидкости, определения ее температуры, плотности и др. Этот способ позволяет изме-

рять превышения в несколько метров, но со сравнительно невысокой точностью – 1 – 2 см. Применяется он для предварительной установки строительных конструкций.

Существуют российские системы ГСН-И (датчик давления с одной стороны) и ГСН-Д1 (датчики давления на обоих концах системы), финский электронный нивелир гидромеханического типа RRKM-20. Он применяется при высокоточном геодезическом обеспечении геофизических и геологических съемок, при геодезических изысканиях трасс трубопроводов, линий электропередач, контроля объемов земляных работ, при съемке незалесённых территорий.

*В гидродинамическом нивелировании* измерения выполняются в процессе непрерывного изменения уровня жидкости в сообщающихся сосудах, установленных на определяемых точках. Диапазон измерений небольшой (0,2 – 2,5 мм). Способ в основном применяют при необходимости автоматизированного измерения осадок сооружения.

Система состоит из последовательно подключенных друг к другу по жидкости головок, установленных на нивелируемых точках 1, 2, 3, ...,  $n$ . В сосудах имеются неподвижные электроды, от каждого идет провод к измерительному блоку пульта управления. На пульте установлен измерительный сосуд, диаметр которого гораздо больше, чем диаметр сосудов головок.

При изменении уровня жидкости в измерительном сосуде, жидкость начинает двигаться во всей измерительной системе и через некоторое время колебания жидкости стабилизируются. В измерительном сосуде и сосудах головок создается постоянная разность высот  $\Delta h_1, \Delta h_2, \dots, \Delta h_n$ . При этом жидкость последовательно замыкает электрические цепи в головках и в измерительный блок поступают сигналы, по которым фиксируются показания счетчика, ведущего измерения высоты столба жидкости в измерительном сосуде. По этим показаниям и вычисляются превышения всех сосудов над самым низким.

Существует российская гидродинамическая система СГДН-10ДМ с диапазоном измерения превышений до 300 мм, точность определения превышения – 0,05 – 0,3 мм.

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. На выверяемых точках устанавливаются сообщающиеся сосуды (см. рис. 3.7.). Если сосуды одинаково оцифровать от нижних опорных точек, например через миллиметры, то, измерив высоты столбов жидкости  $d_1$  и  $d_2$ , можно вычислить превышение  $h = d_1 - d_2$ .

Такой способ недостаточно точен и используется лишь в строительных гидростатических уровнях.

Более точные системы построены по иному принципу. Превышение  $h$  можно определить по формуле:

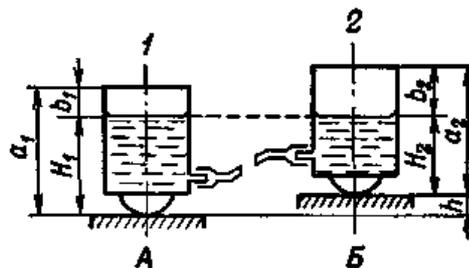


Рис. 3.7. Схема гидростатической системы

$$h = (a_1 - a_2) - (Z_1 - P_1), \quad (3.12)$$

где  $a_1$  и  $a_2$  – высоты сосудов или положения отсчитывания относительно точек, с помощью которых они устанавливаются на выверяемую поверхность;

$Z_1$  и  $P_1$  – расстояния от исходных точек отсчитывания до уровня жидкости.

Разность в положении исходных точек отсчитывания является постоянной прибора (местом нуля), зависящей от погрешностей его изготовления. Для ее исключения из результатов измерений сосуда нужно поменять местами и вновь определить расстояния  $Z_2$  и  $P_2$  по уровням жидкости. В этом случае:

$$h = (a_2 - a_1) - (Z_2 - P_2), \quad (3.13)$$

тогда в среднем значении превышения, определенного при двух положениях сосудов, место нуля исключится:

$$h_{CP} = \frac{1}{2} [(P_1 - Z_1) + (P_2 - Z_2)]. \quad (3.14)$$

Место нуля может быть подсчитано по формуле:

$$MO = \frac{1}{2} [(P_1 - Z_1) - (P_2 - Z_2)]. \quad (3.15)$$

Регистрация уровня жидкости в точных гидростатических системах осуществляется визуальным, электроконтактным, фотоэлектрическим и другими способами. К визуальным системам относятся широко распространенные приборы уровень гидростатический (Россия) УГС модели 114 и 115 и прибор Мейссера (Германия), которые являются приборами переносного типа.

Прибор УГС состоит из двух измерительных сосудов, соединенных между собой водяным и воздушным гибкими прозрачными шлангами. Каждый сосуд имеет микрометрический винт с острием. На нивелируемые поверхности сосуды устанавливают плоскими пятнами. Отсчеты берут по шкале винта до 0,01 мм в момент контакта острия с уровнем жидкости. 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, 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 (из-за перепада давления и температуры), а также погрешности неравновесия жидкости в сосудах и влияние капиллярности, неточность контактирования острия винта с жидкостью, влияние погрешностей установки прибора. Для уменьшения влияния внешних условий гидростатическую систему располагают вдали источников нагрева, а шланги стараются укладывать горизонтально.

**Индикаторный способ** применяют для окончательной установки выверяемых точек на проектную отметку, если из предварительных измерений известны точные фактические отметки этих точек.

Над выверяемыми точками оборудования устанавливают индикаторное устройство, состоящее из подставки со стойкой, передвижного мостика с уровнем и часового индикатора. Если к отсчету по индикатору, при его опирании на выверяемую точку, прибавить разность между проектной и фактической отметками, то получится отсчет, до величины которого надо поднять или опустить оборудование, чтобы его фиксированная точка находилась на проектной отметке.

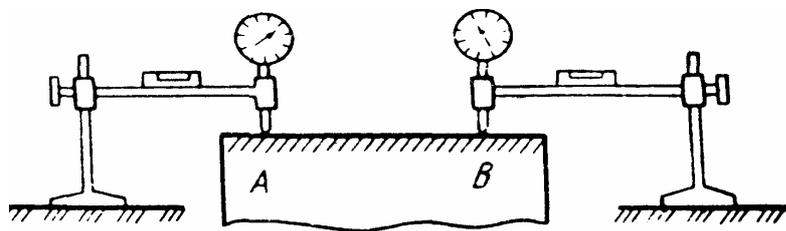


Рис. 3.8. Схема индикаторного способа выверки конструкций

Индикаторный способ может также применяться для окончательной установки оборудования в плане, если индикаторное устройство повернуть так, чтобы оно фиксировало горизонтальное перемещение оборудования [6].

### 3.5. Способы установки и выверки конструкций по вертикали

Установку конструкций и оборудования в вертикальное положение производят одним из следующих способов: при помощи отвеса, проектированием наклонным лучом, используя оптическую вертикаль, боковое нивелирование и автоколлимацию.

**Способ отвесов** применяется для предварительной установки и при работах сравнительно невысокой точности. Используют тяжелые отвесы, погруженные в жидкость (воду или масло), для уменьшения колебаний нити под влиянием воздушных потоков. Погрешность этого способа характеризуется величиной  $0,001h$ , где  $h$  – высота конструкции.

Поступают так: нить отвеса подвешивают к оголовку конструкции на небольшой консоли, длиной 10 – 15 см. Консоль приваривают или привинчивают к колонне. Линейкой измеряют расстояние от грани колонны до нити отвеса вверху и в основании, а по разности определяют линейную величину наклона.

Для автоматизации и повышения точности измерений применяют электронный центрир, в котором вертикаль задается стальной струной, а отклонение от нее до выверяемой конструкции измеряется при помощи индуктивного датчика, жестко связанного с этой конструкцией.

**Способ проектирования наклонным лучом** (наклонного визирования) применяют при установке строительных конструкций. Рассмотрим его на примере вертикальной установки колонн здания. Выполняют ее при помощи теодолита (рис. 3.9.).

Перед установкой колонны выполняют ее разметку: намечают осевые риски вверху и внизу конструкции, которые определяют положение геометрической оси. Теодолит устанавливают на некотором расстоянии от конструкции (не менее ее высоты), по направлению перпендикулярному одной из плоскостей колонны, и тщательно горизонтируют. Вертикальный штрих сетки нитей теодолита совмещают с риской в нижнем сечении колонны.

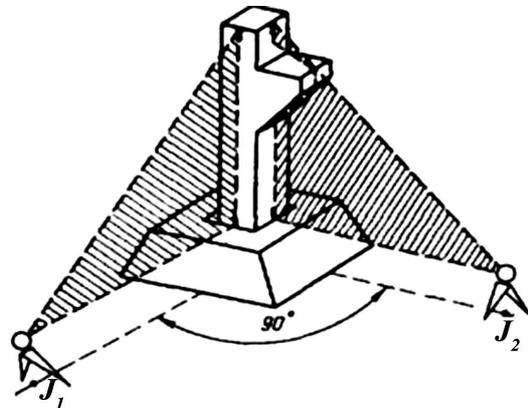


Рис.3.9. Установка колонны по вертикали наклонным лучом теодолита

Трубу теодолита поднимают до уровня верхней риски. Наклоняя колонну, добиваются совмещения верхней риски с вертикальным штрихом сетки. Совмещение верхней и нижней рисок с этим штрихом свидетельствуют о вертикальности колонны. Аналогичные действия выполняют по другому направлению, перпендикулярному первому.

Основные источники погрешностей этого способа: наклон вертикальной оси вращения теодолита, погрешность визирования и нестворность установки теодолита.

Наклон вертикальной оси вращения теодолита – наиболее существенный источник погрешностей, не устраняемый визированием при двух положениях вертикального круга. В линейной мере погрешность за наклон  $m_\tau$  определяется из выражения:

$$m_\tau = \frac{0,5 \cdot \tau'' \cdot h}{\rho''}, \quad (3.16)$$

где  $\tau$  – цена деления уровня на алидаде горизонтального круга теодолита;  
 $h$  – высота конструкции.

Приняв  $h = 10$  м,  $\tau = 20''$ , для теодолита 2Т2 получим  $m_\tau = 0,5$  мм, что для монтажа строительных конструкций вполне допустимо. Однако эта погрешность возрастает с увеличением высоты.

Влияние нестворности установки теодолита зависит от плана расположения осевых рисок. Если они находятся на одной вертикали, то нестворность установки теодолита не имеет существенного значения. В противном случае, допустимая нестворность  $\Delta_H$  установки теодолита, зависящая от несовпадения проекций верхней и нижней осевых рисок  $r$  и расстояния  $S$  от теодолита до конструкции, может быть вычислена по формуле

$$\Delta_H = \frac{\Delta_r S}{r}, \quad (3.17)$$

где  $\Delta_r$  – допустимая величина погрешности неперпендикулярности конструкции.

Приняв  $\Delta_r = 1$  мм,  $S = 20$  м и  $r = 50$  мм, получим  $\Delta_H = 0,4$  м. Данная величина указывает на необходимость довольно точной установки теодолита в створе.

**Способ оптической вертикали** предусматривает использование различного рода оптических проецирующих приборов с уровнем или компенсатором (зенит-приборов).

Этот способ применяют при строительстве высотных зданий для передачи плановых координат с одного монтажного горизонта на другой и для выверки конструкций по вертикали.

Зенит-прибор состоит из следующих частей:

- ломаной зрительной трубы с направленной вверх визирной линией, увеличение зрительной трубы  $30 - 40^x$ ;
- двух взаимно перпендикулярных высокоточных уровней с ценой деления  $3 - 5''$ ;
- подставки с оптическим центром.

Существуют приборы: ОЦП – оптический центрировочный прибор, ПОВП – прибор оптического вертикального проектирования, PZL – автоматический прецизионный зенит-прибор, ЛЗЦ – лазерный надир-центрир. Для вертикального проектирования широкое распространение получил автоматический прецизионный зенит-прибор PZL (Германия) с самоустанавливающейся линией визирования. Также известны: ZNL (Швейцария), лазерные зенит-приборы ЛЗЦ-1 (СССР), LL-132 (США).

Корпус прибора (2) имеет цилиндрическую форму (рис. 3.10., а).

Внутри корпуса имеется прямоугольная призма, подвешенная на нитях в виде маятника. Эта призма служит компенсатором углов наклона оси вращения прибора.

Компенсатор работает в пределах  $\pm 10'$  и позволяет установить вертикальную ось в отвесное положение с точностью около  $0,5''$ . В верхней части корпуса находится объектив (1). Лучи, идущие через объектив, проходят через призму компенсатора и дополнительную призму и попадают в окуляр зрительной трубы (7), в котором наблюдатель видит прямое изображение предмета. В рабочее положение прибор приводится по круглому уровню (5).

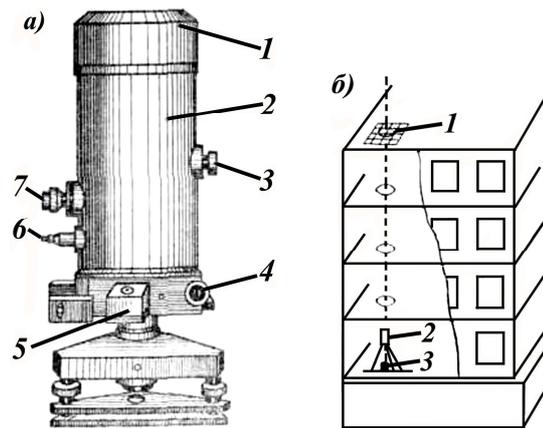


Рис.3.10. Способ вертикального проектирования: а) прибор вертикального проектирования PZL; б) схема проектирования точки на монтажный горизонт

Горизонтальный круг прибора с ценой деления лимба  $10'$  снабжен наводящим устройством (4). Отсчеты по шкаловому микроскопу снимаются через окуляр микроскопа (6). Точность отсчета  $1'$ . Фокусирование трубы выполняется с помощью фокусирующего устройства (3). Увеличение зрительной трубы прибора  $31,5^{\times}$ . Кратчайшее расстояние визирования  $2,2$  м. Центрирование прибора над центром знака выполняется с помощью оптического центрира с погрешностью  $0,5$  мм.

Для построения зенит-прибором оптической вертикали в намеченных направлениях оставляют в перекрытиях небольшие сквозные отверстия. Прибор центрируют над опорной точкой, приведя линию визирования в отвесное положение. На монтажном горизонте выводят на оптическую вертикаль особые консольные марки или прозрачные палетки, по которым отсчитывают положение проектируемой вертикали.

Для проектирования точек разбивочной сети на монтажные горизонты над опорной точкой (3) (рис. 3.10., б) на исходном горизонте тщательно центрируется зенит-прибор (2). Над отверстием монтажного горизонта с помощью специального приспособления укрепляется палетка (1). Палетка изготавливается из оргстекла, на которое наклеивается калька с нанесенной на нее координатной сеткой в виде взаимно перпендикулярных линий (линии проводят через  $5$  или  $10$  мм), выходы которых оцифровываются.

Горизонтальная нить сетки нитей зенит-прибора устанавливается параллельно одной из сторон координатной сетки и на горизонтальном круге ставится отсчет, равный  $0^{\circ}$ . В этом положении с палетки снимается отсчет относительно оцифрованных линий координатной сетки палетки.

Далее прибор поворачивают на  $180^\circ$  и снова берут отсчет по палетке. После этого аналогичную работу повторяют при отсчетах по горизонтальному кругу  $90^\circ$  и  $270^\circ$ . Средние значения из каждых двух парных отсчетов покажут координаты точки на палетке. Положение опорной точки с палетки переносится на монтажный горизонт и соответствующим образом закрепляется. Аналогичная работа может быть выполнена путем фиксирования проекции пересечения нитей сетки прибора на палетку помощником наблюдателя, находящимся на монтажном горизонте, также при четырех положениях визирной оси с поворотом через  $90^\circ$ . В этом случае необходима надежная связь между наблюдателем и его помощником [1].

На точность способа оптической вертикали влияют погрешности: центрирования прибора над исходным пунктом, приведения линии визирования в вертикальное положение, визирования на марку или отсчета по штрихам палетки, фиксирования точки, влияние внешних условий.

Из опыта установлено, что инструментальная точность приборов вертикального проектирования с компенсатором характеризуется средней квадратической погрешностью  $0,5 - 1$  мм на  $100$  м высоты.

**Способом бокового нивелирования** можно производить разметку колонн, установку и контроль установки конструкций по вертикали (рис. 3.11.)

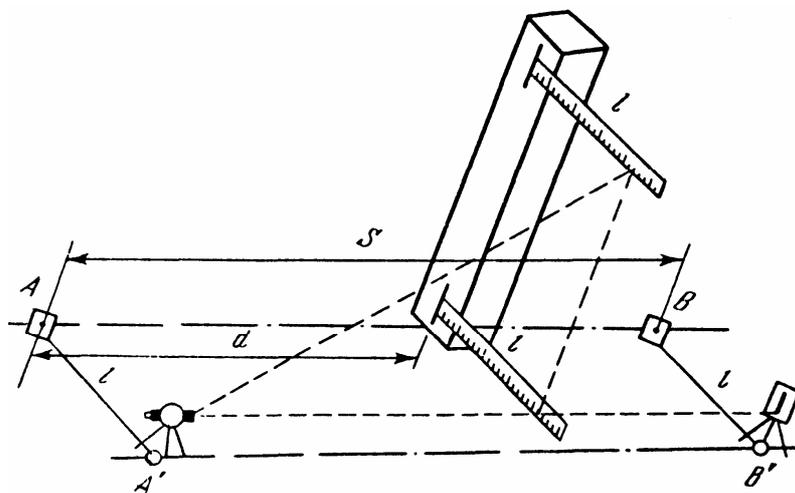


Рис. 3.11. Схема выверки вертикальных конструкций

Способ основан на определении величин отклонений точек конструкции от вертикальной плоскости, образуемой визирной линией трубы теодолита.

Теодолит ориентируют по марке, установленной в конце створа параллельного технологической оси (створ организуют на расстоянии  $1 - 2$  м от оси).

Отсчеты берут по переносной нивелирной рейке или линейке, устанавливаемой сначала в нижнем, а затем в верхнем сечении колонны. Рейка устанавливается перпендикулярно к ее боковой поверхности.

Разность отсчетов по рейке внизу и вверху колонны характеризует ее поперечный наклон в линейной мере

$$\Delta l = b - a. \quad (3.18)$$

Основные источники погрешностей способа бокового нивелирования рассмотрены ранее при изложении способов разбивочных работ.

Точность установки колонны по вертикали способом бокового нивелирования будет в основном зависеть от погрешностей неперпендикулярности рейки к направлению визирования теодолитом, отсчета по рейке и погрешности за наклон вертикальной оси теодолита.

Первая из погрешностей может быть подсчитана по формуле

$$m_H = \frac{l \cdot v^2}{2\rho^2}, \quad (3.19)$$

где  $l$  – отсчет по рейке;

$v$  – угол отклонения рейки от перпендикулярного направления.

Приняв  $l = 1500$  мм и  $v = 2^\circ$ , получим  $m_H = 0,8$  мм.

Погрешность отсчета по рейке можно вычислить по формуле:

$$m_0 = 0,03 \cdot t + 0,2 \frac{S}{\Gamma^x}, \quad (3.20)$$

где  $t$  – цена деления рейки;

$S$  – расстояние от теодолита до рейки, м.

При  $t = 10$  мм,  $S = 50$  м и  $\Gamma^x = 25^x$  будем иметь  $m_0 = 0,7$  мм.

Погрешность за наклон вертикальной оси теодолита подсчитывается по формуле (3.16). Приняв  $h = 10$  м,  $\tau = 20''$ , получим  $m_\tau = 0,5$  мм.

Для приведенных данных суммарная погрешность вертикальной установки колонны в одном направлении будет равна 1,2 мм.

Для выверки вертикальности конструкций может быть применен и способ автоколлимации [6].

## 4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### 4.1. Виды деформаций и причины их вызывающие

Деформации сооружений возникают в связи с воздействием на их основание различных природных и техногенных факторов. В основном деформации зависят от смещений горных пород в их основании, а также могут быть вызваны динамическими воздействиями (вибрацией) работающего оборудования.

Смещения горных пород могут происходить как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях.

В общем случае под термином **деформация** понимают изменение формы объекта наблюдений. В геодезической же практике принято рассматривать деформацию как изменение положения объекта относительно какого-либо первоначального.

Вертикальные деформации подразделяются на осадки, просадки, набухания и усадки, оседания.

Под постоянным давлением от массы сооружения грунты в основании фундамента постоянно уплотняются и происходит смещение в вертикальной плоскости или **осадка** сооружения. Осадка может быть вызвана и другими причинами: карстовыми и оползневыми явлениями, изменением уровня грунтовых вод, работой тяжелых механизмов, движением транспорта, сейсмическими явлениями. При коренном изменении структуры пористых и рыхлых грунтов (замачивание и оттаивание) происходит быстро протекающая во времени деформация, называемая **просадкой**. Также к вертикальным деформациям можно отнести: *набухание и усадки*, связанные с изменением объема глинистых грунтов при изменении их влажности, температурных или химических воздействий; *оседания*, связанные с разработкой подземных ископаемых и изменением гидрологических условий.

В том случае, когда грунты под фундаментом сооружения сжимаются неодинаково или нагрузка на грунт различная, осадка имеет неравномерный характер. Это приводит к другим видам деформаций: горизонтальным смещениям, сдвигам, перекосам, наклонам, прогибам, которые внешне могут проявляться в виде трещин и даже разломов.

Смещение сооружений в горизонтальной плоскости может быть вызвано боковым давлением грунта, воды и ветра.

Высокие сооружения башенного типа (дымовые трубы, телебашни и т. п.) испытывают кручение и изгиб, вызываемые неравномерным солнечным нагревом или давлением ветра.

Для изучения деформаций в характерных местах сооружения фиксируют точки и определяют изменение их пространственного положения за выбранный промежуток времени. При этом определенное положение и время принимают за начальные.

Для определения *абсолютных или полных осадок*  $S$  фиксированных на сооружении точек периодически определяют их отметки  $H$  относительно исходного репера, расположенного в стороне от сооружения и принимаемого за неподвижный. Определить осадку точки сооружения на текущий момент времени можно как разность отметок начального и текущего циклов измерений:

$$S = H_i - H_0, \quad (4.1)$$

аналогично можно вычислить осадку между предыдущим и последующим циклами наблюдений.

*Средняя осадка* всего сооружения или отдельных его частей вычисляется как среднее арифметическое из суммы осадок всех его точек:

$$S_{cp} = \frac{\sum^n S}{n}. \quad (4.2)$$

Одновременно со средней осадкой для полноты общей характеристики указывают наибольшую и наименьшую осадки точек сооружений.

*Неравномерность осадки* может быть определена по разности осадок  $\Delta S$  каких-либо двух точек 1 и 2, т. е.  $\Delta S_{1,2} = S_2 - S_1$ .

*Послойная деформация*  $\Delta S_z$  грунтов в основании или толщии тела сооружений определяют как разность осадок точек, закрепленных в кровле и подошве.

*Симметричный относительный прогиб*  $f$  отдельных частей сооружения вычисляется:

$$f = \frac{2S_k - (S_i + S_j)}{2L}, \quad (4.3)$$

где  $S_k$  – осадка точки  $k$ , расположенной между точками  $i$  и  $j$ ;

$S_i, S_j$  – осадки точек  $i$  и  $j$ , расположенных по краям прямолинейного участка сооружения длиной  $L$ .

Направление прогиба определяется знаком: «+» – при выпуклости, «-» – при вогнутости.

*Крен или наклон* сооружения определяют как разность осадок двух точек, расположенных на противоположных краях сооружения, или его частей вдоль выбранной оси. Наклон в направлении продольной оси называют завалом, а в направлении поперечном – перекосом. Величина крена,

отнесенная к расстоянию между двумя точками, называется относительным креном:

$$K = \frac{S_i - S_j}{L}. \quad (4.4)$$

*Горизонтальное смещение*  $q$  отдельной точки сооружения характеризуется разностью ее координат в текущем и начальном циклах наблюдений. Положение осей координат совпадает с главными осями сооружения, а вычисляют смещения, разнесенные по осям координат:

$$q_X = X_i - X_0; \quad q_Y = Y_i - Y_0. \quad (4.5)$$

*Кручение* характерно для сооружений башенного типа. Оно определяется как изменение углового положения радиуса фиксированной точки, проведенного из центра исследуемого горизонтального сечения.

Изменение величины деформации за выбранный интервал времени характеризуется средней скоростью деформации

$$v_{cp} = \frac{S_n - S_m}{t}, \quad (4.6)$$

причем скорость различают среднесуточную, среднемесячную, среднегодовую [6].

## 4.2. Назначение и организация наблюдений

Назначения наблюдений за деформациями могут быть различными:

- 1) с целью определения степени деформации для оценки устойчивости сооружений и принятия своевременных мер;
- 2) с целью изучения законов деформации, влияющих на нормальную работу технологического процесса;
- 3) проверка расчетных данных;
- 4) изучения законов деформации с целью разработки методики наблюдений и прогнозирования осадок.

Наблюдения за деформациями планируются еще до начала строительства и носят название «систематические наблюдения», которые выполняются по графику. Срочные наблюдения выполняются в связи с явными изменениями в фундаменте или основании сооружения.

Измерения деформаций зданий и сооружений должны проводиться в соответствии с ГОСТ 24846-84 «Требования к точности геодезических измерений деформаций оснований»; ГОСТ 27751-88 «Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчетам. Изменение № 1»; ГОСТ 24846-91 «Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений»; СНБ 5.01.01-99 «Основания и фундаменты зданий и сооружений».

Для производства наблюдений составляется специальный проект (рабочая программа), который включает в себя:

- техническое задание на производство работ;
- общие сведения о сооружении, природных (геологических) условиях и режиме его работы;
- схему размещения опорных и деформационных знаков;
- принципиальную схему наблюдений;
- расчет необходимой точности измерений;
- методы и средства измерений;
- рекомендации по методике обработки результатов измерений и оценке состояния сооружения;
- календарный план (график) наблюдений;
- состав исполнителей, объемы работ и смету [6].

#### 4.3. Периодичность и точность наблюдений

Наблюдения за деформациями вновь строящихся сооружений начинают с момента окончания работ на нулевом цикле и заканчивают после стабилизации осадок фундаментов, но не ранее двух лет после сдачи здания или сооружения в эксплуатацию. Первый цикл измерения обычно начинают тогда, когда давление фундамента на грунт составляет 25 % от веса здания или сооружения. Последующие циклы измерения выполняют при достижении нагрузки в 50, 75, 100 % от веса здания или после возведения каждого этажа.

От правильного выбора точности и периодичности зависят методы и средства измерений, затраты на их производство и достоверность получаемых результатов.

Например, при строительстве крупнопанельных зданий измерение осадок выполняют 4 раза: после возведения фундамента, монтажа второго этажа, коробки здания и перед сдачей его в эксплуатацию.

При выполнении повторных циклов измерений учитывают следующие факторы:

- вид сооружения и период его работы;
- проведение подземных работ;
- возведение в непосредственной близости больших сооружений;
- изменение температурного режима грунта основания;
- изменение уровня грунтовых вод;
- наличие динамических нагрузок;
- скорость изменения деформации.

Промежутки между циклами уменьшают при возрастании скорости осадок и появлении трещин, недопустимых кренов и других опасных деформаций. После окончания строительства здания или сооружения периодичность определения осадок изменяется. В период первых двух лет эксплуатации измерения рекомендуется выполнять не менее четырех раз (в разные сезоны года). Наблюдения за деформациями прекращают только тогда, когда скорость осадки не превышает 1 – 2 мм в год.

В среднем в строительный период систематические наблюдения выполняют 1 – 2 раза в квартал, в период эксплуатации – 1 – 2 раза в год. При срочных наблюдениях их выполняют до и после появления фактора, резко изменяющего обычный ход деформации.

Точность и периодичность измерений указываются в техническом задании на производство работ или в нормальных документах. В особых случаях эти требования могут быть получены путем специальных расчетов.

В нормативных документах (ГОСТ 24846-84) требования к точности определения осадок или горизонтальных смещений характеризуются средней квадратической погрешностью:

1 мм – для зданий и сооружений, длительно находящихся в эксплуатации и возводимых на скальных или полускальных грунтах (I класс точности);

3 мм – для зданий и сооружений, возводимых на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах (II класс точности);

10 мм – для зданий и сооружений, возводимых на насыпных, просадочных и других сильно сжимаемых грунтах (III класс точности);

15 мм – для земляных сооружений (IV класс точности).

На оползневых участках осадки измеряются со средней квадратической погрешностью 30 мм, а горизонтальные смещения – 10 мм.

Крены дымовых труб, матч, башен измеряются с точностью, зависящей от высоты сооружения, и характеризуются величиной – 0,0005 Н.

Установить необходимую точность измерения деформаций расчетным путем довольно сложно, однако для многих практических задач можно пользоваться формулой:

$$m_{\Phi} \leq 0,2\Delta\Phi, \quad (4.7)$$

где  $m_{\Phi}$  – средняя квадратическая ошибка измерения деформации;

$\Delta\Phi$  – величина деформации за промежуток времени между циклами измерений.

Определение точности измерений деформаций производят в зависимости от ожидаемых конечных предельных значений величин перемещений, установленных проектной документацией, по форме табл. 4.1.

Таблица 4.1

## Определение точности измерения деформаций

Расчетная величина вертикальных или горизонтальных перемещений, предусмотренная проектом, мм	Допустимая погрешность измерения перемещения, мм, для различных грунтов			
	при строительстве		при эксплуатации	
	песчаные	глинистые	песчаные	глинистые
До 50	1	1	1	1
50 – 100	2	1	1	1
100 – 250	5	2	1	2
250 – 500	10	5	2	5
более 500	15	10	5	10

По данным табл. 4.1 устанавливают класс точности измерения вертикальных и горизонтальных перемещений фундаментов зданий и сооружений, которые приводятся в табл. 4.2.

В случае отсутствия расчетных величин вертикальных или горизонтальных перемещений рекомендуется устанавливать такие классы точности измерения деформаций для зданий и сооружений и точность их измерения как приводится в ГОСТ 24846-84.

Таблица 4.2

## Установление класса точности измерений

Класс точности измерения	Допустимая погрешность измерения перемещений, мм	
	горизонтальные	вертикальные
I	2	1
II	5	2
III	10	5
IV	15	10

Допустимые значения деформаций инженерных сооружений регламентируются в СНБ 5.01.01-99 (см. табл. 4.3). Измерения деформаций выполняют геодезическими и негеодезическими методами.

К геодезическим методам относят: геометрическое нивелирование по программам I – IV классов, тригонометрическое нивелирование, микро-нивелирование, гидронивелирование, фотограмметрический метод. Эти методы позволяют определить как абсолютные, так и относительные осадки.

Как правило, при наблюдениях за осадкой грунта под особо ответственными и уникальными зданиями применяют геометрическое нивелирование I класса. Наблюдения за другими гражданскими и промышленными сооружениями выполняют геометрическим нивелированием II – III классов.

Таблица 4.3

## Пределные деформации основания

Вид сооружения	относительная разность осадок ( $\Delta S/L$ )	крен ( $i_u$ )	средняя ( $S_u$ ) максимальная ( $S_{umax}$ ) осадка, см
1	2	3	4
1. Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные сооружения с			
– полным каркасом	0,002	–	8
– железобетонным	0,004	–	12
– стальным			
2. Сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,006	–	15
3. Многоэтажные бескаркасные сооружения с несущими стенами из			
– крупных панелей	0,0016	0,005	10
– крупных блоков или кирпичной кладки без армирования	0,0020	0,005	10
– то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов	0,0024	0,005	15
4. Сооружения элеваторов из железобетонных конструкций:			
– производственное здание и силосный корпус на одной фундаментной плите	–	0,003	40
– то же, сборной конструкции	–	0,003	30
– отдельно стоящий силосный корпус монолитной конструкции	–	0,004	40
– то же, сборной конструкции	–	0,004	30
– отдельно стоящее производственное здание	–	0,004	25
5. Дымовые трубы высотой (H), м:			
– менее или равно 100	–	0,005	40
– от 100 до 200	–	1/(2H)	30
– от 200 до 300	–	1/(2H)	20
– более 300	–	1/(2H)	10
6. Жесткие сооружения высотой до 100 м, кроме указанных в 4, 5	–	0,002	20
7. Антенные сооружения связи:			
– стволы мачт заземления	–	–	20
– то же, электрически изолированные	–	–	10
– башни радио	0,002	0,002	–
– башни коротковолновых радиостанций	0,0025	0,0025	–
– башни (отдельные блоки)	0,001	0,001	–

8. Опоры воздушных линий электропередач:			
– промежуточные прямые	0,003	0,003	–
– анкерные и анкерно-угловые, концевые, порталы открытых распределительных устройств	0,0025	0,0025	–
– специальные переходные	0,0020	0,0020	–

*Примечания:*

1. Предельные значения относительного прогиба (выгиба) зданий принимаются равными 0,5 ( $\Delta S/L$ ).

2. Предельные значения подъема основания, сложенного набухающими грунтами, допускается принимать: максимальный и средний подъем в размере 25 % и относительную неравномерность осадок (относительный выгиб) здания в размере 50 % соответствующих предельных значений деформаций.

3. Если основание сложено горизонтальными (с уклоном не более 0,1), выдержанными по толщине слоями грунтов, предельные значения максимальных и средних осадок допускается увеличивать на 20 %, а для сооружений, перечисленных в 1 – 3 с фундаментами в виде сплошных плит предельные значения средних осадок допускается увеличивать в 1,5 раза.

Негеодезические методы позволяют определить только относительные осадки элементов здания или сооружения. При наблюдениях используют отвесы, клинометры, деформетры, микрокренометры и другие приборы.

#### 4.4. Схема размещения реперов и осадочных марок. Анализ устойчивости реперов

Для наблюдений за осадками необходимо иметь высотную основу в зависимости от требований точности этих наблюдений. Чтобы сеть постоянно сохраняла свою высокую точность нужно запроектировать исходные реперы в виде:

- глубинных фундаментных реперов, заложенных в коренные породы (несжимаемые грунты);
- грунтовых реперов, заложенных ниже глубины промерзания;
- осадочные марки и реперы расположенные в фундаментах или стенах зданий, осадку которых можно считать практически закончившейся.

Глубинные реперы размещают как можно ближе к сооружениям или в самом сооружении (глубина заложения должна быть ниже границы сжимаемой толщи пород под сооружениями). Репер состоит из трех основных элементов: головки, базы и защитных устройств. Реперная головка, предназначенная для установки пятки нивелирной рейки, изготавливается из бронзы или нержавеющей стали в виде полусферической поверхности радиусом 40 мм.

Грунтовые и стенные реперы, которые принимают за исходные при наблюдениях за деформациями, располагают вне сферы влияния здания или сооружения, их располагают обычно на расстоянии менее 70 – 80 м от сооружений. Исходные грунтовые реперы устанавливают «кустами» по 3 шт., чтобы обеспечить контроль их высотного положения с одной постановки нивелира.

Для наблюдений за осадкой сооружений применяют реперы различных конструкций. Например, биметаллический репер, длинная обсадная труба (100 – 155 мм) которого при бурении не доводится до коренной породы на 20 – 30 см. В середине трубы располагают железный и медный стержни диаметром 15 – 20 мм, концы которых погружают на 35 – 40 см в коренную породу и бетонируют.

При выборе места для установки репера учитывают требования производства нивелирных работ. Грунтовые рабочие реперы размещают как можно ближе к маркам, чтобы повысить точность определения превышения между ними. В процессе наблюдений должен быть обеспечен беспрепятственный и удобный подход к реперу.

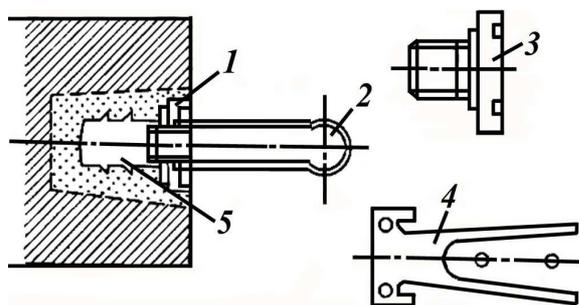


Рис. 4.1. Стенная закрытая марка:  
1) головка; 2) установочный марочный болт; 3) крышка; 4) ключ; 5) хвостовик

Контрольные нивелирные марки (реперы) закладывают так, чтобы по результатам наблюдений можно было судить о величинах общих деформаций сооружения (осадках, крене, перекосах) и его основания. Более удобной является закрытая стенная марка (рис. 4.1).

Этот знак закладывается заподлицо со стеной и закрывается крышкой, которая снимается во время наблюдений.

Схема расположения исходных реперов и осадочных марок зависит от компоновки зданий, инженерно-геодезической и топографической характеристики стройплощадки, технологии строительного производства.

Для развития нивелирной сети устанавливают грунтовые рабочие реперы и деформационные знаки (стенные реперы и осадочные марки). *Осадочной маркой* называют всякий временный или постоянный нивелирный знак, закладываемый в несущих конструкциях и изменяющий свое высотное положение вследствие осадки сооружения.

Число закладываемых марок зависит от характера сооружения и его размера. Марки устанавливают в количестве достаточном для выявления очагов осадок, определения деформации фундамента в продольном и по-

перечном направлениях, построения линий равных величин осадок на площади фундамента (рис. 4.2).

При жестком коробчатом фундаменте марки закладывают на углах по периметру (через 15 – 20 м) и по всей площади из расчета, что на каждые 100 м приходится по одной марке. В случае нежестких сооружений марки закладывают на всех наружных и внутренних несущих стенах на расстоянии 10 – 15 м. В сборных конструкциях марки устанавливают на несущих колоннах каркаса по периметру и внутри здания, на углах торцевых стен, у осадочных швов на расстоянии 10 – 15 м (рис. 4.3).

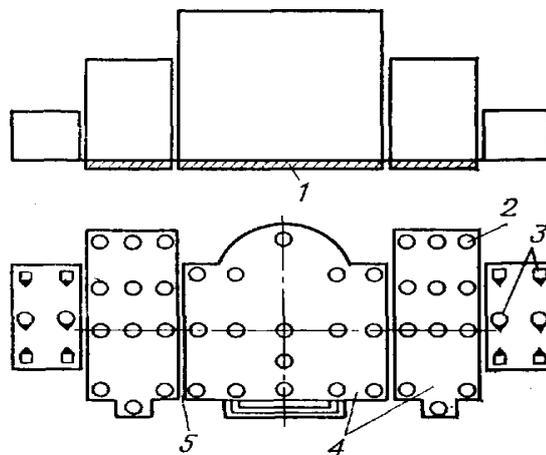


Рис.4.2. Схема размещения марок на здании с резкими перепадами по высоте:  
1), 4) железобетонная плита;  
2) плитные марки; 3) стенные марки;  
5) осадочный шов

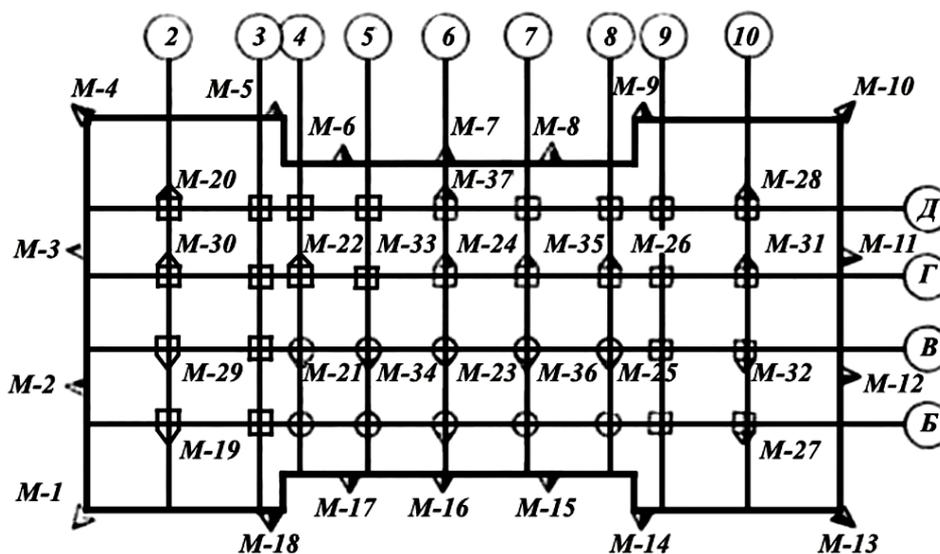


Рис. 4.3. Схема размещения марок на колоннах и углах здания

При определении горизонтальных смещений деформационные знаки располагают по периметру, но не реже, чем через 15 – 20 м по углам и по обе стороны осадочных и температурных швов.

Высотные реперы на гражданских и промышленных зданиях для определения осадок располагают по углам здания и по периметру (на фундаменте), по обе стороны деформационных швов, на колоннах, в местах примыкания продольных и поперечных стен (не менее 4 штук). Тип осадочной марки зависит от точности будущей сети [23].

Проект размещения осадочных марок и реперов (рис. 4.4) уточняют на местности, стремясь создать сеть нивелирных ходов с равными расстояниями от нивелира до марок и систему полигонов с включением исходных реперов. Все связующие точки и нивелирные станции закрепляют постоянными знаками, чтобы нивелирование в циклах производить по тем же точкам.

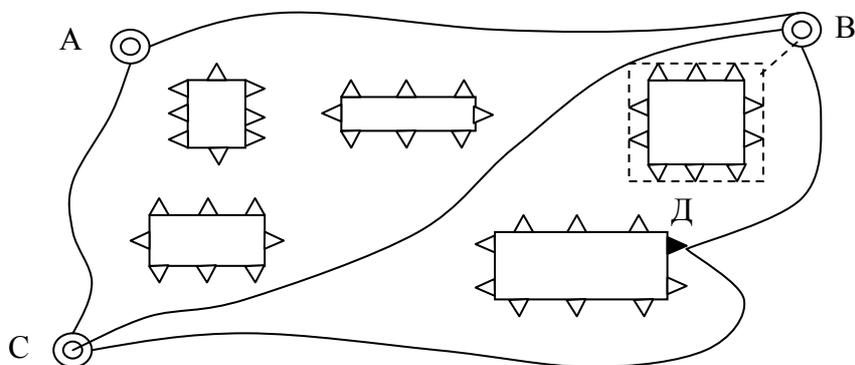


Рис.4.4. Схема нивелирной сети:

$\Delta$  – осадочные марки; А, В, С – глубинные или грунтовые исходные реперы;  
 Д – рабочий грунтовый репер

После закладки реперов и марок составляется исполнительная схема размещения знаков, с привязкой реперов и марок к разбивочным сетям, углам зданий с погрешностью не более 10 см. Схема составляется в масштабе 1:500. Общая схема нивелирных ходов, объектов наблюдения, исходных реперов составляется в зависимости от размеров сооружения в более мелком масштабе (1:1000 – 1:5000).

Для такой сети нивелирование осуществляется в два этапа: сначала прокладываются хода  $A - C$ ,  $A - B$ ,  $B - Д$ ,  $Д - C$ ,  $C - B$  между исходными реперами, а затем – хода по осадочным маркам.

Рассмотрим некоторые особенности:

- при нивелировании места установки прибора закрепляют штырями в грунте или гвоздями в асфальте, и при повторном нивелировании прибор устанавливают над этими знаками;
- в нивелирных ходах некоторые осадочные марки используют как связующие, а другие как промежуточные, поэтому возникает неравенство плеч;
- каждую марку, не вошедшую в хода, необходимо наблюдать с двух станций (рис. 4.5).

Обязательно при наблюдениях за осадками методом геометрического нивелирования встает вопрос об устойчивости реперов исходной высотной основы.

Для контроля устойчивости пунктов высотной основы существует 4 основных группы методов:

- 1) методы, позволяющие дать общую качественную оценку состояния высотной основы без качественной характеристики каждого репера;

- 2) методы, основанные на предположении о сохранности устойчивого положения репера, обеспечивающего минимальную сумму квадратов уклонов превышений каждого последующего цикла от начального;
- 3) корреляционный и дисперсионный метод анализа;
- 4) метод, основанный на допуске о сохранности неизменной средней отметки сети.

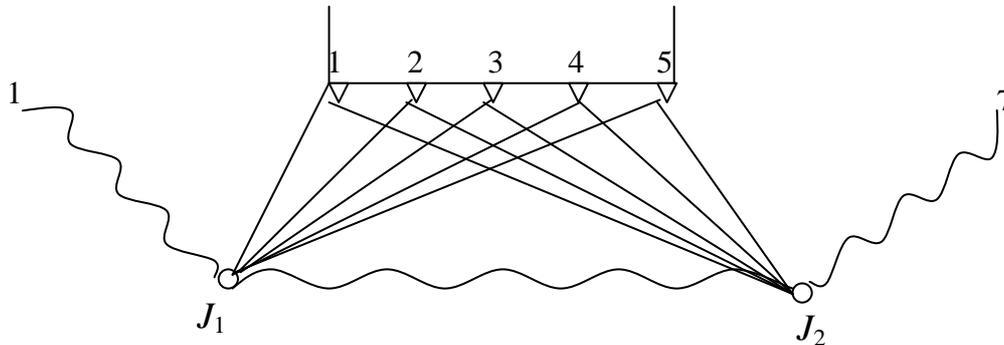


Рис.4.5. Схема наблюдения осадочных марок со станций основного хода:  
 $J_1, J_2$  – места установок прибора; связующей можно выбрать марку № 3

Все методы имеют различные математические приемы и разный принцип выбора исходных реперов при повторном нивелировании, но всегда оценка производится по измененным превышениям между реперами в различных циклах. По принципу выбора исходных реперов первые три группы методов близки.

По этому принципу методы можно разделить:

- 1) методы, в основе которых лежат принципы неизменной отметки одного из наиболее устойчивых реперов в сети;
- 2) методы, в основе которых лежит принцип неизменности средней отметки всех реперов или группы наиболее устойчивых реперов.

Рассмотрим простейшую схему анализа. Имеем «куст» реперов. Проводят два цикла измерений: с помощью высокоточного нивелира определяют превышения между реперами [3].

Если, например, во всех циклах  $h_{12} = \text{const}$ , а превышения  $h_{23}$  и  $h_{31}$ , систематически увеличиваются, значит репер 3 опускается, потому что мало вероятно, что реперы 1 и 2 поднимаются на одну и ту же высоту.

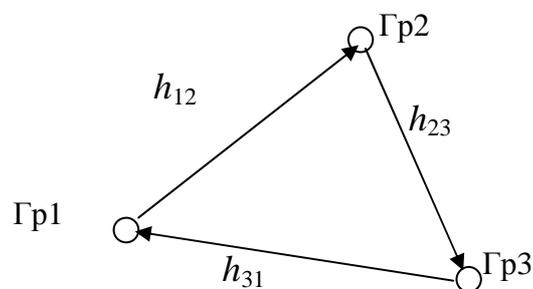


Рис. 4.6. Превышения между реперами

Вопрос об устойчивости реперов актуален в настоящее время, исследованиям нет конца.

#### 4.5. Геодезические методы наблюдений за осадками сооружений

Наблюдения за осадками сооружений выполняют способами геометрического и тригонометрического нивелирования, гидронивелирования, микро-нивелирования, а также фото- и стереофотограмметрическими способами.

При наблюдениях за осадками крупных инженерных сооружений, отличающихся повышенными требованиями к точности производства этих работ, разрабатывается, как правило, специальная методика геодезических измерений. Исходными данными для разработки методики измерений служат величины погрешностей  $m$  определения осадок наблюдаемых точек, измеренных относительно исходного репера, погрешностей  $m_{\Delta S}$  разности осадок двух точек, расположенные на определенном расстоянии друг от друга.

Связь между требуемой точностью наблюдений и погрешностью единицы веса  $\mu$ , определяющей методику измерений, может быть представлена в виде:

$$\mu \leq \frac{m_S}{\sqrt{2Q_H}}; \quad \mu \leq \frac{m_{\Delta S}}{\sqrt{2Q_{\Delta H}}} \quad (4.8)$$

где  $Q_H$  – обратный вес отметки наиболее слабо определяемой точки;

$Q_{\Delta H}$  – обратный вес превышения между исследуемыми точками, к точности взаимного положения которых предъявляются повышенные требования.

При использовании способа геометрического нивелирования в качестве погрешности единицы веса  $\mu$  удобно принимать среднюю квадратическую погрешность превышения  $h$ , измеренного на станции по двум шкалам в ходе одного направления при выбранной базовой длине  $D$  визирного луча,

$$h_D = \frac{1}{2}(h_{осн} + h_{дон}). \quad (4.9)$$

При использовании тригонометрического нивелирования в качестве погрешности  $\mu$  единицы веса целесообразно принять погрешность превышения, определенного при зенитных расстояниях от 85 до 95°, измеренных одним приемом при базовом расстоянии  $D_H = 2$  м.

В случае применения переносного гидронивелира или микро-нивелира за погрешность  $\mu$  принимают погрешность превышения между двумя смежными точками, измеренных при перемене местами гидростатических головок или при перекладывании микро-нивелира.

При проектировании схемы измерений следует стремиться к получению наименьшего значения обратных весов  $Q_H$  и  $Q_{\Delta H}$ , что при заданной погрешности определения осадки приводит к большей эффективности ра-

бот за счет менее жестких требований к выбору их класса. Помимо этого, к схеме измерений предъявляются такие требования, как минимальный объем работ, обеспечение независимого контроля результатов измерений и получение данных для достоверной оценки точности. В значительной степени этим требованиям отвечает построение схемы в виде системы замкнутых полигонов малых размеров и нивелирование при двух горизонтах прибора или в прямых и обратных ходах.

Для случая, когда на одном и том же объекте приходится выполнять разные по точности наблюдения за осадками различных по чувствительности к деформациям сооружений, проектируют двух- и трехступенчатую схему или несколько не связанных между собой схем, опирающихся на самостоятельный или на один общий исходный репер [18].

Расчет величины обратного веса в выбранной схеме производят параметрическим и коррелятным способами, способом эквивалентной замены и по программным комплексам на персональных компьютерах.

Наиболее широко распространен **способ геометрического нивелирования**. Он обладает рядом достоинств, делающих его практически универсальным. Это высокая точность и быстрота измерений, простое и недорогое стандартное оборудование, возможность выполнять измерения в сложных и стесненных условиях.

Точность определения осадки характеризуется формулой:

$$m_S = m_{h_{cm}} \sqrt{n}, \quad (4.10)$$

где  $n$  – общее число станций в ходе или полигоне.

По исследованиям М. Е. Пискунова для высокоточного нивелирования коротким лучом:

$$m_{h_{cm}} = m_{взг}, \quad (4.11)$$

причем для превышений, измеренных при двух горизонтах прибора или в двойном ходе, погрешность среднего результата уменьшится в  $\sqrt{2}$  раз, а для среднего превышения, измеренного при двух горизонтах в двойном ходе – в 2 раза.

При неравноточных измерениях (разные длины плеч) погрешность определяемой осадки выражается формулой:

$$m_S = \mu_h \sqrt{2[\pi_h]_1^k}, \quad (4.12)$$

где  $\mu_h$  – погрешность единицы веса превышения;

$[\pi_h]_1^k$  – сумма обратных весов по ходу от репера до марки  $k$ .

Способом геометрического нивелирования можно определять разности высот точек, расположенных на расстоянии 5 – 10 м, с погрешностью 0,05 – 0,1 мм, а на несколько сотен метров – с погрешностью до 0,5 мм [6].

Отметки деформационных точек в цикле измерений определяют относительно исходного опорного репера. Отметку исходного репера чаще всего принимают условно, например 100,000 м, но она постоянна на весь период наблюдений или используют абсолютные отметки. Для передачи отметки от исходного на все деформационные реперы разрабатывают специальную схему (рис. 4.7).

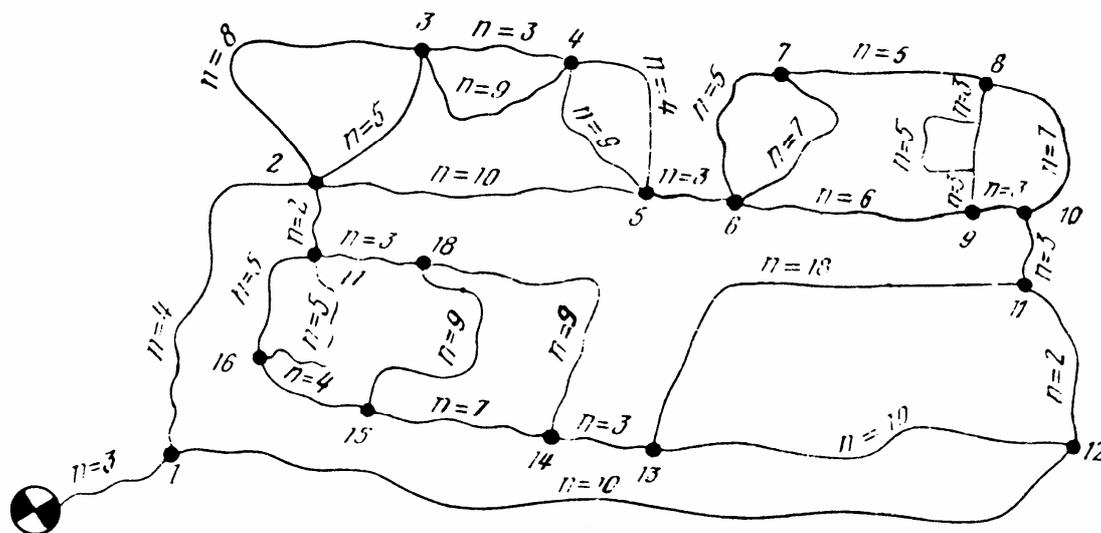


Рис.4.7. Пример схемы нивелирной сети для наблюдений за осадками

В зависимости от требуемой точности определения осадок применяются различные классы нивелирования (табл. 4.3). Так, например, при определении осадок бетонных плотин гидроузлов применяют I и II классы. При определении осадок промышленных и гражданских зданий чаще всего применяют II и III классы.

Геометрическое нивелирование III класса применяется:

- 1) при определении вертикальных смещений фундаментов, расположенных на сильно сжимаемых грунтах, просадочных и оттаивающих грунтах;
- 2) при измерении осадок массивных опор и подъема дна котлована (упругой отдачи);
- 3) при наблюдении за деформациями земляных грунтов основания.

Геометрическое нивелирование III класса целесообразно применять при средней скорости осадки 5 мм в месяц. При меньших скоростях этот способ себя не оправдывает из-за недостаточной точности.

Таблица 4.3

## Технические характеристики и допуски геометрического нивелирования

Приборы, технические характеристики и допуски	Класс нивелирования			
	I	II	III	IV
Нивелиры	H-05, Ni002	H-1, H-2, Ni007	H-3	H-3
Рейки	РН-05 (односторонние инварные штриховые)		РН-3 (двухсторонние шашечные)	
Число станций незамкнутого хода, не более	2	3	5	8
Длина визирного луча, м, не более	25	40	50	100
Высота над препятствием, м, не менее	1	0,8	0,5	0,3
Неравенство плеч на станции, м, не более	0,2	0,4	1	3
Накопление неравенства плеч в замкнутом ходе, м, не более	1	2	5	10
Допустимая невязка в замкнутом ходе, м	$0,15\sqrt{n}$	$0,5\sqrt{n}$	$1,5\sqrt{n}$	$5,0\sqrt{n}$
Предельная ошибка превышения на одной станции, мм, не более	0,3	0,4	0,9 – 2,0	2,0 – 4,0
Особенности методики геометрического нивелирования при наблюдениях за осадками	двойным горизонтом, способом совмещения, в прямом и обратном направлениях или замкнутым ходом	одним или двумя горизонтами, способом совмещения, в прямом и обратном направлениях или замкнутым ходом	одним горизонтом, способом наведения, замкнутым ходом	одним горизонтом, способом наведения

В основном, нивелирование выполняется по методике государственного геометрического нивелирования III класса, но имеет свои особенности:

- длина луча 1 – 30 м;
- высота луча над поверхностью земли не ниже 0,3 м;
- неравенство плеч на станции не более 2 м;
- нивелирование производится по замкнутым ходам, полигонам прямо и обратно с контролем превышений по шкалам двухсторонней рейки;
- расхождение в превышениях на станции не более 2 мм по двухсторонним рейкам или 1,5 мм по шкаловым рейкам (используются две шкаловые рейки);

– невязка допустимая  $\Delta_{\text{доп}} f_h = 1,5 - 2 \text{ мм} \sqrt{n}$ ,  
где  $n$  – число станций.

Уравнивание можно выполнить способом полигонов Попова, методом эквивалентной замены и по стандартным программам на ПЭВМ. Вычисления ведутся с точностью до 0,1 мм, а отметки марок округляют до целых миллиметров.

*Высокоточное и точное геометрическое нивелирование коротким лучом* применяется на крупных промышленных объектах, высотных жилых зданиях, на плотинах и зданиях ГЭС, судоходных шлюзах, элеваторах и других ответственных и прецизионных сооружениях.

Длина визирного луча при нивелировании коротким лучом не более 25 м (средняя длина составляет 10 – 15 м), высота над поверхностью не менее 0,5 м. Нивелирование производится только при вполне благоприятных условиях видимости и при достаточно отчетливых, спокойных изображениях штрихов реек. Соблюдают и другие меры предосторожности, обеспечивающие высокую точность работ.

Уменьшение длины визирного луча не приводит к увеличению средней квадратической погрешности превышения на 1 км хода, т. к. при этом ослаблено влияние некоторых внешних условий: рефракции, конвекции воздуха, а также повышается точность отсчета.

Осадочные марки закладываются примерно на одном уровне для ослабления влияния погрешностей делений рейки.

Применение нивелирования короткими лучами на уникальных сооружениях позволяет определить разность высот двух точек, расположенных на расстоянии 10 – 15 м, со средней квадратической погрешностью 0,03 – 0,05 мм. Превышение между точками, удаленными на несколько сотен метров, определяется с погрешностью 0,1 – 0,2 мм.

При выполнении измерений в зависимости от класса нивелирования применяют специальную методику и соответствующие приборы. Нивелирование выполняют при двух горизонтах прибора, в прямом и обратном направлениях.

При нивелировании используются нивелиры Н-05, Ni002 (I класс); Н1, Н2, Ni007 (II класс) и инварные штриховые рейки. Большое значение придается контролю главного условия нивелира (значение угла  $i$  не должно превышать  $20''$ ).

Нивелирование производится замкнутыми ходами с изменением горизонта инструмента строго из середины по основным ходам и нивелированием вперед по станции при наблюдении отдельных марок, не включенных в ход.

Для исключения погрешности за разность нулей пятков при втором горизонте инструмента рейки меняют местами и измерения производят по

первой программе. При нивелировании одной рейкой применяется вторая программа, а прибор устанавливается на жестком основании.

Горизонт инструмента	Программа	
	Первая	Вторая
I	З <sub>0</sub> , П <sub>0</sub> , П <sub>д</sub> , З <sub>д</sub>	З <sub>0</sub> , З <sub>д</sub> , П <sub>0</sub> , П <sub>д</sub>
II	П <sub>0</sub> , З <sub>0</sub> , З <sub>д</sub> , П <sub>д</sub>	П <sub>0</sub> , П <sub>д</sub> , З <sub>0</sub> , З <sub>д</sub>

При нивелировании одним горизонтом программа наблюдений такова:

- на нечетной станции З<sub>д</sub>, П<sub>д</sub>, П<sub>0</sub>, З<sub>0</sub>
- на четной станции П<sub>д</sub>, З<sub>д</sub>, З<sub>0</sub>, П<sub>0</sub>.

Расхождение в превышениях по разным шкалам не должно превышать 0,10 – 0,15 мм. Допустимые невязки

$$\text{I класс} - \text{доп}f_h = 0,3 \text{ мм } \sqrt{n}; \text{ II класс} - \text{доп}f_h = 1,0 \text{ мм } \sqrt{n},$$

где  $n$  – число станций.

Полученные результаты тщательно обрабатывают: оценивают фактическую точность и сравнивают ее с заданной, уравнивают отметки, а по разности их в циклах – осадки (составляют ведомости отметок и осадок), для наглядного отображения процесса осадки строят эпюры или графики осадок и т. д.

**Способ тригонометрического нивелирования** позволяет определять осадки точек, расположенных на существенно различных высотах в труднодоступных местах. Такие случаи возникают при наблюдениях за высокими зданиями, башнями, плотинами, при выполнении измерений через препятствия.

Точность тригонометрического нивелирования определяется в основном влиянием рефракции (десятки секунд) и приборными погрешностями – для теодолитов Т1, Т2 достигают 5–6". В тригонометрическом нивелировании применяются точные и высокоточные теодолиты, используются марки со специальными горизонтальными штрихами.

Наиболее высокая точность порядка 0,1 мм обеспечивается при коротких (до 100 м) лучах визирования с применением высокоточных теодолитов типа ЗТ2 и специальной методики измерений, позволяющей измерять зенитные расстояния с ошибкой порядка 5" (методика предложена М. Е. Пискуновым). Расстояния до определяемых точек должны измеряться с погрешностью 3 – 5 мм [18].

По сравнению с геометрическим нивелированием этот способ позволяет измерять с одной станции значительные превышения, отпадает необходимость в рейках, в качестве осадочных марок можно использовать различные облегченные знаки и откраски на конструкциях.

Превышение между главной осью вращения трубы теодолита и осью штриха марки определяется:

$$h = S \cdot \operatorname{ctg} Z, \quad (4.13)$$

где  $S$  – горизонтальное проложение расстояния от теодолита до марки.

Его можно вычислить:

$$S = \frac{b \cdot \sin Z_1 \cdot \sin Z_2}{\sin(Z_1 - Z_2)}, \quad (4.14)$$

где  $b$  – расстояние между штрихами рейки, на которые измерены зенитные расстояния. Для повышения точности зенитные расстояния вычисляются по трем штрихам.

Можно использовать и подвесные рейки, где расстояние между штрихами известно (определено при компарировании реек).

Рассмотрим методику тригонометрического нивелирования коротким лучом, предложенную И. С. Рабцевичем и опробованную при наблюдениях за осадками фундаментов компрессоров промышленного предприятия. Методика используется при углах наклона до  $5^\circ$ .

На фундаментах намечают риски (закладывают марки) и с помощью теодолита определяют углы наклона относительно условного горизонта (ГИ), проходящего через ось вращения трубы. Высоты марок  $H$  от условного горизонта вычисляют при малых углах наклона по формуле:

$$H = l \cdot \frac{\nu}{\rho}, \quad (4.15)$$

где  $l$  – расстояние от прибора до марки.

Превышения между марками получают как разность их отметок.

При условии равноточности измерения углов наклона и расстояний, при приблизительно равных величинах расстояний до марок и углов наклона и одинаковом влиянии на точность превышения погрешностей  $m_l$  и  $m_\nu$  можно записать:

$$m_l = \frac{m_h \cdot \rho}{2\nu}, \quad m_\nu = \frac{m_h \cdot \rho}{2l}. \quad (4.16)$$

Значения этих погрешностей определяют исходя из предвычисленной средней квадратической погрешности превышения, измеренного на станции:

$$m_{hCT} \leq \frac{m_S}{\sqrt{2\pi}}, \quad (4.17)$$

где  $m_S$  – средняя квадратическая погрешность определения осадки;

$\pi$  – величина, обратная весу уравненного превышения от исходного репера до наиболее удаленной марки.

Исходя из конкретных производственных условий, марки размещаются близко от прибора. Например, если осадку нужно определить с точностью  $m_s = 0,5$  мм, то для расстояния от прибора до наблюдаемых марок равного  $S = 5$  м необходимо определить превышения с точностью  $m_{hCT} \leq |0,05|$  мм.

Расстояния от теодолита до марок необходимо измерять с точностью порядка 1 см, а углы наклона – со средней квадратической погрешностью  $\pm 1''$ , что вполне достижимо при использовании стальной рулетки и оптических теодолитов Т1, Т2 и Theo010.

Наблюдения состоят из следующих этапов:

1) определение средней квадратической погрешности  $m_v$  измеренного угла наклона на коротких расстояниях одним приемом для теодолита, который будет использоваться при наблюдениях за осадками;

2) определение расстояния от точки пересечения оси зрительной трубы с осью вращения прибора до наблюдаемой марки;

3) определение средней квадратической погрешности превышения на станции;

4) измерение углов наклона в замкнутом полигоне;

5) вычисление отметок, наблюдаемых марок, и превышений между ними.

Кроме того, методика предусматривает однообразную во всех циклах установку теодолита и его тщательное исследование, строгую вертикальность реек, выбор времени и условий наблюдений для уменьшения влияния вертикальной рефракции и ряд других мероприятий, направленных на ослабление действий различных источников погрешностей [32].

**Гидронивелирование** обеспечивает такую же точность, как и геометрическое нивелирование, но применительно к наблюдениям за осадками позволяет создавать стационарные автоматизированные системы с дистанционным съемом информации.

При использовании гидростатического нивелирования применяют различные системы, конструкция которых зависит от условий проведения работ, требуемой точности и от способа измерения положения уровня жидкости относительно отсчетных индексов измерительных сосудов.

Известны и широко используются переносные гидростатические нивелиры типа УГС и нивелир Мейссера. При благоприятных внешних условиях закрытых помещений эти приборы могут обеспечить точность от 0,01 до 0,02 мм при расстоянии между точками до 40 м.

**Способ микро nivelирования** применяют при наблюдениях за взаимным высотным положением близко расположенных точек, на расстоя-

нии 1 – 1,5 м. Такие задачи возникают при изучении осадок и наклонов отдельных конструкций: фундаментов, балок, ферм, технологического оборудования.

Применение этого способа целесообразно при определении вертикальных смещений близко расположенных точек, характеризуется простотой процесса измерений и высокой надежностью получаемых результатов. Измерения выполняют с помощью микронивелира.

**Фотограмметрический и стереофотограмметрический способы** предусматривают применение фототеодолита для фотосъемки исследуемого объекта. Определение деформаций, вообще и в частности осадок, этими способами заключается в измерении разности координат точек сооружения, найденных по фотоснимкам начального (или предыдущего) цикла и фотоснимках деформационного (или последующего) цикла.

В зависимости от решаемой задачи, условий фотосъемки, вида сооружения и т. д. применяют следующие способы:

- фотограмметрический (деформации определяются в одной вертикальной плоскости  $XOZ$ , т. е. в плоскости, параллельной плоскости фотоснимка);
- стереофотографический (деформации определяются по направлениям всех трех координат).

При фотограмметрическом способе фотографирование производят с одной точки при неизменном положении фотокамеры в циклах. При этом плоскость прикладной рамки, по возможности, устанавливают параллельно основной плоскости сооружения. Для вычисления деформаций, кроме измерения координат или параллаксов, на снимках необходимо знать расстояние фотокамеры от объекта и фокусное расстояние объектива фотокамеры.

При стереофотограмметрическом способе фотографирование объекта производят в циклах с двух точек базиса известной длины, в результате чего получают стереопару. Для вычисления деформаций измеряют по снимкам координаты точек базиса и горизонтальные параллаксы.

В обоих способах обработку снимков по координатам или смещениям производят в основном на стереокомпараторе.

Тщательно выполненные измерения и соответствующий учет элементов ориентирования позволяет определять деформации сооружений фотограмметрическими способами со средней квадратической погрешностью менее 1,0 мм [6].

Основные вопросы обработки анализа результатов наблюдений за деформациями рассмотрим на примере наблюдений за осадками.

По окончании очередного цикла измерений необходимо выполнить оценку точности полученных результатов. Поскольку в основу всех точностных расчетов этого вида работ закладывают величину средней квадратической погрешности превышения на станции, удовлетворяющую для данной схемы исходным требованиям по точности определения осадок, то для сравнения ее необходимо получить из результатов измерений.

С этой целью используют следующие формулы:

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]_1^n}{n}}, \quad (4.18)$$

где  $d$  – разность значений превышений в ходах прямо и обратно или при двух горизонтах прибора;

$n$  – число разностей.

По невязкам замкнутых полигонов

$$m_h = \sqrt{\frac{[\varpi_i^2]_1^K}{K \cdot n}}, \quad (4.19)$$

где  $\varpi_i$  – невязка замкнутого полигона;

$K$  – число полигонов;

$n$  – общее число превышений во всех полигонах.

Из уравнивания результатов измерений

$$m_h = \sqrt{\frac{[p\vartheta^2]}{r}}, \quad (4.20)$$

где  $[p\vartheta^2]$  – величина, получаемая из уравнивания;

$r$  – число избыточных измерений.

При уравнивании на ЭВМ любая программа автоматически предусматривает оценку точности.

По результатам уравнивания составляют ведомость уравненных превышений и отметок деформационных реперов и марок, а по разностям их отметок – ведомость осадок. При этом осадки можно вычислить по отношению к начальному циклу, выделяя их накопление за весь период наблюдений, и к предыдущему циклу для оценки текущих изменений.

В случае, когда точность полученных результатов удовлетворяет требуемой (заданной) точности, приступают к анализу результатов наблюдений.

В соответствии с решаемой задачей анализу подлежат осадки всех деформационных точек. Поскольку на объекте наблюдений их бывает дос-

таточно много, то только предпочтение ведомостей осадок не дает общего представления о происходящих процессах.

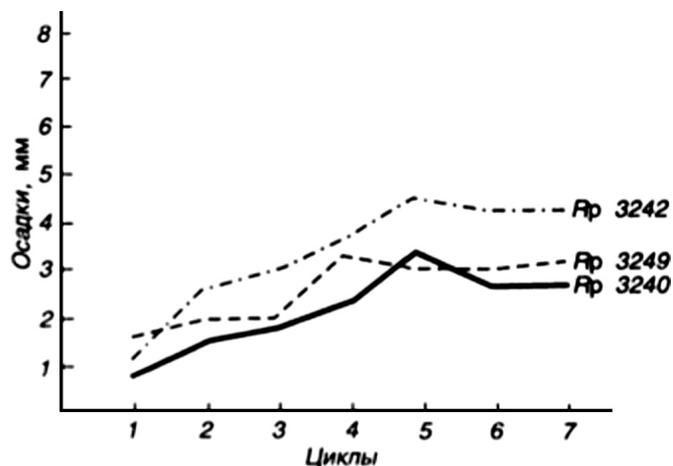


Рис.4.8. График осадок

Для большей наглядности составляют два графика в виде изолиний равных осадок: один – пространственно-временной по профилям, другой – пространственный в топографической системе координат плане масштаба 1:500 или 1:1000.

Первый вид графиков строится следующим образом. В выбранном горизонтальном масштабе по горизонтали откладываются расстояния между реперами профиля (рис. 4.9). В соответствующем масштабе по вертикали откладывают время между циклами наблюдений. В узлах полученной сетки прямоугольников подписывают значения величин осадок соответствующего репера на соответствующую дату проведения цикла измерений. Линейным интерполированием между точками проводят изолинии осадок (обычно сечение изолиний через 1 мм). Изолинии кратные пяти, утолщают.

Для удобства чтения графика следует помнить, что изолинии, параллельные вертикали, свидетельствуют об общем наклоне площадки (фундамента) в ту или иную сторону, т. е. о неравномерной осадке, а изолинии, параллельные горизонтали – о равномерной осадке. Пространственно-временный график отображает деформационный процесс по всем циклам наблюдений.

Пространственный график на топографической основе (рис. 4.10) строится так же, как рисуется рельеф в горизонталях, только исходными служат осадки реперов между соответствующими двумя циклами: текущим и начальным, текущим и предшествующим и т. п. Эти графики обладают особой наглядностью при отображении деформации поверхности.

Поэтому стремятся представить результаты наблюдений в графическом виде.

Традиционно графики представляют в виде, показанном на рис. 4.8. Однако эти графики не обладают достаточной наглядностью, поскольку для изображения всего происходящего процесса по всем реперам таких графиков необходимо строить достаточно много.

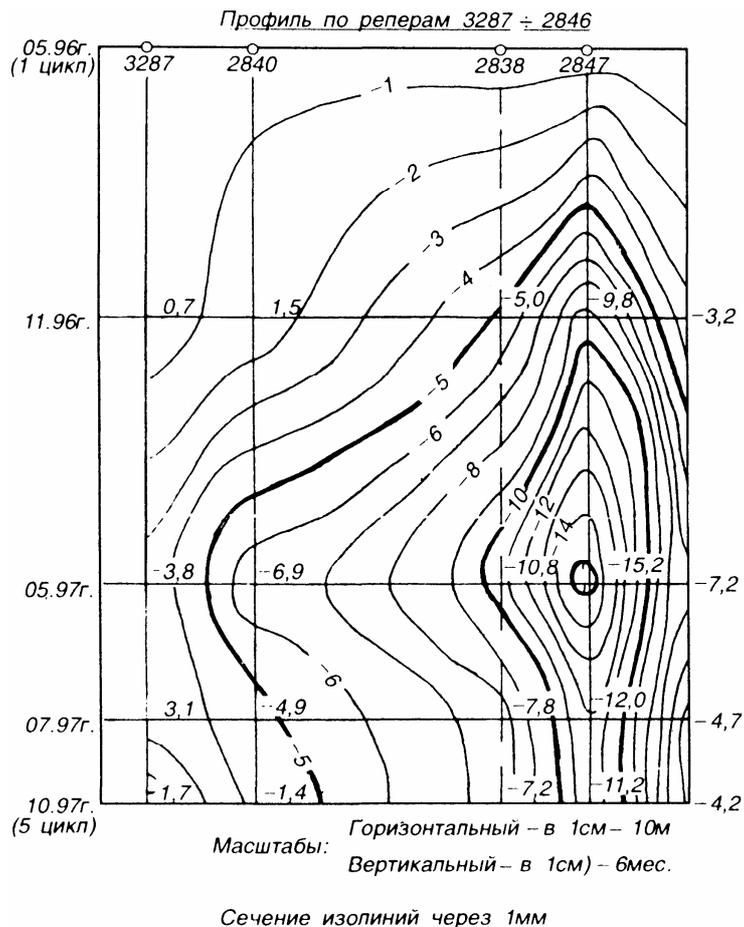


Рис. 4.9. Пространственно-временной график осадок

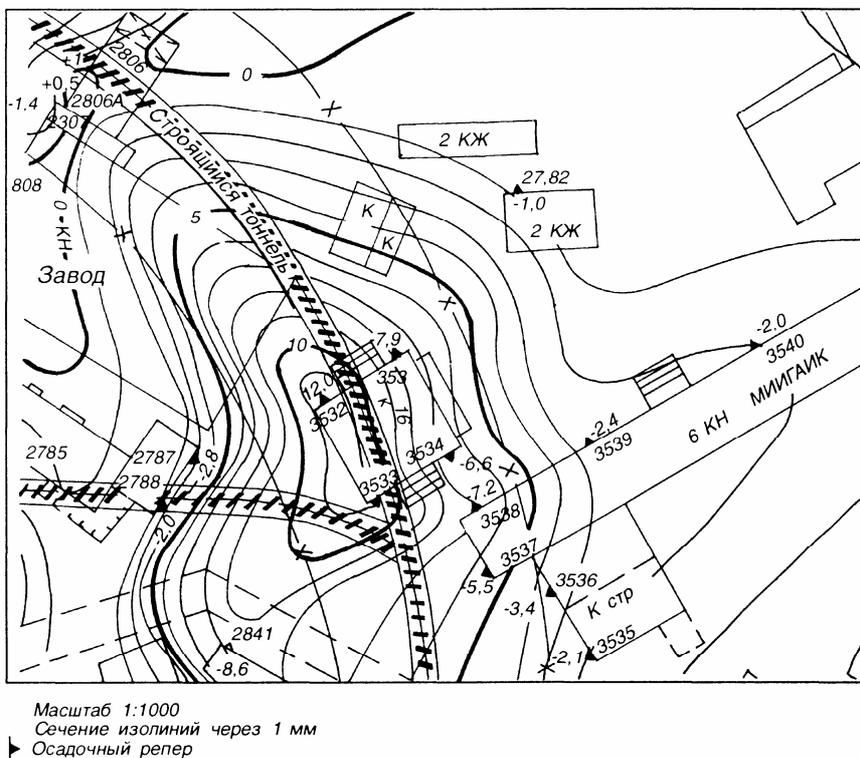


Рис. 4.10. Пространственный график осадок

Получаемая информация является исходной для анализа происхождения процесса деформаций. Для анализа используют также материалы по геологии, гидрогеологии, климатологии, состоянию строительных работ и т. п.

При анализе осадок отдельных зданий и сооружений отслеживают их неравномерный характер и вычисляют разности осадок характерных точек в направлении продольных и поперечных осей зданий. Особое значение уделяют зданиям, у которых обнаруживаются значительные осадки, особенно неравномерные. Сведения об этом немедленно передаются всем заинтересованным организациям для своевременного принятия необходимых мер.

По результатам наблюдений каждого цикла составляют краткую пояснительную записку, в которой приводят сведения об измерениях и их предварительном анализе.

Эти сведения, как правило, содержат фактическую схему и краткое описание технологии измерений, результаты уравнивания, оценку точности полученных результатов, ведомости отметок и осадок реперов, графический иллюстративный материал, краткий анализ результатов наблюдений.

По окончании работ составляют технический отчет, являющийся основным техническим документом по результатам наблюдений. Он содержит те же сведения, что и пояснительная записка, но в обобщенной по всем циклам форме с более подробным анализом и обобщающими выводами и рекомендациями.

## 4.6. Наблюдения за кренами инженерных сооружений

### 4.6.1. Общие сведения о наблюдениях за кренами башенных сооружений

Крены инженерных сооружений являются следствием неравномерного сжатия грунтов у их основания под воздействием самого сооружения, ветрового напора, солнечного нагрева и других факторов. Эти деформации при значительной их величине приводят к постепенному перераспределению нагрузки от сооружения к внецентренности ее приложения и, таким образом, к увеличению крена, вызывая одновременно дополнительные напряжения изгиба, как в отдельных частях фундамента, так и в некоторых элементах конструкции, что создает непосредственную угрозу прочности и устойчивости сооружения.

Крен сооружения может быть выражен в линейной, угловой и относительной мере.

Под линейной величиной абсолютного крена в  $i$ -том цикле наблюдений понимается отрезок между проекциями центра подошвы фундамента и положения центра верхнего сечения сооружения на координатную (горизонтальную) плоскость. Приращение крена в линейной мере представляет собой

расстояние (отрезок) между проекциями положений центра верхнего сечения сооружения в двух циклах наблюдений на координатную плоскость.

Абсолютный крен в угловой мере определяется острым углом между отвесной линией в центре подошвы фундамента и положением оси сооружения в  $i$ -том цикле.

Относительным креном называют отношение абсолютного крена сооружений в  $i$ -том цикле к высоте сооружений.

Наблюдения за кренами сооружений, так же как и за остальными видами деформаций, проводятся в соответствии с требованиями СНБ 5.01.01-99 «Основания и фундаменты зданий и сооружений». Эти нормы ограничивают совместную деформацию основания и сооружения предельно допустимой величиной, соответствующей пределу эксплуатационной пригодности сооружения.

Для промышленных дымовых труб *предельные относительные крены*:

$$(Q/H)_{np} = 0,005 \text{ при } H \leq 100 \text{ м; } (Q/H)_{np} = 0,5 \text{ при } H > 100 \text{ м.}$$

Для прочих жестких сооружений высотой до 100 м:  $(Q/H)_{np} = 0,004$ .

Для антенных сооружений  $(Q/H)_{np} = 0,001 - 0,002$ .

В проектах для сооружений башенного типа с повышенной чувствительностью к неравномерным деформациям оснований предусматриваются измерения кренов, как при строительстве, так и при эксплуатации сооружений.

Наиболее полную информацию о закономерностях изменения крена труб при эксплуатации дают систематические геодезические наблюдения, позволяющие определять абсолютную величину крена, его направление, приращение крена и изменение его направления.

Периодичность наблюдений за кренами сооружений устанавливается проектной организацией (в период эксплуатации по согласованию с организацией, эксплуатирующей сооружение) в зависимости от требуемой точности определения крена, скорости протекания осадок, определяемой главным образом инженерно-геологическими и гидрогеологическими факторами, воздействующими на грунты основания, и от состояния сооружения.

Первое определение крена проводится после возведения фундамента по результатам первого цикла измерения осадок. За последующий период достижения полной нагрузки на основание должно быть проведено не менее четырех циклов наблюдений за креном (при 25, 50, 75, 100 % всего давления), выполняемых вслед за очередными циклами измерения осадок сооружения. В эксплуатационный период периодичность наблюдений за кренами и осадками назначается в зависимости от скорости стабилизации осадок грунтов основания, инженерно-геологических условий и состояния сооружения. В этот период проводится не менее трех циклов в год. В период стабилиза-

ции осадок основания систематические наблюдения за кренами могут быть прекращены, если по результатам трех циклов приращения кренов отсутствуют или продолжают оставаться незначительными и колеблются в пределах заданной точности измерений, а общий крен сооружения невелик и не превышает  $1/3 - 1/2$  допустимого значения. Наблюдения ведут с пунктов геодезической сети или развиваемой на ее основе опорной сети.

Для наблюдений за креном высокого сооружения необходимо не менее трех определенным образом расположенных вокруг него точек – пунктов наблюдения. На этих пунктах в каждом цикле наблюдений (через определенные промежутки времени) устанавливаются теодолиты и измеряются направления на выбранные точки сооружения.

Взаимное положение пунктов наблюдения и сооружения должно удовлетворять следующим требованиям: они должны располагаться в местах, обеспечивающих стабильность их положения и максимальную сохранность, видимость не менее  $3/4$  высоты сооружения, наиболее выгодную геометрическую форму засечки и на удаление порядка двух-трех сот от сооружения.

Наиболее целесообразный метод построения геодезической основы устанавливается в зависимости от высоты сооружения и требуемой точности определения его крена. Для высокоточных систематических наблюдений за креном сооружения большой высоты (250 – 400 м), выполняемых, как правило, способом координат, создают основу в виде кольцевой системы триангуляции или в виде геодезического четырехугольника. Точность определения положения опорных пунктов должна быть выше требуемой точности определения крена не менее чем в 1,5 раза. Этим требованиям удовлетворяет триангуляция или полигонометрия 4 класса.

Способы определения крена выбираются в зависимости от заданной точности, что в свою очередь зависит от скорости и степени неравномерности осадки сооружения. За предельные погрешности измерения крена принимают величины, не превышающие 0,2 от величины строительного допуска, как этого требует пункт 4.7 СНиП 3.01.03 – 84, т. е.

$$m_Q \leq 0.03 \text{ м при } H \leq 100 \text{ м; } \quad m_Q \leq 0.04 \text{ м при } H > 100 \text{ м.}$$

При более строгом подходе точность определения крена нужно корректировать в зависимости от изменения его величины. Достичь необходимой точности возможно, если применить соответствующую методику наблюдений, в достаточной степени учитывающую влияние внешней среды, специфику наблюдаемого сооружения и инструментальные погрешности.

Для исключения влияния солнечной радиации и ветрового потока наблюдения следует производить в утренние часы до восхода солнца, в пасмурные дни и в безветренную погоду. Для ослабления влияния рефрак-

ции пункты наблюдения за креном нужно располагать так, чтобы визирные лучи не проходили вблизи нагреваемых поверхностей.

В районах со значительными скачкообразными изменениями уклонов отвеса (2 – 3" на 1 – 1,5 км.) при наблюдении труб высотой около 350 – 400 м и более необходимо учитывать уклонение отвесной линии в пункте наблюдения от вертикальной оси трубы. На определения крена могут повлиять также неровности поверхности трубы и несимметричность ее поясов. Чтобы уменьшить это влияние, рекомендуется наблюдать несколько верхних и нижних близко расположенных по высоте сечений. Одним из существенных источников погрешностей, обусловленных значительными углами наклона направлений, является неvertикальность оси вращения прибора. Учесть ее влияние можно введением поправки.

При высокоточных определениях кренов сооружений средней и большой высоты для измерения горизонтальных углов следует применять способ круговых приемов. Число приемов определяется требуемой точностью измерения углов и точностью используемого инструмента. Для измерения углов с требуемой точностью 2 – 3" теодолитом типа ОТ-02, Т-1 необходимо выполнить не менее трех приемов. Такое же количество приемов потребуется для измерения углов с точностью 4 – 7" теодолитом типа ТБ-1, Т-2. При меньшей точности измерения, которая требуется при определении кренов сооружений небольшой высоты, число приемов уменьшается до двух (для теодолита типа ТБ-1, Т-2).

Перед наблюдениями промышленных дымовых труб необходимо выявить искривления их стволов, вызванные прогарами или нарушениями технологии их прогрева и просушки. Для этого подъемными винтами теодолита устанавливают вертикальную нить параллельно одной из (видимых с данного пункта) образующих ствола трубы и, подведя ее микрометренным винтом алидады к образующей, проверяют прямолинейность последней на участке трубы, видимом в поле зрения. Вращая зрительную трубу теодолита вокруг ее оси так, чтобы вертикальная нить скользила вдоль проверяемой образующей, можно обнаружить изгиб. Аналогично проверяют противоположную образующую ствола трубы. Такие операции выполняют не менее чем на двух пунктах [20].

#### **4.6.2. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа**

Строительство сооружений башенного типа большой высоты (промышленных и дымовых труб, градирен, радио- и телебашен) требует сложного геодезического обеспечения. При строительстве башен на большой высоте появляются значительные колебательные движения и наклоны

сооруженной части башни под действием ветровых нагрузок и температурных факторов (в результате одностороннего обогрева солнечными лучами). Эти колебания и односторонние периодические смещения приходится учитывать при геодезической подготовке к строительству последующих ярусов. Кроме этого, под действием возрастающей нагрузки от массы сооружения могут появляться неравномерные осадки грунтов основания и возникать крены и деформации выстроенной части сооружения, что необходимо учитывать при разработке проекта производства геодезических работ.

Основной задачей инженерно-геодезических работ в период строительства башенных сооружений является: во-первых, соблюдение вертикальности оси сооружения; во-вторых, обеспечение в пределах проектной точности геометрической формы поясов, колец, ярусов, чтобы в горизонтальных сечениях их отсутствовал эксцентриситет; в-третьих, выявление и изучение характера деформаций сооружения как во время строительства, так и в течение всего периода эксплуатации. Значимость и ответственность наблюдений за деформациями геодезическими методами повышается с увеличением высоты сооружений.

Промышленные дымовые трубы по конструктивно-геометрической форме сооружают цилиндрическими при высоте до 60 м и коническими – при большей высоте. Диаметр цилиндрических труб  $D$  выбирают обычно, исходя из условия  $H/D \leq 20$ , где  $H$  – высота трубы. В конических трубах уклон образующей верхней поверхности на высоте до 80 м принимают 2 %, а далее проектируют переменный уклон в интервале 2 – 1,5 %.

Высота дымовых труб достигает 300 м и более. Они строятся как одноканальными, так и многоканальными.

Башенные градирни предназначены для охлаждения воды на теплоэлектростанциях и строятся гиперболической формы высотой до 90 м и более с диаметром кольцевого фундамента 76,5 м. Внешний диаметр оболочки на высоте опорного кольца составляет 72,8 м, горловины 40,6 м, устья 42,4. Обычно градирни строят блоками, располагая в каждом по 3 – 4 башни.

Рудничные башни-копры сооружают над стволами шахт для подъема руды, угля или породы и спуска оборудования и строительных материалов. Они имеют круглую или прямоугольную форму и высоту до 85 м.

Ректификационные колонны предназначаются для разделения жидких химических смесей на составные части. Диаметр колонн достигает 6 м, а высота 160 м. Фундамент закладывают на глубину 8 м.

Радио- и телебашни строят высотой 300 – 500 м и более. Отношение диаметра башни к ее высоте в зависимости от конструкции и геологиче-

ских характеристик основания колеблется от 1:15 до 1:26. Останкинская телебашня в Москве имеет высоту 536 м, фундамент башни выполнен в виде железобетонной плиты, заложенной на глубину 5 м.

При строительстве сооружений башенного типа часто используется *метод наращивания*, когда производится последовательная установка верхних элементов на нижние. При этом монтаж ведется в зависимости от конструкции сооружения и применяемых подъемных средств, как конструктивными элементами, так и крупными блоками.

При строительстве башен из монолитного железобетона используют *подъемно-переставные опалубки*. Широкое распространение получили методы строительства дымовых труб и градирен с применением *скользящих опалубок*, что позволяет возводить 5 – 6 м сооружения в сутки.

При установке ректификационных колонн часто прибегают к *методу монтажа сооружения в готовом виде*, при котором корпус сооружения полностью собирается в горизонтальном положении, а затем поднимается в проектное вертикальное положение.

Для строительства сооружений башенного типа значительной высоты возникает необходимость в создании двух ступеней геодезического обоснования: опорной сети и рабочей технологической основы. Первая ступень обоснования создается до начала строительства, а вторая – после завершения нулевого цикла.

Опорная сеть используется для разбивки в натуре положения высотных сооружений, наблюдений за их деформациями, кренами, колебаниями, проведения контрольных исполнительных измерений. Пункты этой сети являются исходными для построения рабочей технологической основы. Их целесообразно разместить по направлениям главных осей сооружения на равных расстояниях от его проектного центра (рис. 4.11, а).

Пункты опорной сети 1А, 2А, 1Б и 2Б, закрепляющие направление главных осей, необходимо закладывать на расстоянии от исходного центра (ИЦ) не меньше, чем полуторная высота строящегося сооружения. Контрольные пункты 3А, 4А, 3Б и 4Б устанавливают на расстоянии 20 – 50 м от пунктов опорной сети.

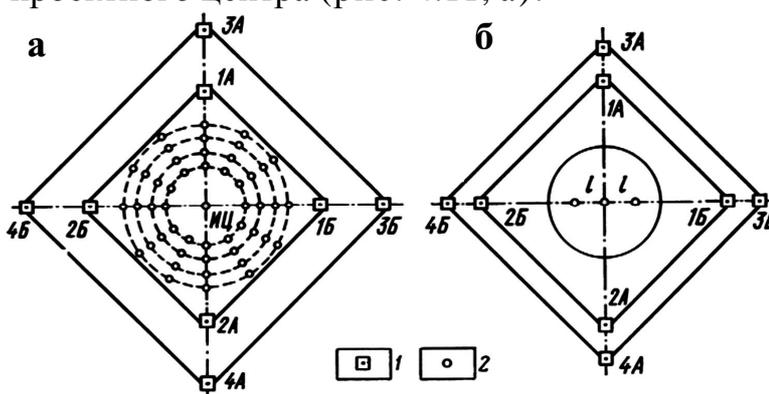


Рис. 4.11. Геодезические сети башенных сооружений: а – высоких башенных сооружений с большой площадью поперечного сечения; б – башенных сооружений небольшой высоты; 1 – пункты опорной сети; 2 – пункты рабочей технологической основы

Чаще всего применяют опорную сеть в виде центральных систем, состоящих из пяти и более пунктов, положение которых определяют методами триангуляции, трилатерации и линейно-угловых построений.

После завершения работ по строительству фундамента приступают к построению рабочей технологической основы, которая должна обеспечивать возможность переноса осей сооружения на рабочий горизонт методом вертикального проектирования. Следует иметь в виду, что для сооружений сравнительно небольшой высоты (менее 100 м) и с небольшим поперечным сечением рабочую технологическую основу можно не делать. В этом случае положение сооружения выносится в натуру в период строительства от пунктов опорной сети или от пункта, закрепляющего центр сооружения, методом вертикального проектирования (рис. 4.11, б).

Расположение точек рабочей технологической основы должно обеспечить контроль положения центра сооружения и его осей. Конструкция знаков должна предусматривать возможность использования механических отвесов, оптических или лазерных приборов вертикального проектирования.

Для сооружений с большим поперечным сечением, как, например, телебашни, градирни и т. п., сооружаемых в скользящих опалубках, применяют схему в виде радиально-кольцевой опорной сети. Пункты рабочего технологического обоснования располагаются на концентрических окружностях различных радиусов с центром, совпадающим с центром башни. Пункты опорной сети закрепляются по направлениям радиусов-векторов (см. рис. 4.11, а).

Число радиусов, по которым закрепляются пункты рабочего обоснования, зависит от сечения и высоты башни и соответствует числу используемых секций опалубки или домкратных рам. Радиусы окружностей, по которым располагаются знаки рабочего обоснования, назначают из условия применения при контроле движения опалубки реек длиной 1,5 или 2 м, служащих для определения положения опалубки. Число окружностей вычисляется по формуле

$$N = (R_{\max} - R_{\min}) / l, \quad (4.21)$$

где  $R_{\max}$  и  $R_{\min}$  – максимальный и минимальный радиусы оболочки башни;

$l$  – рабочая длина используемой рейки, равная 1100 или 1600 мм, т. е. на 400 мм меньше всей длины рейки.

Величина  $N$  округляется до ближайшего большего целого числа.

Разбивка рабочего обоснования выполняется теодолитом путем отложения проектных углов и линий между осями. Направления радиусов задают от начального, расположенного по створу главной оси, с обязательным замыканием горизонта. Для башен с  $H < 80$  м углы откладывают

со средней квадратической погрешностью 20", а линии – с относительной погрешностью 1:5000, для башен с  $H > 80$  м соответственно 10" и 1:10000. Одновременно все пункты нивелируют и в дальнейшем с этих пунктов высоты передают на рабочий горизонт.

После закрепления знаков рабочего обоснования выполняют контрольные измерения. Отклонение отложенных расстояний  $l$  между знаками от проектного не должно превышать значений, вычисленных по формуле

$$\Delta l = 3 \cdot l / T, \quad (4.22)$$

где  $T$  – знаменатель относительной средней квадратической погрешности, с которой выполнялась разбивка положения знаков.

Контроль построения проектных углов целесообразно производить посредством контрольных измерений расстояний между соседними знаками по хордам.

По результатам контрольных измерений составляют исполнительную схему, на которой указывают величины отклонений положения знаков по радиусам и фактические абсолютные высоты.

В тех случаях, когда сечение башни невелико, для определения положения щитов скользящей и подъемно-переставной опалубки применяют метод контроля по одному, двум или трем пунктам рабочего обоснования. Метод трех точек, дающий полную информацию о положении опалубки и позволяющий определить влияние всех составляющих факторов, используется при строительстве башен высотой свыше 100 м, когда центр башни может быть спроектирован на уровень рабочего пола скользящей опалубки (или рабочей площадки шахтоподъемника при строительстве в подъемно-переставной опалубке).

Точки технологического рабочего обоснования закладываются по створу одной из главных осей сооружения на одинаковых расстояниях от центра, не превышающих минимального проектного радиуса положения внутренних щитов опалубки и равных радиусу установки визирных целей на конструкции опалубки.

Для повышения быстроты работы с геодезическими приборами верх трубы знака должен быть оборудован принудительным центрировочным устройством. При закладке знаков следует учитывать необходимость проведения геодезических работ по контролю их планового положения, изменение которого может быть вызвано неравномерной осадкой или пучением грунта под действием нагрузки на кольцевой фундамент. Контроль положения знаков рабочего технологического обоснования выполняется створными методами с пунктов главных осей, для чего необходима видимость между створными пунктами в период строительства.

В период строительства выверка вертикальности в зависимости от высоты возведенной части сооружения и требуемой точности может быть выполнена при помощи тяжелого отвеса, с помощью зенит-прибора, способом направлений (горизонтальных углов), способом малых углов, способом вертикального проектирования.

При строительстве башни с пунктов рабочей технологической основы при помощи приборов вертикального проектирования или тяжелых отвесов задается положение осей и центра сооружения на рабочем (монтажном) горизонте. От осей и центра производится монтаж сооружения и контроль за положением отдельных элементов конструкции.

В проектах и ведомственных инструкциях, как правило, для различных сооружений башенного типа устанавливаются требования к исполнительным съемкам. Для большинства башен съемка поперечных сечений выполняется через 3 – 5 м. Впоследствии на основании этой съемки составляют исполнительные планы-сечения и вертикальные разрезы сооружения по главным осям.

При переносе осей на рабочие горизонты необходимо иметь в виду, что сооружения башенного типа весьма чувствительны к воздействиям внешних факторов: одностороннего температурного нагрева и влиянию ветровой нагрузки. Поэтому геодезические работы по переносу осей следует выполнять в ночное и утреннее время и при отсутствии ветра. Из-за воздействия внешних факторов необходимо также осуществлять контроль за кренами и изгибами сооружения. Для этого на корпусе башни через определенные расстояния (25 – 30 м) по высоте следует устанавливать визирные марки, по которым контролируется положение сооружения во время передачи осей на рабочий горизонт. Такие марки могут устанавливаться вдоль двух внешних образующих башни, и наблюдения за их смещениями ведутся с пунктов геодезического обоснования теодолитом.

Можно также устанавливать марки внутри сооружения и определять их смещения посредством приборов вертикального проектирования.

При сооружении башен в скользящей и подъемно-переставной опалубке после окончания работ нулевого цикла производится монтаж опалубки, включающий сборку коробов, установку кружал и домкратных рам, щитов. Одновременно устанавливается геодезическое оборудование, предназначенное для определения положения опалубки в период строительства. Чаще всего при строительстве сооружений большого диаметра (гради-рен) в качестве отсчетных устройств, для контроля положения опалубки, используют нивелирные рейки, которые устанавливают на кронштейнах на уровне рабочего пола опалубки по радиальным направлениям.

Для других башен (дымовые трубы, телебашни и т. п.) для контрольных измерений за положением опалубки применяют шкаловые визирные марки, которые укрепляют на радиальных балках над пунктами рабочей технологической основы. Размеры визирных марок устанавливают с учетом изменений радиуса сооружений. Цена деления шкалы марки, как правило, принимается 1 см. Марки снабжаются осветителями для работы в ночное время. Определение положения опалубки производят через один метр.

Одновременно с определением положения опалубки в плане контролируют рулеткой ширину полости между щитами, подлежащую заполнению бетоном. При контроле планового положения опалубки с одного пункта, расположенного в центре башни, берут отсчеты по визирной марке  $x_i$  и  $y_i$ .

Отклонение центра опалубки в этом случае находят из выражений

$$\Delta s = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}; \quad \Delta x = x_i - x_0; \quad \Delta y = y_i - y_0, \quad (4.23)$$

где  $x_0$  и  $y_0$  – координаты центра башни.

В процессе строительства башни скользящая опалубка испытывает кручение вокруг вертикальной оси сооружения. Величину кручения необходимо периодически измерить с целью исправления положения опалубки посредством ее разворота. Метод определения положения скользящей опалубки по одной марке не дает такой возможности. Поэтому его применяют для сравнительно небольших башен.

Положение в плане скользящей опалубки по двум точкам можно получить из отсчетов прибором вертикального проектирования по двум шкаловым маркам, а также узнать величину кручения опалубки.

Высотное определение положения опалубки осуществляется посредством передачи проектных высот на рабочий горизонт с последующим нивелированием домкратных рам или верха кружал подъемно-переставной опалубки.

При исполнительной съемке построенной башни точным теодолитом с пунктов опорной сети измеряют направление  $N_0$  на пункт главной оси направления на правую  $N_R$  и левую  $N_L$  образующие исходного, всех промежуточных и верхнего ярусов (рис. 4.12).

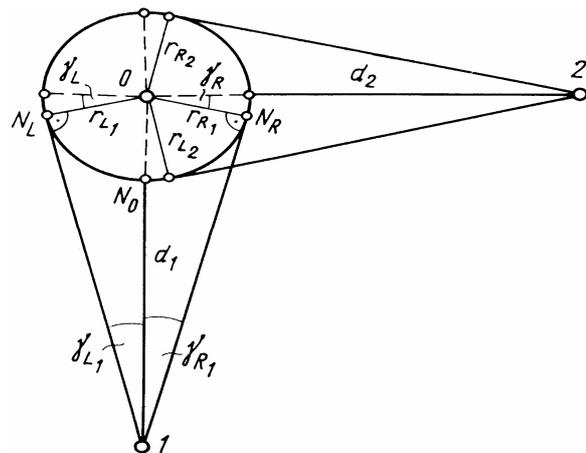


Рис. 4.12. Исполнительная съемка построенной башни с пунктов опорной сети

Так как при этих измерениях основным источником погрешностей будет наклон оси вращения теодолита, то прибор тщательно горизонтируют, а для очень высоких башен применяют высокоточный накладной уровень на ось вращения зрительной трубы.

По разности средних значений направлений находят горизонтальные углы на правые и левые части ярусов

$$\gamma_{R_i} = N_{R_i} - N_0; \quad \gamma_{L_i} = N_0 - N_{L_i}, \quad (4.24)$$

по которым вычисляют фактическую величину радиусов

$$r_{R_i} = d \sin \gamma_{R_i}; \quad r_{L_i} = d \sin \gamma_{L_i}, \quad (4.25)$$

где  $d$  – расстояние от опорного пункта до центра башни.

Такие измерения производят как минимум из двух опорных пунктов 1 и 2, расположенных на взаимно перпендикулярных осях.

По отклонениям исполнительных радиусов от их проектного значения:

$$\Delta r_{R_i} = r_{R_i} - r; \quad \Delta r_{L_i} = r_{L_i} - r, \quad (4.26)$$

судят о точности соблюдения геометрии поверхности на отдельных ярусах и о крене башни [4].

#### 4.6.3. Способы определения кренов

Определение крена эксплуатируемого башенного сооружения в зависимости от требуемой точности и высоты, а также местных условий может быть осуществлено одним из следующих способов:

- 1) координат;
- 2) горизонтальных углов (направлений);
- 3) малых углов;
- 4) вертикального проектирования;
- 5) с применением дифференциальных формул;
- 6) высокоточного нивелирования осадочных марок;
- 7) зенитных расстояний;
- 8) комбинированным;
- 9) с применением клинометров;
- 10) стереофотограмметрическим.

В современной практике наибольшее распространение имеют первые пять способов, как наиболее доступные и обеспечивающие достаточную точность и надежность определения крена. Наиболее универсальным и строгим из них является способ координат. Эти способы одинаковы по составу измерений и основаны на принципе измерения или проектирования направлений «пункт наблюдения – центр верхнего или нижнего пояса сооружения», образующих прямую угловую засечку.

Стереофотограмметрический способ может быть применен для систематических высокоточных наблюдений сооружений определенной высоты при наличии фототеодолита и приборов для обработки стереоснимков.

**Способ координат.** Вокруг сооружения на расстоянии равном 2 – 3 высоты сооружения прокладывают замкнутый полигонометрический ход (пункты закрепляют постоянными знаками) или используют пункты опорной сети, созданной в период строительства.

Наблюдения выполняют с трех-четырех пунктов геодезического обоснования. С этих пунктов прямой угловой засечкой определяют координаты хорошо заметной точки на вершине сооружения или центра сооружения в верхнем сечении (или наблюдают на левый и правый края образующих, а среднее значение из отсчетов по горизонтальному кругу принимают за направление на центр трубы). В обработку берут горизонтальные углы  $\beta_1, \beta_2, \dots$  – на центр основания и  $\beta'_1, \beta'_2, \dots$  – на центр сооружения в верхнем сечении или только на центр сооружения на верхнем сечении (рис. 4.13).

При необходимости исследовать изгиб башни через определенные интервалы по высоте наблюдения осуществляют на несколько горизонтов (ярусов).

Обработка измерений заключается в вычислении координат фактической оси сооружения на наблюдаемых горизонтах, полученных методом прямой угловой засечки.

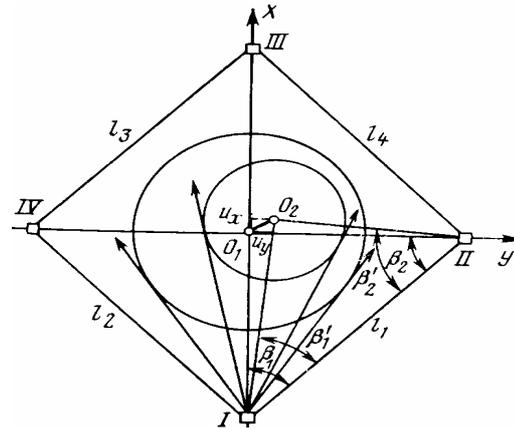


Рис. 4.13. Схема определения крена способом координат

По разности координат между текущим и начальным циклами или разности координат центров сооружения вверху и внизу находят составляющие крена  $Q_x$  и  $Q_y$ . Применительно к рис. 4.13 имеем:

$$Q_x = X_{O_1} - X_{O_2}; Q_y = Y_{O_1} - Y_{O_2}; Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}; \operatorname{tg} \alpha_Q = \frac{Q_y}{Q_x}, \quad (4.27)$$

где  $Q_x, Q_y, Q$  – соответственно значения частных кренов по осям  $X, Y$  и значение общего крена в линейной мере;

$\alpha_Q$  – дирекционный угол, характеризующий направление крена.

Точность определения крена подсчитывается по формулам прямой многократной засечки

$$M_Q = \sqrt{\frac{m_{Q_1'}^2 \cdot m_{Q_1''}^2}{m_{Q_1'}^2 + m_{Q_1''}^2}}, \quad (4.28)$$

в которой

$$m_{Q_1'} = \frac{m_{\beta}}{\rho \cdot \sin \gamma_1} \sqrt{S_{I-O_2}^2 + S_{II-O_2}^2}, \quad m_{Q_1''} = \frac{m_{\beta}}{\rho \cdot \sin \gamma_2} \sqrt{S_{II-O_2}^2 + S_{III-O_2}^2}.$$

В некоторых случаях не удается выполнить наблюдения на нижнее и верхнее сечение башни, а удается только определить крен в двух сечениях на отметках  $H_1$  и  $H_2$ . Тогда полный крен, в предположении, что изгиб корпуса незначителен, находят посредством умножения полученных значений  $Q$  на  $H/(H_2 - H_1)$ .

По возможности следует располагать пункты на равных расстояниях от центра башни так, чтобы их положение совпадало с направлением осей сооружения.

Способ координат можно использовать для точных систематических определений крена башен значительной высоты и для наблюдений групп сооружений [3, 20].

**Способ горизонтальных углов (направлений)** состоит в определении абсолютного крена в первом цикле и приращений крена в последующих циклах по результатам измерения горизонтальных направлений на центры верхнего среднего и нижнего среднего сечений в первом цикле и на центр только верхнего среднего сечения в последующих циклах (направления образуют прямую засечку).

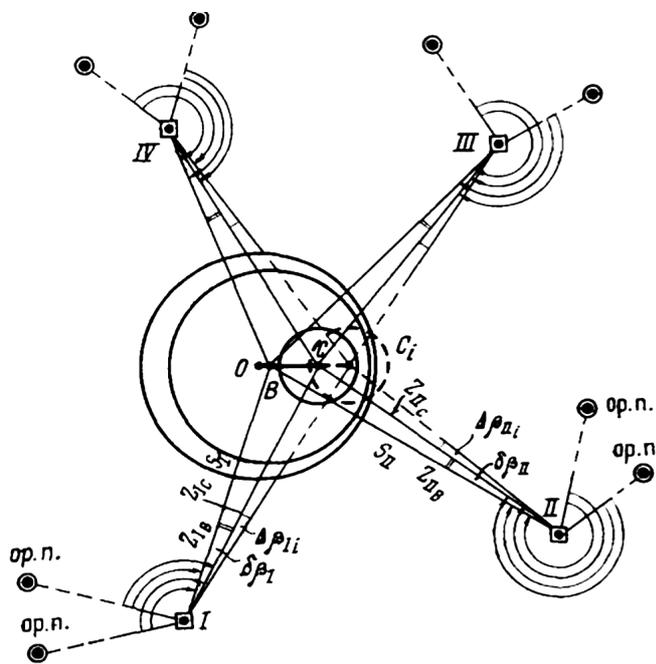


Рис.4.14. Определение крена способом направлений

В начальном цикле наблюдений на каждом из трех-четырех пунктов наблюдений одновременно измеряют способом круговых приемов горизонтальные углы между направлением, принятым за начальное, и направлениями на центры верхнего и нижнего (по возможности более низкого) поясов (рис. 4.14). В наблюдения следует включать направления на оба ориентирных пункта. Постоянство значения угла между направлениями на ориентирные пункты служит контролем измерения горизонтальных углов.

Например, в пунктах I и II одновременно измеряют горизонтальные углы между направлениями на два ориентирных пункта, удаленных от I и II на 100 – 500 м, и направлениями на центры верхнего  $c$  и нижнего  $b$  поя-

сов. Попутно измеряют зенитные расстояния направлений на центры тех же поясов. По такой же программе ведут измерения и со второй пары пунктов опорной сети (III и IV, II и III).

Результаты измерений в первом цикле позволяют определить частные поперечные крены:

$$q_{I_1} = \frac{s_I \cdot \delta''_{\beta I}}{\rho''}; \quad q_{II_1} = \frac{s_{II} \cdot \delta''_{\beta II}}{\rho''}, \quad (4.29)$$

где  $\delta_{\beta I}$  и  $\delta_{\beta II}$  – углы между направлениями на центры наблюдаемых поясов на пунктах I и II;

$s_I$  и  $s_{II}$  – горизонтальные расстояния от пунктов I и II до оси трубы, получаемые прямой засечкой или измеряемые непосредственно с точностью 1:2000.

Полные поперечные крены определяются по формулам:

$$Q_{I_1} = \frac{q_{I_1} \cdot H}{h_{bc}}; \quad Q_{II_1} = \frac{q_{II_1} \cdot H}{h_{bc}}, \quad (4.30)$$

где  $H$  – высота сооружения от подошвы фундамента, известная из паспорта;  $h_{bc}$  – превышение верхнего пояса над нижним, полученные по измеренным зенитным расстояниям с пунктов I и II.

Полный (абсолютный) крен трубы из первого цикла наблюдений, полученный по двум его составляющим (с первой пары пунктов), можно вычислить по формуле:

$$Q'_1 = \frac{1}{\sin \gamma} \sqrt{Q_{I_1}^2 + Q_{II_1}^2 - 2Q_{I_1}Q_{II_1} \cos \gamma}, \quad (4.31)$$

где угол засечки  $\gamma = \alpha_I - \alpha_{II}$ .

Если направления с пунктов наблюдения на трубу взаимно перпендикулярны, т. е.  $\gamma = 90^\circ$ , чего следует добиваться при проектировании опорной сети, то:

$$Q'_1 = \sqrt{Q_{I_1}^2 + Q_{II_1}^2}. \quad (4.32)$$

Аналогично определится полный крен  $Q_{III-IV}$  по наблюдениям первого цикла со второй пары станций. За окончательное значение крена принимают среднее из двух его определений.

Направление полного крена, одинаковое с направлением частного крена  $q$ , достаточно определить из одной комбинации засечки, пользуясь формулами:

$$\alpha_{Q_1} = \alpha_{Q'_1} = \alpha_I + 90^\circ - \psi_1; \quad \alpha_{Q'_1} = \alpha_{II} + 90^\circ - \psi_2, \quad (4.33)$$

где  $\psi_1$  и  $\psi_2$  – углы между направлением частного крена в первом цикле и направлениями его составляющих  $q_I$  и  $q_{II}$  соответственно.

Эти углы можно найти из следующих выражений:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\psi_1 &= \frac{q_{II} \cos \delta\beta_{II} \cos \delta\beta_I - q_I \cos \delta\beta_I \cos(\gamma - \delta\beta_{II})}{q_{II} \cos \delta\beta_{II} \sin \delta\beta_I + q_I \cos \delta\beta_I \sin(\gamma - \delta\beta_{II})}, \\ \operatorname{tg}\psi_2 &= \frac{q_I \cos \delta\beta_I \cos \delta\beta_{II} - q_{II} \cos \delta\beta_{II} \cos(\gamma + \delta\beta_I)}{q_{II} \cos \delta\beta_{II} \sin(\gamma + \delta\beta_I) - q_I \cos \delta\beta_I \sin \delta\beta_{II}}, \end{aligned} \quad (4.34)$$

В каждом из последующих циклов измеряют только углы между направлениями на ориентирные пункты и направлением на центр верхнего пояса, фиксируя, таким образом, изменения  $\Delta\beta_i$  этих углов за время между первым и  $i$ -тым циклами. Затем находят приращения полных поперечных кренов  $\Delta Q_{Ii}$ ,  $\Delta Q_{IIi}$  и приращения полного крена  $\Delta Q_i$  для  $i$ -того цикла:

$$\Delta Q_{Ii} = \frac{s_I \cdot \Delta\beta_{Ii}}{\rho}; \quad \Delta Q_{IIi} = \frac{s_{II} \cdot \Delta\beta_{IIi}}{\rho}. \quad (4.35)$$

Приращение полного крена в  $i$ -том цикле находят по формулам аналогичным (4.31) и (4.32).

Такие же вычисления выполняют и по результатам наблюдений со второй пары станций, после чего определяют среднее приращение полного крена. Зная полный крен трубы в первом цикле и его приращение в  $i$ -том цикле, вычисляют полный крен трубы для  $i$ -того цикла.

Точность определения составляющих приращения крена зависит в основном от точности измерения углов  $\beta_I$  и  $\beta_{II}$  в первом и последующих циклах:

$$m_{\Delta Q_I} = \frac{s_I \cdot m_\beta \sqrt{2}}{\rho}; \quad m_{\Delta Q_{II}} = \frac{s_{II} \cdot m_\beta \sqrt{2}}{\rho}. \quad (4.36)$$

По таким же формулам определяют средние квадратические погрешности приращений полных поперечных кренов из другой комбинации станций наблюдений.

Точность определения приращения полного крена из каждой комбинации можно оценить по формулам:

$$m_{\Delta Q'} = \frac{m_\beta}{\rho \cdot \sin \gamma_1} \sqrt{2(S_I^2 + S_{II}^2)}; \quad m_{\Delta Q''} = \frac{m_\beta}{\rho \cdot \sin \gamma_2} \sqrt{2(S_{III}^2 + S_{IV}^2)}. \quad (4.37)$$

Затем определяют среднюю квадратическую погрешность среднего значения приращения полного крена в  $i$ -м цикле

$$m_{\Delta Q_i} = \frac{1}{2} \sqrt{m_{\Delta Q'}^2 + m_{\Delta Q''}^2}. \quad (4.38)$$

Способ горизонтальных углов целесообразно применять для высокоточных систематических наблюдений за приращениями кренов.

При определении крена труб способом горизонтальных углов предполагается исключение искажений результатов измерений из-за неправильной геометрической формы трубы путем наблюдений с нескольких точек [20, 53].

**Способ малых углов** можно использовать для разовых определений полных кренов труб. В основе его лежат измерения на каждом из трех или четырех опорных пунктов малого горизонтального угла между направлениями на центр для данного опорного пункта наиболее низкого пояса и центр верхнего пояса (рис. 4.15), а также зенитных расстояний этих направлений.

Этот способ не требует построения специальной геодезической сети. Вычисление кренов выполняется по формулам способа горизонтальных углов.

В этом случае направление полного крена обычно определяют по магнитным азимутам засечек или графически.

Оценка точности производится также по формулам способа горизонтальных углов.

**Способ вертикального проектирования.** На двух перпендикулярных осях сооружения (на расстоянии полторы-две высоты) закрепляют точки I и II, в которых устанавливают теодолиты (рис. 4.16). Перпендикулярно к линиям I – O и II – O устанавливают горизонтальные рейки (в основании сооружения). Визируя последовательно на исследуемом горизонте и нижнем горизонте на два края башни и установив средние отсчеты, поочередно проецируют направление оси сооружения на рейки и берут по последним отсчеты.

Зная расстояние от теодолита до сооружения и до его центра, из наблюдений можно вычислить составляющие крена по выбранным осям и полную величину крена.

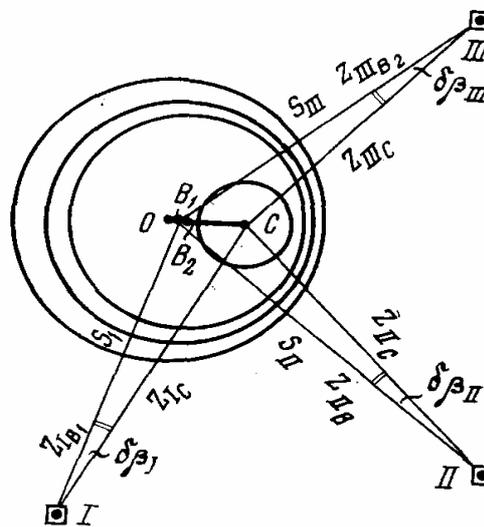


Рис. 4.15. Определение крена способом малых углов

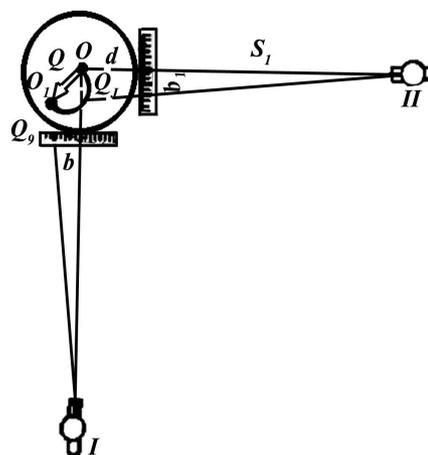


Рис. 4.16. Определение крена способом вертикального проектирования

Величину составляющих крена находят из выражений:

$$Q_x = (b - b') \frac{S + d}{S}; \quad Q_y = (b_1 - b'_1) \frac{S_1 + d}{S_1}, \quad (4.39)$$

где  $b, b', b_1, b'_1$  – средние из отсчетов, взятых по рейкам при двух кругах;  
 $S, S_1$  – расстояния от точек до центра сооружения;  
 $d$  – радиус трубы.

Проецирование на рейку выполняют при двух положениях круга теодолита.

В отдельных случаях линии 0 – I и 0 – II могут быть выбраны под произвольным углом. В этом случае, зная угол между этими направлениями, можно произвести перевычисление кренов в нужную систему координат [3, 23]

Среднюю квадратическую погрешность определения любого из частных кренов можно вычислить по формуле:

$$m_Q^2 = (b - b')^2 \frac{m_{(S+d)}^2}{S^2} + \frac{(S + d)^2 \cdot (b - b')^2}{S^4} m_S^2 + \frac{(S + d)^2}{S^2} (m_b^2 + m_{b'}^2). \quad (4.40)$$

Для практических расчетов можно принять:

$$m_Q^2 = \frac{(S + d)^2}{S^2} (m_b^2 + m_{b'}^2). \quad (4.41)$$

При вычислении средних квадратических погрешностей отсчетов по рейкам, необходимо учитывать следующие источники погрешностей:

- измерения углов на образующие наблюдаемых сечений и установки оси визирования на средний отсчет;
- проецирования на рейку, вызванные наклоном оси вращения трубы;
- собственно отсчета по рейке;
- за изменение фокусировки;
- делений шкалы рейки.

Практика применения этого способа показывает, что им можно обеспечить получение достаточно точных результатов. При этом весьма важным является выбор отношения  $(S + d)/S$ .

3. А. Таск рекомендует для удобства назначать  $(S + d)/S = 10$ . Рейку предлагают устанавливать около цокольного сечения и при этом  $(S + d)/S$  близко к единице.

В первом случае уменьшается погрешность отсчитывания по рейке, но окончательно все погрешности крена увеличиваются в 10 раз. Во втором случае увеличиваются погрешность отсчета. Однако при значительных величинах  $S$  и  $(S + d)/S$ , близких к единице, можно использовать на

рейке специальные подвижные марки, которых по сигналу наблюдателя вводят в створ и по индексу, закрепленному на марках, берут отсчеты. Это обеспечит повышение точности отсчета и получение крена с необходимой точностью.

**Применение дифференциальных формул.** Прямую угловую засечку широко применяют при геодезических разбивочных работах, наблюдениях за горизонтальными смещениями инженерных сооружений, например гидротехнических, башенного типа и т. п.

При определении горизонтальных смещений сооружения нет необходимости каждый раз вычислять координаты или составляющие смещения точки в направлениях, перпендикулярных к наблюдаемым. Эти смещения  $\Delta x_T$  и  $\Delta y_T$  можно вычислять по дифференциальным формулам в зависимости от изменений  $\Delta \gamma$  примычных углов  $\gamma$  между циклами наблюдений (рис. 4.17):

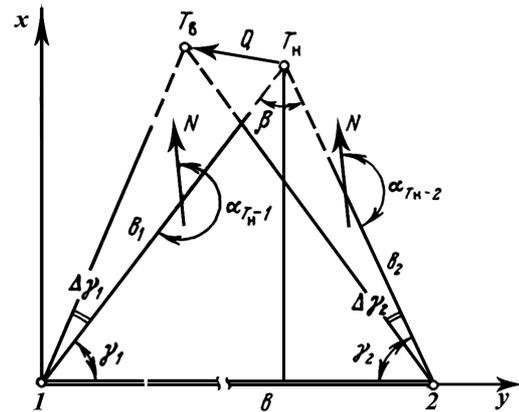


Рис. 4.17. Схема определения крена трубы

$$\Delta X_T = A \cdot \Delta \gamma_1 + B \cdot \Delta \gamma_2; \Delta Y_T = -C \cdot \Delta \gamma_1 + D \cdot \Delta \gamma_2. \quad (4.42)$$

Коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  зависят от геометрической формы треугольника:

$$A = \frac{b_1^2}{b \cdot \rho}; B = \frac{b_2^2}{b \cdot \rho}; C = \frac{b_1^2}{b \cdot \rho} \operatorname{ctg} \gamma_2; D = \frac{b_2^2}{b \cdot \rho} \operatorname{ctg} \gamma_1, \quad (4.43)$$

где  $b_1$  и  $b_2$  – расстояния от станций 1 и 2 до наблюдаемой точки;  
 $b$  – расстояние между станциями наблюдений.

Рассмотрим применение дифференциальных формул для определения кренов дымовых труб. На крупных промышленных объектах не всегда можно выбрать станции наблюдений за кренами труб так, чтобы между ними была взаимная видимость. Для нахождения абсолютного значения крена и его направления достаточно измерить расстояния  $b_1$  и  $b_2$  до центра нижнего сечения трубы, определить дирекционные направления  $\alpha_{ТН1}$  и  $\alpha_{ТН2}$  в местной системе координат и углы  $\Delta \gamma_1$  и  $\Delta \gamma_2$  между центрами верхнего  $T_B$  и нижнего  $T_H$  сечений трубы соответственно со станций 1 и 2.

Расстояния между станциями наблюдений можно измерить (хотя в условиях плотной застройки это невозможно) или вычислить по известной формуле:

$$b = \sqrt{b_1^2 + b_2^2 - 2b_1b_2 \cos \beta},$$

причем угол  $\beta$  засечки центра нижнего сечения трубы  $\beta = \alpha_{T_{H-1}} - \alpha_{T_{H-2}}$ .

Углы  $\gamma$  между направлением на центр нижнего сечения трубы и линией базиса  $b$  вычисляют один раз (в первом цикле) по формуле:

$$\gamma_{1(2)} = \arcsin \frac{b_{2(1)}}{b} \sin \beta. \quad (4.44)$$

Расстояния  $b_1$  и  $b_2$ , дирекционные направления  $\alpha_{T_{H1}}$  и  $\alpha_{T_{H2}}$ , а также углы  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  могут быть взяты с необходимой точностью непосредственно с генплана завода. Формулы (4.42) позволяют вычислить приращения  $\Delta x_T$  и  $\Delta y_T$  в частной системе координат, начало которой совпадает со станцией наблюдений 1, а ось  $y$  совмещена с линией 1 – 2. Знаки  $\Delta y$  положительные, если эти изменения увеличивают углы  $\gamma$ , и наоборот.

Полный крен  $Q$  трубы вычисляют по формуле:

$$Q = \sqrt{\Delta x_T^2 + \Delta y_T^2}, \quad (4.45)$$

а направление  $M$  в местной системе координат по формуле:

$$M = \alpha_Q^C - (\alpha_{H-1}^C - \alpha_{H-1}^M), \quad (4.46)$$

где  $\alpha_Q^C = \arctg \frac{\Delta Y_T}{\Delta X_T}$  – дирекционное направление крена в частной системе координат,

$\alpha_{H-1}^C = 270^\circ - \gamma_1$ ;  $\alpha_{H-1}^M$  – дирекционные углы станции наблюдения 1 в частной и местной системах координат.

Получение приращения координат центра верхнего сечения трубы относительно центра нижнего сечения дает возможность без вычисления самих координат определять как величину, так и направление крена трубы. Расчеты показывают, что расстояния  $b_1$  и  $b_2$  в зависимости от величины измеряемых углов  $\Delta \gamma_1$  и  $\Delta \gamma_2$  можно определять с ошибкой до нескольких метров. Следовательно, станции наблюдений достаточно только обозначить на местности и привязать к заводской ситуации, что значительно уменьшает затраты на организацию наблюдений, не снижая требуемой точности. Точность определения приращения крена с учетом одинаковой точности измерения углов  $\Delta \gamma$  будет такова:

$$m_Q = m_\gamma \sqrt{A^2 + B^2 + C^2 + D^2}, \quad (4.47)$$

где  $m_\gamma$  – средняя квадратическая погрешность измерения углов;  
 $(A^2 + B^2 + C^2 + D^2)$  – весовая характеристика собственно угловой засечки.

Эта формула является универсальной формулой средней квадратической погрешности определения положения пункта прямой угловой засечкой.

Подставляя в нее значения коэффициентов  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  после несложных преобразований получаем:

$$m_Q = \frac{m_\gamma}{\rho \cdot \sin \beta} \sqrt{b_1^2 + b_2^2}. \quad (4.48)$$

При определении горизонтальных смещений сооружений с использованием пунктов триангуляции или полигонометрии смещение  $Q_T$  пункта получается из двух циклов наблюдений. В этом случае будет иметь:

$$m_{Q_T} = \sqrt{2} \cdot m_\gamma \sqrt{A^2 + B^2 + C^2 + D^2}.$$

Так как в предлагаемом методе определения кренов предусматривается измерение не примычных углов  $\gamma$ , а углов  $\Delta\gamma$ , то  $m_\gamma = m_{\Delta\gamma}$ . А так как направления на центры сечений трубы находятся как среднее между направлениями на образующие этих сечений, то точность определения крена трубы  $Q_K$  будет определяться по формуле:

$$m_{Q_K} = m_H \sqrt{A^2 + B^2 + C^2 + D^2},$$

где  $m_H$  – средняя квадратическая погрешность направления «станция наблюдения, образующая сечения трубы».

Предложенная методика определения кренов дымовых труб разработана бывшим заведующим кафедрой прикладной геодезии И. С. Рабцевичем и широко применяется на Новополюцких промышленных предприятиях. Получаемая точность хорошо согласуется с расчетной. Крены труб вычисляют по формулам на месте производства работ. На наблюдения 25 труб затрачивается 8 часов [61].

**Способ высокоточного нивелирования** основан на высокоточном геометрическом или гидростатическом нивелировании осадочных марок (рис. 4.18). Последние закладываются на концах двух взаимно перпендикулярных диаметров выбранного цокольного сечения (контрольного сечения) примерно на одном горизонте.

В каждом цикле наблюдений производят высокоточное нивелирование осадочных марок. Чтобы уменьшить влияние систематических погрешностей на результаты измерений, геометрическое нивелирование каждый раз выполняют по одной и той же схеме хода, опирающегося не менее чем на три репера, заложенных вне осадочной зоны специально для измерения осадок.

Расстояния от нивелира до марок не должно превышать 30 м. Нивелирование выполняют высокоточным нивелиром типа Н1 и Н2 в комплекте с инварными штриховыми рейками по методике нивелирования II класса. Невязка хода в каждом цикле не должна превышать величины  $f_h = 1 \text{ мм} \sqrt{n}$ , где  $n$  – число станций нивелирного хода.

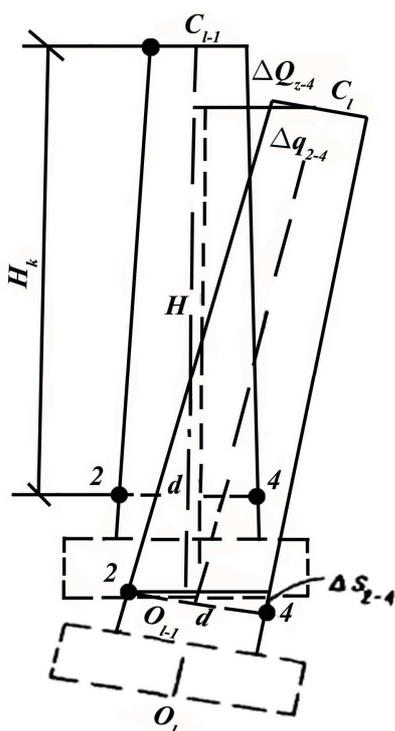


Рис. 4.18. Способ высоточного нивелирования

По разностям осадок  $\Delta s_{1-3}$  и  $\Delta s_{2-4}$  (осадка точки сооружения представляет собой разность отметок этой точки в двух циклах наблюдений) диаметрально противоположных марок 1 и 3, 2 и 4 между циклами наблюдений находят приращения частных кренов в створах каждого диаметра:

$$\Delta q_{1-3} = \frac{H_K}{d} \cdot \Delta s_{1-3}; \quad \Delta q_{2-4} = \frac{H_K}{d} \cdot \Delta s_{2-4}, \quad (4.49)$$

где  $H_K$  – высота сооружения над контрольным сечением, определяемая тригонометрическим нивелированием;

$d$  – диаметр этого сечения.

Непосредственно приращения полных поперечных кренов:

$$\Delta Q_{1-3} = \frac{H}{d} \cdot \Delta s_{1-3}; \quad \Delta Q_{2-4} = \frac{H}{d} \cdot \Delta s_{2-4}, \quad (4.50)$$

где  $H$  – высота сооружения от подошвы фундамента.

Приращение полного крена сооружения можно получить по формуле:

$$\Delta Q = \sqrt{\Delta Q_{1-3}^2 + \Delta Q_{2-4}^2}. \quad (4.51)$$

Направление крена определяется путем ориентирования одного из указанных диаметров при закладке осадочных марок по направлению «пункт опорной сети – центр контрольного сечения», а при отсутствии опорной сети – по магнитному меридиану.

Точность определения приращения крена способом нивелирования осадочных марок зависит от погрешности измерения превышения  $m_h$  на нивелирной станции и определяется по формуле:

$$m_{\Delta Q} = m_h \frac{H}{d} \sqrt{2}. \quad (4.52)$$

Как следует из этой формулы, для увеличения точности определения приращения крена необходимо использовать метод гидростатического нивелирования.

Способ не позволяет выявить ту часть крена, которая вызвана дополнительным моментом вследствие самого наклона сооружения изгиба (например, от прогара промышленных дымовых труб) и других деформаций верхней части сооружения. Поэтому он может быть рекомендован как контрольно-вспомогательный, дополняющий основные способы [3, 20].

**Способ зенитных расстояний.** Определение крена инженерных сооружений путем проектирования наблюдаемой точки на подошву фундамента сооружения с двух взаимно перпендикулярных направлений или путем измерения горизонтальных углов и расстояний от инструмента до сооружения – очень трудоемкое дело. Кроме того, на застроенной территории не всегда удастся обеспечить прямую видимость на расстоянии не менее половины высоты сооружения от инструмента до объекта наблюдения.

Данный способ определения крена инженерного сооружения предложен А. М. Зеленским и осуществляется посредством измерения малых зенитных расстояний с постановкой инструмента у его основания.

Предлагаемый метод заключается в том, что крен сооружения можно определить путем измерения малых зенитных расстояний  $z_1$  и  $z_2$  (рис. 4.19) с двух диаметрально противоположных станций при постоянном расстоянии от инструмента до сооружения.

В этом случае линейная составляющая крена  $Q_1$  и  $Q_2$ , определенная соответственно со станций  $I_1$  и  $I_2$ , получится

$$\begin{aligned} Q_1 &= (H - i_1) \operatorname{tg} z_1 + r - R - (c_1 - d \cdot \cos z_1); \\ Q_2 &= -(H - i_2) \operatorname{tg} z_2 - r + R + (c_2 - d \cdot \cos z_2), \end{aligned} \quad (4.53)$$

где  $r$  – радиус верхней части сооружения;

$R$  – радиус сооружения на высоте инструмента;

$d$  – расстояние от объектива зрительной трубы теодолита до оси ее вращения;

$i_1$  и  $i_2$  – высота инструмента соответственно на станциях  $I_1$  и  $I_2$ .

Среднее значение линейной величины крена будет

$$\begin{aligned} Q_{cp} &= \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{(H - i_1) \cdot (\operatorname{tg} z_1 - \operatorname{tg} z_2)}{2} - \\ &- \frac{i_1 - i_2}{2} \operatorname{tg} z_2 + \frac{c_1 - c_2}{2} + \frac{d}{2} (\cos z_1 - \cos z_2). \end{aligned} \quad (4.54)$$

Для получения угловой величины составляющей крена  $g$  формулу (4.54) разделим на  $(H - i_1)$ :

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} g &= \frac{\operatorname{tg} z_1 - \operatorname{tg} z_2}{2} - \frac{i_1 - i_2}{2 \cdot (H - i_1)} \operatorname{tg} z_2 + \\ &+ \frac{c_1 - c_2}{2 \cdot (H - i_1)} + \frac{d}{2 \cdot (H - i_1)} (\cos z_1 - \cos z_2). \end{aligned} \quad (4.55)$$

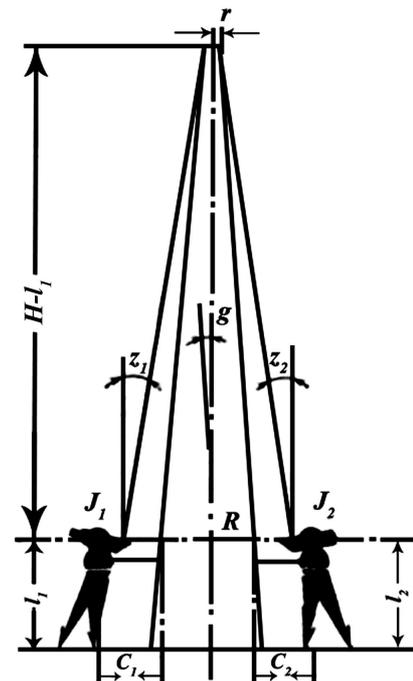


Рис. 4.19. Определение крена способом зенитных расстояний

Для малых зенитных расстояний (порядка  $20^\circ$ ) можно записать:

$$g'' = \frac{z_1'' - z_2''}{2} - \frac{i_1 - i_2}{2 \cdot (H - i_1)} \cdot z_2'' + \frac{c_1 - c_2}{2 \cdot (H - i_1)} \cdot \rho'', \quad (4.56)$$

или при  $i_1 = i_2$  и  $c_1 = c_2$  формула (4.56) примет вид:

$$g'' = \frac{z_1'' - z_2''}{2}. \quad (4.57)$$

Для определения крена предлагаемым способом нужна насадка на объектив теодолита (или на окуляр) в виде преломляющей прямоугольной призмы, а также трегер с опорным штырем для установки инструмента на постоянном расстоянии  $s$  от сооружения.

Для систематического наблюдения за креном необходимо заложить марки-упоры для установки опорного штыря. Марки располагаются по поясу сооружения на равных расстояниях  $s$  друг от друга так, чтобы у противоположных марок были одинаковые высоты ( $\pm 1 - 2$  см в зависимости от высоты сооружения). В случае расположения на сооружении различных конструкций в верхней его части необходимы специальные выносные визирные цели. Расстояния от оси объекта до мест визирования должны быть одинаковыми по всем четырем направлениям.

Крен любого инженерного сооружения не должен превышать величины:  $Q_{np} = t \cdot H$ , или в угловой мере  $g_{np} = t \cdot \rho$ . Причем  $t$  – постоянный коэффициент, который устанавливается СНиП, а  $H$  – высота сооружения.

Полный крен инженерного сооружения складывается из составляющих  $g_1$  и  $g_2$ . Следовательно,

$$m_Q = \sqrt{m_{g_1}^2 + m_{g_2}^2}, \quad 8)$$

где  $m_{g_1}$  и  $m_{g_2}$  – средние квадратические погрешности составляющих крена.

Исходя из принципа равного влияния, получим

$$m_g = \frac{m_Q}{\sqrt{2}} = \frac{0,1 \cdot t \cdot H}{\sqrt{2}}. \quad (4.59)$$

На точность определения составляющей крена предлагаемым способом влияют:

$m_{g_z}$  – средняя квадратическая погрешность измерения зенитных расстояний  $z_1$  и  $z_2$ , вызванная влиянием внешних условий, инструментальными погрешностями и погрешностями визирования;

$m_{g_i}$  – средняя квадратическая погрешность, вызванная неравенством высот инструмента  $i_1$  и  $i_2$ ;

$m_{g_c}$  – средняя квадратическая погрешность, вызванная неравенством расстояний  $c_1$  и  $c_2$ .

Таким образом, 
$$m_g = \sqrt{m_{gz}^2 + m_{gi}^2 + m_{gc}^2} . \quad (5.60)$$

В этом способе, чем больше высота инженерного сооружения, тем грубее можно определять разности  $\Delta i$  и  $\Delta c$ . На разности  $\Delta i$  и  $\Delta c$  существенное влияние оказывает наклон опорного штыва. Поэтому для приведения его в горизонтальное положение необходимо укрепить на нем уровень с ценой деления порядка 8'.

При наблюдении за креном предлагаемым способом можно использовать двуногий штатив или трехногий. В последнем случае нога, направленная в сторону инженерного сооружения, не должна нести основной нагрузки инструмента [54].

**Комбинированный способ.** На застроенной территории промышленного предприятия определенную сложность представляет определение крена сооружения, так как в большинстве случаев не представляется возможным обеспечить видимость всего инженерного сооружения с двух и более пунктов геодезического обоснования. Определение же крена сооружения по видимой верхней части не учитывает криволинейного характера изменения крена по высоте и возможные изгибы оси сооружения. Способ зенитных расстояний, предложенный А. М. Зеленским, предполагает необходимость создания геодезического обоснования из четырех пунктов, расположенных в двух перпендикулярных плоскостях и равноудаленных от центра нижнего сечения сооружения, что на практике не всегда осуществимо.

Предлагаемый комбинированный способ определения крена основан на измерении на пункте  $A$  (рис. 4.20) горизонтального угла  $\gamma$  отклонения центра верхнего сечения  $O_1$  от центра нижнего сечения  $O$  сооружения и вертикального угла  $z$  на марку  $M_1$ , расположенную в верхней части сооружения.

Для вывода формул определения крена и его направления введем условную систему координат  $XOY$  с началом в точке  $O$ , ось абсцисс направим по линии  $AO$ .

Из рис. 4.20 находим:

$$R_x = s_1 \cdot \cos \gamma - s; \quad R_y = s_1 \cdot \sin \gamma, \quad (5.61)$$

где  $R_x$  и  $R_y$  – составляющие крена;

$\gamma = \beta_B - \beta_H$  – горизонтальный угол отклонения верхнего центра от нижнего;

$s$  и  $s_1$  – горизонтальные проложения сторон  $AO$  и  $AO_1$ .

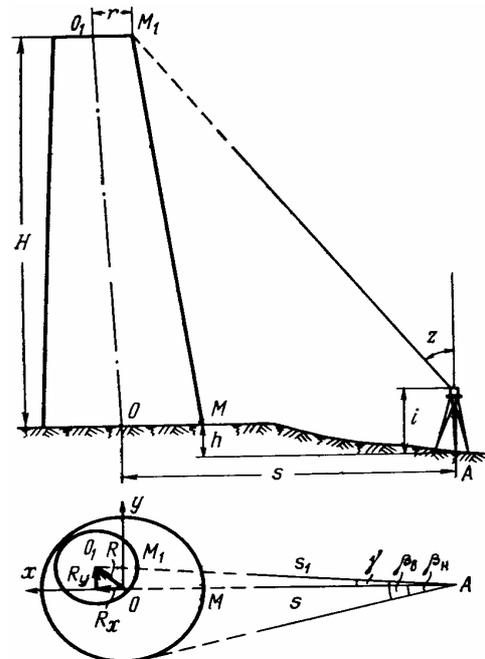


Рис. 4.20. Схема наблюдений при определении крена

Горизонтальное проложение до центра верхнего сечения вычисляется по формуле:

$$s_1 = r + (H + h - i) \cdot \operatorname{tg} z, \quad (5.62)$$

где  $r$  – радиус верхнего сечения;

$H$  – высота сооружения;

$h$  – превышение между точками  $M$  и  $A$ ;

$i$  – высота инструмента;

$z$  – зенитное расстояние.

Линейная величина  $R$  и направление  $\alpha_R$  крена определяются по формулам:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}; \quad \alpha_R = \operatorname{arctg} \frac{R_y}{R_x}. \quad (5.63)$$

Погрешность определений крена:

$$m_R = \sqrt{\cos^2 \alpha_R \cdot m_{R_x}^2 + \sin^2 \alpha_R \cdot m_{R_y}^2}, \quad (5.64)$$

где  $m_{R_x}$ ,  $m_{R_y}$  – погрешности вычисления  $R_x$  и  $R_y$ .

Полагая, что превышение  $h$ , высота прибора  $i$  и погрешности их определения  $m_h$  и  $m_i$  незначительны по сравнению с высотой сооружения  $H$  и с погрешностью ее определения  $m_H$  и учитывая, что горизонтальный угол  $\gamma$  близок к нулю, получаем:

$$m_{R_x} = \sqrt{m_{S_1}^2 + m_S^2}; \quad m_{R_y} = S_1 \frac{m_\gamma}{\rho}; \quad m_S = \sqrt{m_r^2 + m_H^2 \cdot \operatorname{tg}^2 z + \frac{H^2}{\cos^4 z} \cdot \frac{m_z^2}{\rho^2}},$$

где  $m_{S_1}$ ,  $m_S$  – погрешности определения горизонтального проложения сторон  $AO_1$  и  $AO$ ;

$m_\gamma$ ,  $m_z$  – погрешности измерения углов  $\gamma$  и  $z$ ;

$m_r$ ,  $m_H$  – погрешности определения радиуса верхнего сечения и высоты сооружения.

Следовательно,

$$m_R = \sqrt{(m_r^2 + m_H^2 \cdot \operatorname{tg}^2 z + \frac{H^2}{\cos^4 z} \cdot \frac{m_z^2}{\rho^2} + m_S^2) \cdot \cos^2 \alpha_R + S_1^2 \cdot \sin^2 \alpha_R \cdot \frac{m_\gamma^2}{\rho^2}}. \quad (5.65)$$

В данном способе с уменьшением  $s/H$  увеличивается точность определения крена независимо от его направления.

Для уменьшения погрешности определения крена пункт для наблюдений целесообразно выбирать в плоскости, перпендикулярной к направлению крена.

Достоинствами предлагаемого способа являются: определение крена сооружения башенного типа с одного пункта; незначительный объем полевых работ; высокая точность определения изменения крена во времени; кратковременность наблюдений, что уменьшает влияние внешних факторов на точность определения крена. Недостатком способа является то, что необходима высокая точность определения высоты сооружения [59].

#### 4.7. Наблюдения за оползневыми процессами

Оползень – это физико-геологическое явление, представляющее собой движение земляных масс вниз по склону под влиянием силы тяжести.

Оползни возникают под воздействием грунтовых и поверхностных вод, переувлажняющих горные породы и изменяющих силы сцепления в грунтах, вследствие чего возникает движение земных масс по коренным породам.

Большинство инструментальных наблюдений основано на применении геодезических способов измерений.

Геодезические методы позволяют получать абсолютные величины смещений оползней, т. к. точки оползня наблюдаются относительно неподвижных пунктов.

Точки, по которым ведут измерения, закрепляют постоянными знаками в виде деревянных, металлических или бетонных столбов, на которых имеется головка с центром. Геодезические знаки в зависимости от места установки делятся на опорные (неподвижные) и оползневые (подвижные).

Геодезические методы наблюдения за оползнями делят на 4 группы:

1. Осевые (одномерные) методы позволяют определить смещения относительно заданной линии. К ним относятся:

- метод расстояний, в котором измеряются расстояния по прямой линии между заложенными знаками (рис. 4.21, а);

- створный метод, в котором измеряются поперечные смещения оползневых точек относительно линии перпендикулярной к направлению движения оползня (рис. 4.21, б);

- способ направлений, в котором определяются отклонения оползневой точки по изменению направления внутреннего луча с опорного знака на оползневый (рис. 4.21, в).

2. Плановые (двухмерные) методы позволяют определить горизонтальные смещения оползневых точек, такие как:

- метод засечек (прямая и обратная линейная или угловая засечка с измерением расстояний или углов между опорными и оползневыми знаками);

- полигонометрические ходы по оползневым точкам с привязкой к опорным знакам;
- способ полярных координат.

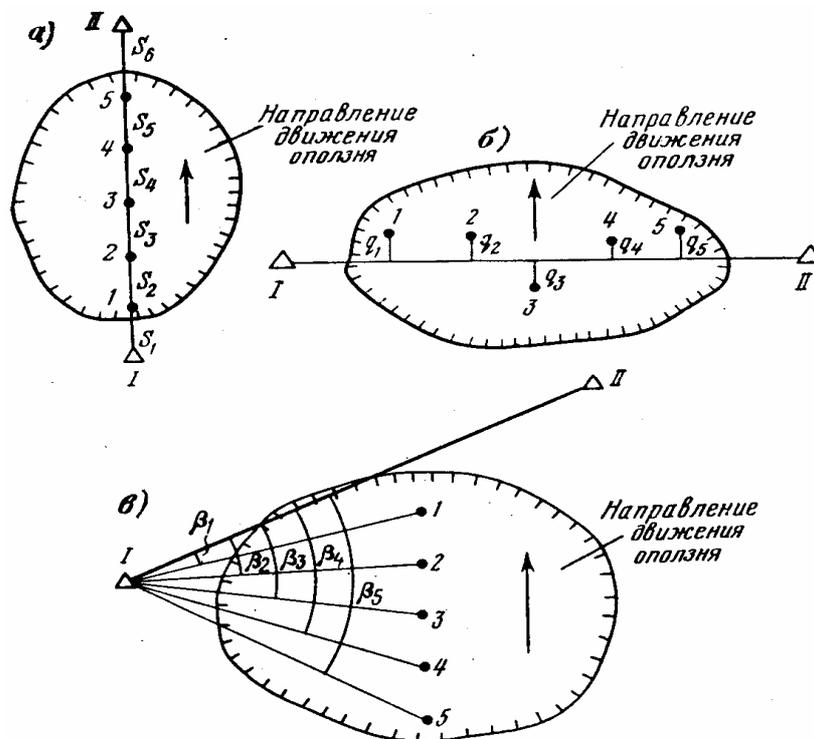


Рис.4.21.Схемы наблюдений за оползнями

3. Высотные методы, позволяющие определить вертикальные смещения опорных точек геометрическим или тригонометрическим нивелированием.
4. Пространственные методы:
  - пространственная засечка с применением горизонтальных и вертикальных углов;
  - наземная стереофотограмметрическая съемка (фототеодолитная съемка).

Осевые методы используют, если известно направление движения оползня, плановые не требуют этого – поэтому более универсальны. Плано-вые и высотные методы в сочетании дают полную картину смещения оползневых точек в пространстве. Если на оползне проводить геодезические измерения опасно, то применяют стереофотограмметрическую съемку [6].

Цикличность измерений на оползнях в среднем один раз в год, измерения проводят либо в сухой период лета или зимой, когда поверхность грунтов покрывается трещинами усыхания. Периодичность корректируется в зависимости от колебания скорости движения оползня: она должна увеличиваться в периоды активизации и уменьшаться в период угасания.

## 5. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

### 5.1. Гидротехнические сооружения, их виды и состав геодезических работ

Гидротехнические сооружения предназначены для использования водных ресурсов и для борьбы с водной стихией, т. е. позволяют решать следующие народнохозяйственные задачи:

- использование энергии рек в гидроэлектростанциях;
- решение транспортных проблем;
- гидромелиорация земель;
- водоснабжение городов и промышленно-транспортных объектов.

В зависимости от вида водоема различают речные, озерные и морские гидротехнические сооружения.

По характеру воздействия на водный поток или водоем гидротехнические сооружения условно подразделяют на три основные группы.

*Водоподпорные*, испытывающие на себе напор воды и удерживающие их перед собой (дамбы, плотины).

*Водопроводящие*, служащие для отвода или подвода воды от одних пунктов к другим (каналы, трубопроводы, гидротехнические тоннели).

*Регуляционные*, определяющие условия протекания водных потоков в руслах, ограничивающие наносы, размывы, регулирующие действие волн, течений (волнобои, льдозащитные стенки, берего- и дноукрепительные системы).

Кроме того различают специальные виды гидротехнических сооружений: здания гидроэлектростанций (ГЭС), судоходные шлюзы, лесопропускные, портовые, мелиоративные сооружения, сооружения санитарной техники, для рыболовства и др.

Группа различных гидротехнических сооружений, связанных общей водохозяйственной целью и местоположением, составляет узел гидротехнических сооружений или *гидроузел*.

Составными частями гидроузла являются:

- плотина железобетонная с водосливом;
- глухая земляная плотина;
- гидроэлектростанция;
- сооружения для прохода судов (шлюзы, судоподъемники, судоходные каналы);
- сооружения для пропуска рыбы (рыбоподъемники, ступенчатые рыбоходы);
- водохранилище с водозаборами и магистральными каналами для орошения земель и водоснабжения.

Наибольшее число сооружений бывает у речных гидроузлов. По возможности гидроузлы используют как мостовой переход, по нему проектируют железную или автомобильную дорогу.

Наиболее распространенным и ответственным видом гидротехнических сооружений является плотина, она предназначается преимущественно для создания водохранилищ. Запас воды в водохранилище используется для получения электроэнергии на ГЭС, увеличения судоходных глубин в реке, водоснабжения промышленных объектов и населенных пунктов, орошения земель и т. п.

По своим размерам и конструктивной сложности плотины могут быть от простейших (в виде небольших запруд) до крупных высотой в 300 м и более, а длиной – несколько километров.

В зависимости от строительных материалов различают земляные, каменно-набросные и бетонные плотины.

Бетонные плотины по конструктивным признакам подразделяют на гравитационные, арочные, арочно-гравитационные и контрфорсные.

Гравитационные плотины представляют собой массивные сооружения, сопротивляющиеся собственным весом напору воды. На равнинных реках строятся гравитационные плотины прямолинейного типа.

Арочные плотины имеют в плане криволинейную форму. Их сооружают на горных реках с прочными скальными грунтами.

Арочно-гравитационные плотины работают одновременно как арки и гравитационные плотины, т. е. они имеют криволинейную форму, большую высоту и массу.

Контрфорсные плотины состоят из ряда контрфорсов – стенок, устанавливаемых на некотором расстоянии друг от друга для сопротивления давлению воды.

Сложнейшим сооружением гидроузла является гидроэлектростанция (ГЭС). Если здание ГЭС размещают вблизи плотины, то такая ГЭС называется **приплотинной**. Если здание ГЭС, находясь в составе сооружений стационарного гидроузла, удаленного от плотины, а вода к турбогенераторам подводится по специальному каналу или тоннелю, то такая ГЭС называется **деривационной**.

Для строительства гидроэлектростанции в выбранном на реке месте необходимо создать напор, т. е. разность уровней воды перед плотиной и ниже ее. Плотина делит реку на две части – верхний и нижний бьефы. В верхнем бьефе образуется водохранилище, которое и создает напор  $H$ . Расход воды (количество кубических метров воды, протекающее через поперечное сечение реки в одну секунду) и напор вместе определяют мощность ГЭС [4, 5].

Напор на равнинных реках  $H = 25 - 30$  м, а на горных реках напор в 10 раз больше и составляет  $H = 200 - 300$  м.

Из воднотранспортных гидротехнических сооружений наибольший интерес представляют **каналы**. По назначению их можно разделить на судоходные, оросительные (ирригационные), энергетические (деривационные), водопроводные, обводнительные, осушительные и лесосплавные. Часто каналы выполняют несколько функций и их называют комплексными. Главным сооружением на судоходных каналах являются судоходные шлюзы. Они служат для подъема (или спуска) судов с одного водного горизонта на другой.

Гидротехнические сооружения очень сильно изменяют водный баланс в природе, в связи с чем происходят следующие изменения:

- нарушается режим речного стока, что ведет к обмелению внутренних морей и озер;
- нарушается естественный нерест рыбы;
- водохранилищем затопливаются сельскохозяйственные и лесные угодья;
- возникает необходимость строительства берегоукрепительных и защитных сооружений.

Поэтому при проектировании гидротехнических сооружений необходимо очень тщательно подходить к разработке технико-экономического обоснования проекта, чтобы не возникли такие современные проблемы, как обмеление Азовского моря, заболачивание устья реки Волги при впадении в Каспийское море, нарушение водного баланса из-за идеи переброски на юг части стока северных рек.

Тоже относится и к проектам по гидромелиорации.

Проектирование гидротехнических сооружений требует детального изучения рельефа местности.

Поэтому крупномасштабную 1:500, 1:1000 топографическую съемку для проектов ГЭС ведут с сечением рельефа  $h = 0,5 - 1$  м. При составлении продольного профиля больших рек требуется проложение нивелирных ходов I и II классов.

При проектировании плотин большое значение имеет выбор высоты нормального подпорного уровня (НПУ), отметка  $H_{НПУ}$  – это наивысший уровень верхнего бьефа. Именно  $H_{НПУ}$  определяет величину напора и расчетную мощность ГЭС, а также границы контура водохранилища.

Мощность ГЭС определяется по формуле:

$$N = 9.81 \cdot \eta \cdot Q \cdot H, \quad (5.1)$$

где  $Q$  – расход воды в  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$H$  – напор воды на турбинах ГЭС;

$\eta$  – коэффициент полезного действия.

Годовая выработка электроэнергии составляет:

$$\mathcal{E}_Г = \frac{9,81}{3600\text{сек}} \cdot W_Г \cdot \eta \cdot H, \quad (5.2)$$

где  $W_Г$  – годовой объем речного стока.

Из формул (5.1) и (5.2) видно, что мощность ГЭС зависит от значения напора воды  $H$ , величины расхода воды  $Q$  и объема речного стока  $W$ .

Расход воды и сток имеют значительные сезонные колебания, поэтому для регулирования работы турбин используется вода из водохранилища.

Реальный расход воды  $Q$ , проходящий через турбины состоит из транзитного расхода  $Q_{ТР}$  и слива воды  $Q_{СЛ}$  из водохранилища:

$$Q = Q_{ТР} + Q_{СЛ}. \quad (5.3)$$

При равномерном стоке за время  $t$  расход можно выразить

$$Q = \frac{(W_{ТР} + V_{СЛ})}{t}, \quad (5.4)$$

где  $V_{СЛ}$  – полезный объем водохранилища или так называемая сливная призма.

Объем сливной призмы можно определить по формуле

$$V_{СЛ} = V_{НПУ} - V_M,$$

где  $V_{НПУ}$  – полный объем водохранилища по высоте  $H_{НПУ}$ ;

$V_M$  – «мертвый» объем или объем водохранилища ниже высоты водослива (турбинных водоприемников).

Тогда мощность будет равна

$$Q = \frac{9.81 \cdot \eta (W_{ТР} + V_{СЛ}) \cdot H}{t} \quad (5.5)$$

Точность расчета напора и сливной призмы  $V_{СЛ}$  зависит в основном от топографо-геодезических данных, а точность расчета транзитного стока от гидрологических наблюдений. Высота верхних и нижних буферов для проекта ГЭС определяются от нивелирных знаков на водомерных постах.

Состав геодезических работ при изысканиях, проектировании и строительстве гидротехнических сооружений:

1) геодезические работы для составления топографических и гидрографических планов, продольных и поперечных профилей рек, для обслуживания инженерно-геологических, гидрологических и других специальных работ;

2) создание исходного и съемочного планово-высотного геодезического обоснования;

3) съемки, в том числе и русловые, в различных масштабах;

4) работы по выносу в натуру контура водохранилища;

5) определение объемов водохранилища;

6) разбивка оси плотины, основных осей других зданий и сооружений гидроузла;

7) разбивочные работы при выполнении земляных, бетонных работ, при монтаже металлоконструкций и гидроагрегатов и т. д.;

8) геодезические работы, связанные с установкой в проектное положение технологического оборудования и его выверка;

9) наблюдения за осадками и другими деформациями оснований и фундаментов инженерных объектов.

## 5.2. Составление продольного профиля реки

*Продольный профиль* реки представляет собой вертикальный разрез по линии наибольших глубин русла (фарватеру) или по его середине. Он используется при выборе места размещения ГЭС, определения напора ГЭС, отметок НПУ у каждой плотины (для каскада ГЭС). По продольному профилю рассчитываются характеристики кривой подпора и уточняют отметки  $H_{НПУ}$  водохранилища и каскада ГЭС.

При составлении профиля выполняют подготовительные, полевые и камеральные работы.

*Подготовительные работы* включают:

- подбор крупномасштабных планов на прибрежную полосу;
- составление схемы расположения пунктов планового и высотного обоснования;
- составление схем размещения водомерных постов, гидрометрических створов, станций и т. д.;
- сбор и изучение ранее составленных продольных профилей отдельных участков реки.

*В состав полевых работ* входят:

- рекогносцировка прибрежной полосы с целью выявления наличия и сохранения пунктов и реперов, установления условий для проложения теодолитных и нивелирных ходов, размещение промерных поперечных профилей, установки временных водомерных постов;
- разбивка по руслу реки поперечных профилей и точек однодневной связи (ТОС);
- проложение теодолитных и нивелирных (магистральных и привязочных) ходов;
- организация временных водомерных постов и наблюдений на них;
- выполнение промерных работ;
- составление эскизов искусственных сооружений.

К камеральным работам относятся: математическая обработка полевых измерений, включая промеры глубин, составление и вычерчивание продольного профиля.

Важнейшее значение при проектировании гидротехнических расчетов имеет уклон реки

$$i = h_{HK} / L_{HK}, \quad (5.6)$$

где  $h_{HK}$  – падение уровня воды на участке между точками  $H$  и  $K$ ;

$L_{HK}$  – расстояние между этими точками.

Точность профиля, а, следовательно, точность полевых высотных измерений, зависит от заданной точности уклона, и характеризуется формулой

$$m_{h_{HK}} \leq 0,073 \cdot i \cdot L_{HK} = 0,073 \cdot h_{HK}. \quad (5.7)$$

В этой формуле приближенные значения  $L_{HK}$  и  $h_{HK}$  берутся по карте.

Высотное обоснование для составления продольного профиля реки включает в себя проложение магистрального нивелирного хода (по одному из берегов) и привязочных ходов между репером магистрального хода и точкой в характерном перегибе уровня воды в реке, места устройства временного водного поста.

Магистральные и привязочные ходы прокладывают по одинаковой методике.

При производстве нивелирования реку делят на участки длиной 30 – 40 км. Нивелирование на отдельном участке можно выполнить в течение дня. На концах участков устраивают водомерные посты.

Нивелирование желательно вести в летнюю межень, т. к. в это время уровень наиболее низкий и устойчивый.

Уровни воды фиксируют примерно через 1 – 3 км на характерных точках реки. Характерные точки реки, в которых забивают колья для определения уровня воды, называют *точками однодневной связи* (ТОС). При устойчивом уровне (колебание 1 см в течение дня) колья можно забивать вровень с поверхностью воды, используя катер или моторную лодку. В этом случае нивелирование должно быть выполнено в течение 2 – 3 дней, чтобы была уверенность, что высота кольев за это время не изменится.

Колья устанавливают не далее 1 м от уреза воды, для контроля в каждой характерной точке дополнительно забивают 1 – 2 кола на расстоянии друг от друга 1 – 2 метра.

Установленные урезные колья рабочим нивелированием связывают с реперами магистрального нивелирного хода. Постоянные железобетонные реперы в магистральном ходе устанавливают в незатопляемых местах через 5 км по возможности ближе к характерным точкам реки. Временные реперы устанавливают через 2 км.

При широкой пойме магистральный ход находится на значительном расстоянии от реки, поэтому вблизи реки прокладывают дополнительный ход, опирающийся на реперы основного хода, в этом случае отметки передают от точек дополнительного хода на урезные кольца.

Рабочие или примычные хода прокладывают как висячие в прямом и обратном направлении, их точность обычно в два раза ниже точности магистральных ходов (часто нивелирование IV класса).

Средняя квадратическая погрешность  $m_h$  в определении падения водной поверхности между двумя точками  $ТОС_1$  и  $ТОС_2$

$$m_h = \sqrt{m_L^2 + m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2 + 2m_\phi^2}, \quad (5.8)$$

где  $m_L$  – средняя квадратическая погрешность в магистральном ходе;

$m_{l_1}, m_{l_2}$  – средние квадратические погрешности рабочих нивелирных ходов  $l_1$  и  $l_2$ ;

$m_\phi$  – средняя квадратическая погрешность фиксации уровней воды (для малых уклонов  $m_\phi = 5$  мм, обычно принимают  $m_\phi = 10$  мм).

Значения средних квадратических погрешностей в рабочих нивелирных ходах (одного класса нивелирования) получают по формуле:

$$m_{l_i} = \eta \sqrt{l_i}, \quad (5.9)$$

где  $\eta$  – предельная средняя квадратическая погрешность превышения на 1 км хода для соответствующего класса нивелирования (I класс – 0,8 мм; II класс – 2 мм; III класс – 5 мм; IV класс – 10 мм).

После подстановки выражения (5.9) в (5.8) получим следующую формулу:

$$m_h = \sqrt{\eta_1^2 \cdot L + \eta_2^2 \cdot (l_1 + l_2) + 2m_\phi^2}, \quad (5.10)$$

если длины рабочих ходов равны  $l_1 = l_2 = l$ , то

$$m_h = \sqrt{\eta_1 \cdot L + 2\eta_2 \cdot l + 2m_\phi^2}.$$

Расчетная величина погрешности падения определяется из выражения:

$$m_{h_p} = 0,073h,$$

где  $h$  – падение уровней воды между соседними точками.

Величина средней квадратической погрешности в определении падения не должна превышать расчетной, т. е.  $m_h \leq m_{h_p}$ .

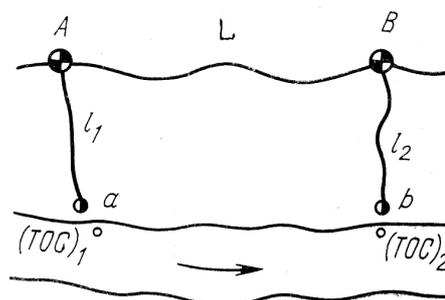


Рис. 5.1. Схема ходов при нивелировании уровней воды

Одновременно с нивелированием кольев *ТОС* выполняют промеры глубин по фарватеру, определение высот берегов и съемка ситуации по берегу реки. На водомерных постах в период составления продольного профиля ведут систематические наблюдения за уровнем воды для определения на каждый день приведенного уровня [4].

На продольном профиле приводят отметки дна, максимальные уровни воды в паводок (уровень ВИГ), отметки берегов, рабочего и приведенного уровней.

При составлении продольного профиля необходимо все наблюдения привести к одному моменту времени. Такой уровень называют *приведенным или срезочным*.

Сначала необходимо по отметкам водомерных постов приведенных и рабочих уровней вычислить поправки  $v_1$  и  $v_2$ :

$$v_1 = H'_A - H_A, \quad v_2 = H'_B - H_B, \quad (5.11)$$

где  $H'$  – приведенные отметки,

$H$  – рабочие отметки из нивелирования.

Затем поправки за неравномерность изменений уровня воды в реке получают пропорционально расстояниям или изменениям рабочих уровней:

– по расстоянию:

$$v_{ТОС} = v_1 + \frac{v_2 - v_1}{S} \cdot S_A, \quad (5.12)$$

– по отметкам рабочего уровня:

$$v_{ТОС} = v_1 + \frac{v_2 - v_1}{H_2 - H_1} \cdot (H_{ТОС} - H_1). \quad (5.13)$$

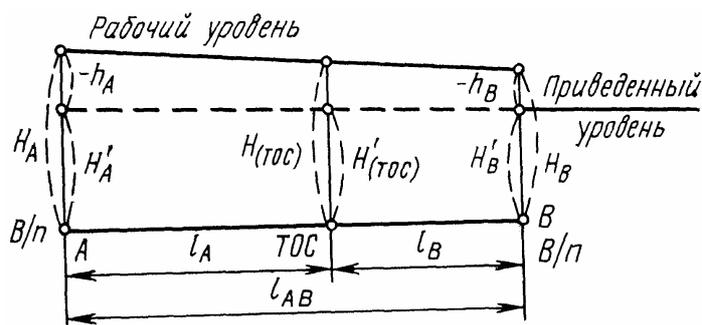


Рис. 5.2. Определение отметок «приведенного» уровня

Отметки *ТОС* приведенного уровня вычисляют, прибавляя к рабочей отметке соответствующую поправку:

$$H'_{ТОС} = H_{ТОС} + h_{ТОС}. \quad (5.14)$$

Падение вычисляют по отметкам приведенных уровней падения:

$$h = H'_{i+1} - H'_i. \quad (5.15)$$

Уклон определяют по известной формуле:  $i_i = h_i / S_i$ .

Масштаб продольного профиля зависит от его назначения, длины реки, уклонов. Обычно выбирают горизонтальный масштаб 1:25000 – 1:100000, а вертикальный – 1:100 [5, 32].

На продольном профиле дополнительно отмечают высоты характерных уровней реки, дна, берегов, поверхностные скорости падения на 1 км уровня воды, высоты нулей водомерных постов и реперов, а также расположение сооружений, населенных пунктов и другую ситуацию вдоль реки.

Для получения сведений о возможных затоплениях при образовании водохранилищ наносят высоты самых низких точек населенных пунктов и сооружений.

### 5.3. Геодезические работы на водохранилищах

*Водохранилище* – это искусственный водоем для сбора, хранения и регулирования стока.

В состав инженерно-геодезических работ на водохранилищах входят:

- 1) сгущение плановой и высотной основы на всей площади и вблизи контура водохранилища;
- 2) топографическая съемка и, в необходимых случаях, аэрофотосъемка на территории чаши водохранилища в масштабе 1:10000 с высотой сечения  $h_c = 2$  м в равнинной и населенной местности,  $h_c = 10$  м – в горной местности;
- 3) топографическая съемка в масштабе 1:1000 – 1:500 с высотой сечения  $h_c = 0,5 - 1$  м в местах проектируемых защитных дамб, дренажных систем, насосных станций, паромных переправ, причалов, населенных пунктов;
- 4) вынос в натуру контура водохранилища;
- 5) определение площади затопления и объема водохранилища;
- 6) инженерно-геодезическое обеспечение геологических, гидрометеорологических и других изысканий и специальных геодезических наблюдений.

Исходной плановой и высотной геодезической основой для съемки водохранилища и определения на местности его контура служат пункты триангуляции и полигонометрии 1 – 4 классов и реперы государственной нивелирной сети I – IV классов. Эти сети сгущают путем создания планово-высотного съемочного обоснования.

Рассмотрим *требования* к точности координат  $X$  и  $Y$  пунктов и высот  $H$  реперов съемочного геодезического обоснования с которых непосредственно производится топографическая съемка контуров и рельефа, а также определение местности контура водохранилища.

Средние погрешности  $v_x$  и  $v_y$  координат пунктов съемочной сети и опознаков, относительно пунктов высшего порядка, не должны превышать в открытых районах 0,1 мм, в лесных – 0,15 мм в масштабе плана.

Связь между средней и средней квадратической погрешностями нам известна, она устанавливается формулой:

$$m = 1,25v .$$

Соответствующие погрешности  $m_x$  и  $m_y$  координат  $x$  и  $y$  пункта на местности:

$$\overline{m_x} = \overline{m_y} \leq 1,25v \cdot M,$$

где  $M$  – знаменатель масштаба плана.

Средние погрешности  $v_H$  высот точек съемочного геодезического обоснования относительно отметок реперов старших ступеней не должны превышать в равнинных районах –  $1/10 h_c$ , в горных и предгорных –  $1/6 h_c$  на плане данного масштаба, т. е.:

$m_H \leq 0,125h_c$  – для равнинных районов;  $m_H \leq 0,208h_c$  – в горных районах.

#### 5.4. Кривая подпора

При возведении на реке плотины бытовой уровень воды поднимается до отметки нормального подпорного уровня (НПУ), образуя в верхнем бьефе водохранилище. Длина водохранилища от плотины до хвостовой части может быть вычислена по формуле:

$$L = \frac{K \cdot H}{j}, \quad (5.16)$$

где  $H$  – высота напора ГЭС;

$j$  – средний продольный уклон;

$K$  – коэффициент принимаемый для плотины с затворами равным 1,5 – 2,2.

Например, для равнинной реки  $H = 28$  м,  $K = 1,5$ ,  $j = 0,000015$  длина водохранилища будет равна  $L = 280$  км.

Вода в реке, перегороженной плотиной, имеет неравномерное движение, при этом по мере приближения к плотине глубины и площади живого сечения возрастают, а скорость потока убывает. Вследствие этого поверхность водного потока в продольном профиле имеет вид выпуклой кривой называемой *кривой подпора*.

Кривая подпора – это вертикальный разрез свободной поверхности воды водохранилища по его оси.

Уровни смежных поперечных профилей водохранилища будут отличаться между собой на величину  $\Delta h$ .

При расстоянии между поперечными профилями равном  $l$

$$\Delta h = l \cdot i, \quad (5.17)$$

где  $i$  – уклон потока водохранилища.

Уклон потока  $i$  можно определить из формулы Шези:

$$V = C \cdot \sqrt{R \cdot i} \Rightarrow i = V^2 / C^2 \cdot R, \quad (5.18)$$

где  $V$  – скорость;

$C$  – скоростной коэффициент;

$R$  – гидравлический радиус.

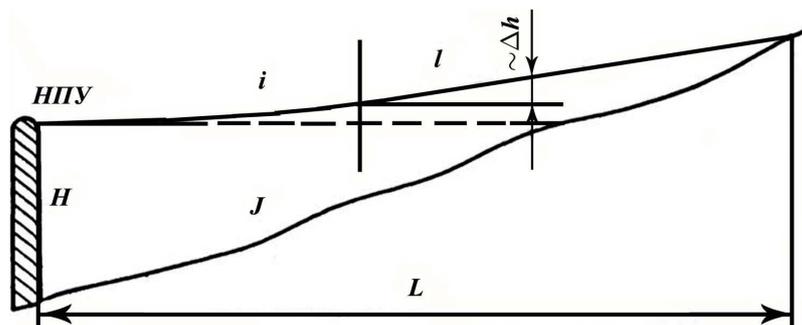


Рис. 5.3. Кривая подпора

Гидравлический радиус можно определить по формуле:

$$R = w / P, \quad (5.14)$$

где  $P$  – смоченный периметр.

Запишем скорость как:

$$V^2 = Q^2 / w^2, \quad (5.19)$$

где  $Q$  – расход воды.

Когда подставим выражения (5.13) – (5.15) в (5.12) получим:

$$\Delta h = \frac{l \cdot Q^2 \cdot P}{C^2 \cdot w^3}. \quad (5.20)$$

Например, при  $l = 20$  км,  $Q = 8000$  м<sup>3</sup>/с,  $C = 50$ ,  $w = 15000$  м<sup>2</sup>,  $P = 5$  км получим  $\Delta h = 0,76$  м [4].

## 5.5. Теория расчета объема водохранилища

Одним из важнейших элементов водохозяйственных расчетов является определение площади затопления и объема водохранилища.

Объем водохранилища  $V$  определяют приближенным и уточненным способами.

*Приближенный* способ определения объема водохранилища заключается в следующем.

Определяются элементарные объемы  $dV$  воды, содержащиеся в слоях, заключенных между плоскостями двух соседних горизонталей топографического плана (объемы призм) по формуле  $dV = (\frac{F_1 + F_2}{2}) \cdot h_C$  или по несколько уточненной формуле, учитываемой сложность контура водохранилища на разных уровнях:

$$dV = \frac{F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 \cdot F_2}}{3} \cdot h_C, \quad (5.21)$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – площади затопления двух соседних горизонталей.

Площади обычно определяют с помощью полярного планиметра.

В поймах, а также на затопленных площадях с микрорельефом встречаются участки, которые приближенно можно принять за выпуклые или вогнутые шаровые сегменты.

Объем таких фигур  $dV_{III}$  определяется по приближенной формуле:

$$dV_{III} = 0,5 \cdot h_c \cdot F, \quad (5.22)$$

где  $F$  – площадь, ограниченная замкнутой горизонталью.

Полный объем  $V$  водохранилища находят последовательным суммированием объемов  $dV$  призм по формуле:

$$V = \sum_1^n dV. \quad (5.23)$$

На практике поступают так: планиметром определяют площади каждой горизонтали предположительного водохранилища, затем определяют  $dV$  и  $V$ .

В *уточненном* способе в результате суммирования площадей получают так называемую топографическую характеристику  $F = f_1(H)$ , выражающую зависимость площадей затопления от отметок  $H$  уровней воды в водохранилище, и объемную характеристику  $V = f_2(F, H)$  – зависимость объема от площадей затопления и отметок  $H$  уровней воды.

Топографические и объемные характеристики представляют в виде графиков, где по оси  $X$  откладывают площади, а по оси  $Y$  – отметки уровня воды. С помощью таких графиков решают задачи определения режима наполнения и опорожнения водохранилища.

В основу уточненного способа положена задача нахождения эмпирической функции  $F = f(H)$ , которая с необходимой точностью выражает зависимость площадей заполнения от отметок уровня воды.

Для этого расчлняют общий объем не призмы с бесконечно малой высотой  $dV$  и получают  $dV = F \cdot dH$ , где  $F = f(H)$ .

Тогда полный объем  $V$  водохранилища определяют интегралом

$$V = \int_0^{НПУ} f(H) \cdot dH. \quad (5.24)$$

Решение задачи выполняют в два этапа:

- 1) подбор эмпирической формулы;
- 2) определение наилучших параметров эмпирической формулы.

В качестве эмпирических формул рекомендуется применять квадратную параболу:

$$F_{кв} = A + B \cdot H + C \cdot H^2,$$

или кубическую параболу:

$$F_{кв} = A + B \cdot H + C \cdot H^2 + D \cdot H^3.$$

Наиболее надежные значения неизвестных параметров  $A, B, C, D$  рекомендуется определять по способу наименьших квадратов (из решения нормальных уравнений).

Пользуясь ими, вычисляют объем водохранилища для квадратной параболы:

$$V_n = A \cdot H_n + \frac{1}{2} \cdot B \cdot H_n^2 + \frac{1}{3} \cdot C \cdot H_n^3, \quad (5.25)$$

для кубической параболы:

$$V_n = A \cdot H_n + \frac{1}{2} \cdot B \cdot H_n^2 + \frac{1}{3} \cdot C \cdot H_n^3 + \frac{1}{4} \cdot D \cdot H_n^4, \quad (5.26)$$

где  $n$  – номер горизонтали, начиная с самой нижней в пределах водохранилища [4, 32].

### 5.6. Вынос в натуру проектного контура водохранилища

Вынос в натуру проектного контура водохранилища производят для определения на местности границы затопления различных земель: населенных пунктов, сельскохозяйственных и лесных угодий. Эта работа состоит в обозначении на местности точек, высоты которых соответствуют отметкам  $H_{ПР} = H_{НПУ}$  проектной горизонтали контура водохранилища. Именно, вынесенный в натуру контур водохранилища будет служить юридической границей для изъятия земель сельскохозяйственных и лесных угодий.

Проектную горизонталь (или горизонталь затопления) определяют проложением ходов технического нивелирования. Нивелирный ход начинают от ближайших к контуру водохранилища реперов высотной основы и прокладывают его в район расположения горизонтали затопления. Определив по ходу точку  $I$  (см. рис. 1.4) с отметкой близкой (в пределах 1 м) к отметке проектной горизонтали, закрепляют ее и переходят на станцию  $I_1$ . На этой станции определяют горизонт прибора  $H_{ГП}$  по рейке, стоящей на точке  $I$ . Вычисляют отсчет  $b$  по рейке (она находится на проектной горизонтали),  $b = H_{ГП} - H_{ПР}$ .

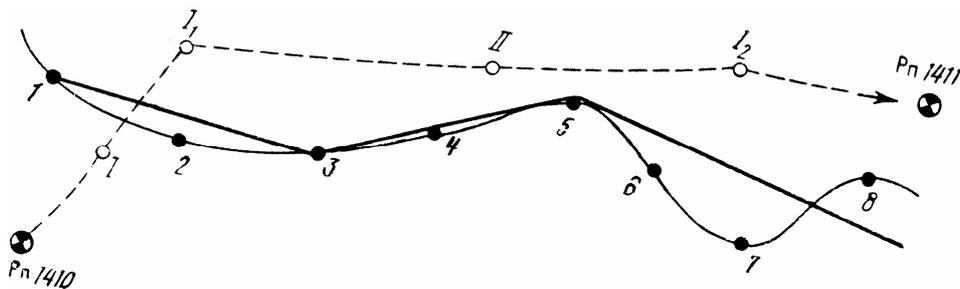


Рис. 5.4. Схема выноса в натуру проектной горизонтали контура водохранилища

Далее, вблизи определяемой точки  $I$  переставляют рейку по склону вверх и вниз до тех пор, пока отсчет (по средней нити нивелира) по рейке не будет равен вычисленному отсчету  $b$  (в пределах 3 – 5 см). Таким образом, со станции  $I$  определяют положение нескольких точек (1, 2, 3 и 4), лежащих на проектной горизонтали и отстоящих друг от друга примерно на 30 – 40 м. Полученные точки закрепляют кольями.

Затем, двигаясь по ходу, определяют отметку точки  $II$ , близкую к проектной, и на станции  $I_2$  вновь определяют горизонт прибора, вычисляют новый отсчет по рейке  $b$  и находят положение проектной горизонтали в точках 5, 6, 7 и 8. Аналогично находят положение точек проектной горизонтали на участках между реперами исходного обоснования. Предельная длина рабочего нивелирного хода допускается до 15 км на застроенной территории и до 50 км в залесенных районах. Однако привязку к реперам исходной основы желательно делать чаще (через 3 – 5 км), чтобы при грубых промахах не переделывать большие участки работ.

На крутых склонах применяют метод тригонометрического нивелирования, прокладывая с помощью теодолита высотные тахеометрические ходы. В этом случае отыскивают положение точек, превышение  $h$  которых над тахеометрической станцией с отметкой  $H_{Т.С.}$  равно:

$$h = H_{ПР} - H_{Т.С.}$$

Установив рейку примерно на отметке проектной горизонтали, измеряют угол наклона и расстояние. Вычислив превышение, сравнивают его с расчетным. В случае расхождения определяют, куда и на какую величину следует переместить рейку по склону. В залесенных труднодоступных районах применяют метод барометрического нивелирования.

Затем отбиваемую на местности линию спрямляют на участках в 200 – 300 м, допуская стрелы прогиба до 10 м в равнинной местности, а в горной – до 30 м. В характерных местах выносимую линию закрепляют более основательно деревянными столбами, бетонными монолитами или затесами на деревьях в залесенной местности. Между смежными знаками должна быть взаимная видимость. В случае применения метода геометрического нивелирования по постоянно закрепленным точкам прокладывают теодолитный ход и определяют координаты этих точек. Теодолитный ход привязывают к пунктам исходного обоснования и не более чем через 10 км на застроенной территории и через 50 км в малообжитых районах. При наличии на участке контура водохранилища крупномасштабных топографических планов или фотопланов с горизонталями граница затопления может быть вынесена в натуру с достаточной точностью промерами от четких контуров [6].

Точность выноса в натуру проектной отметки контура водохранилища зависит от хозяйственной ценности территории и рельефа местности. Характеризуется она величинами погрешностей от 5 см – на застроенной равнинной местности и до 60 см – в залесенной или всхолмленной.

Например, на территории населенных пунктов и промышленных объектов контур водохранилища устанавливается с погрешностью по высоте не более 10 см. На территории тундры, пустынь, болот, на незалесенных участках с крутыми склонами горизонталь затопления в натуре не фиксируется.

В пределах контура водохранилища выполняются крупномасштабные инвентаризационные съемки населенных пунктов и предприятий для их переселения, а также съемки зданий и сооружений вблизи водохранилища для проектирования средств инженерной защиты.

В наиболее низких местах чаши водохранилища производят разбивку трасс судовых ходов, установку створных знаков и ведут изыскания для портовых сооружений.

Одновременно с отбивкой контура водохранилища ведут гидрологические изыскания по выявлению кривой подтопления местности грунтовыми водами.

## 5.7. Геодезическое обоснование для гидротехнических сооружений

При строительстве гидроузлов создают специальную разбивочную сеть. Эта сеть служит основой для выполнения всех строительных разбивок и обеспечения монтажных работ, а также для наблюдений за деформацией берегов и сооружений гидроузла.

**Плановую разбивочную основу** на гидроузлах создают в виде гидротехнической триангуляции, полигонометрии и линейно – угловых сетей II, III, и IV разрядов.

Таблица 5.1

Технические характеристики гидротехнической триангуляции

Разряд	Длина стороны S, км	$m_{\beta_m}$ , "	доп $w_m$ , "	$m_{b/b}$ базисной стороны	$m_s / S$ определяемой стороны
II	0,5 – 1,5	1,0	3,5	1/400000	1/200000
III	0,3 – 1,0	1,5	5,0	1/300000	1/150000
IV	0,2 – 0,8	2,0	7,0	1/150000	1/70000

где  $m_{\beta_m}$ , " – средняя квадратическая погрешность угла из  $m$  приемов;

доп  $w_m = [\beta_m]^n - 180^\circ(n - 2)$  – допустимая угловая невязка в замкнутой фигуре;

$n$  – число углов в фигуре.

Погрешности взаимного положения пунктов плановой разбивочной сети не должны превышать в среднем 5 – 10 мм.

Разбивочная сеть строится как локальная и вычисляется в строительной системе координат (за ось абсцисс принимают разбивочную ось плотины, а начало системы координат – один из пунктов закрепленной оси).

Необходимый разряд выбирают в зависимости от типа объекта, занимаемой площади, размеров основных сооружений.

Для передачи координат и увязки разбивочных и съемочных работ разбивочную сеть привязывают к пунктам изыскательской сети.

Пункты разбивочной сети закрепляют трубчатыми знаками высотой 1,2 м с приспособлениями для быстрого центрирования.

Проект сети разрабатывается с учетом категории объекта, размеров основных сооружений и технических требований к строительству гидроузла.

Сеть создается в две или три ступени. Пункт первой ступени (основная сеть) закрепляют на устойчивых грунтах вне зоны производства строительных работ, одна из сторон сети совпадает с продольной осью плотины.

В качестве первой ступени применяют триангуляцию или линейно-угловые построения.

Разбивочная сеть редуцируется не на поверхность референц-эллипсоида, а на поверхность относимости с высотой:

$$H_{отн} = (H_1 + H_2) / 2,$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – высота основания и гребня плотины.

Редукционную поправку в измеренные длины линий  $S$  при переходе на поверхность относимости вычисляют по приближенной формуле:

$$\Delta S = - \frac{(H_{изм} - H_{отн}) \cdot S}{R_m}, \quad (5.27)$$

где  $H_{изм}$  – средняя высота измеренной линии;

$R_m$  – средний радиус Земли равный 6 370 км.

Для детальной разбивки отдельных сооружений гидроузла основная сеть сгущается сетью второй ступени.

Пункты второй ступени размещают как можно ближе к сооружению и так, чтобы пункты сети закрепляли поперечные оси или параллельные к ним линии. Дальнейшее сгущение (третья ступень), например, в районе котлована, производят проложением полигонометрических ходов по точкам, закрепляющим различные оси конструктивных элементов плотины, шлюза, здания ГЭС и др.

Третья ступень необходима для детальной разбивки отдельных сооружений гидроузла, точность разбивки осей обычно 3 – 5 мм.

Разбивочная сеть 2 и 3 ступеней периодически контролируется с пунктов основной сети для выявления возможных смещений пунктов.

Строительство гидроузла ведется в течение многих лет с частой сменной строительной обстановки.

Основная сеть используется в течение строительства для восстановления главной оси гидроузла и построения детальных сетей, поэтому она должна быть неизменяемой в пределах точности разбивки основных сетей.

Также основная сеть может быть использована для наблюдения за плановым смещением отдельных сооружений гидроузла [4, 6].

Детальные сети разбиваются с точностью разбивки соответствующих сетей и характеризуются средней квадратической погрешностью взаимного положения 3 – 5 мм. Сети строят в виде полигонометрии, микротриангуляции, микротрилатерации.

Пример плановой разбивочной сети гидроузла (рис. 5.5):

1 ступень – пункты далеко на берегу (триангуляция);

2 ступень – часть пунктов на берегу (микротриангуляция) и часть на перемычке котлована первой очереди строительства;

3 ступень – дальнейшее сгущение сети производят продолжением полигонометрических ходов по точкам, закрепляющим оси конструктивных элементов (точность, как и у второй степени).

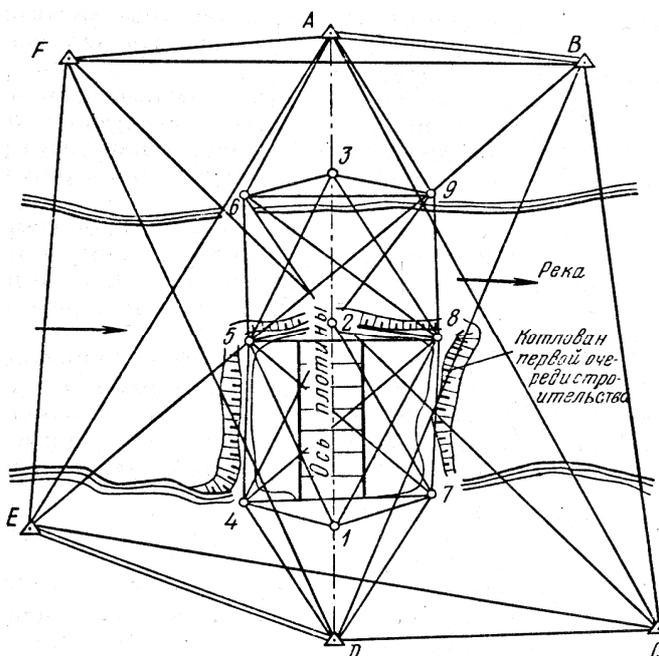


Рис. 5.5. Разбивочная триангуляционная сеть гидроузла

### Высотное обоснование гидроузла

Высотные сети создаются для высотного обеспечения строительномонтажных работ и для наблюдений за осадками и деформациями.

Для бетонных плотин – сети нивелирования II класса, а в отдельных случаях и I класса, дальнейшее сгущение ходами III и IV классов, техническим нивелированием. Нивелирные сети III и IV класса могут служить исходной ступенью, если не предполагается высокоточное наблюдение за осадками. Схема высотной сети разрабатывается исходя из конкретной компоновки и конструктивных особенностей гидроузла.

Пункты размещают равномерно по строительной площадке гидроузла. Располагают их на расстоянии 300 – 500 м, закрепляют грунтовыми или скальными реперами. По точности сети должны обеспечивать высотную разбивку бетонных сооружений со средней квадратической погрешностью не более 10 мм.

Сети разбивают обычно в виде двух ступеней или в три ступени. Первая ступень связывает исходные кусты реперов, расположенные на левом и правом берегах в устойчивых грунтах. Эти ходы прокладывают в прямом и обратном направлениях при двух горизонтах инструмента.

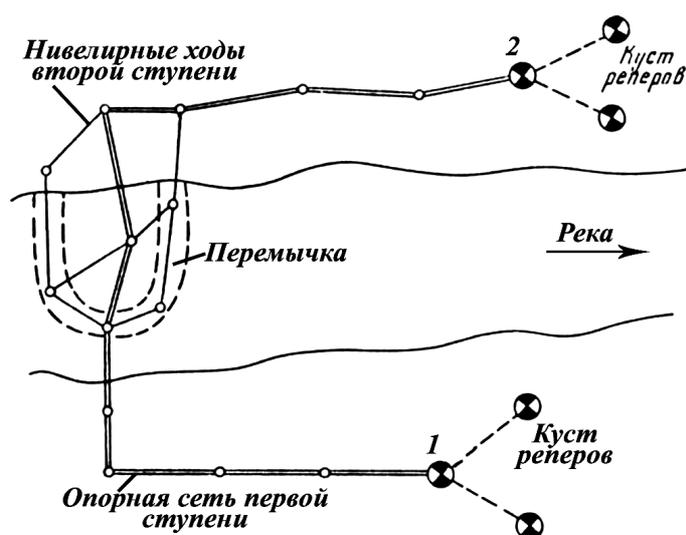


Рис. 5.6. Высотная опорная сеть для строительства гидроузла

Вторая ступень охватывает все осадочные марки, расположенные на сооружениях и опирается на пункты первой ступени. Эти ходы прокладывают в прямом и обратном направлениях при одном горизонте инструмента.

Если на строительной площадке не предусматривается наблюдение за деформациями оснований и сооружений, то достаточно нивелирования III и IV классов.

Если предполагается наблюдение за деформациями, то используется нивелирование II и III классов.

Опорная сеть первой ступени строится в виде одиночного хода или системы ходов, опирающихся на реперы, расположенные на разных берегах. Вторая ступень, равномерно охватывает все объекты гидроузла, образуя замкнутые полигоны.

Высотная сеть закрепляется грунтовыми и скальными реперами.

Высотная разбивочная сеть уравнивается как свободная. Для вычисления отметок в Балтийской системе высот один из исходных реперов привязывают к ближайшему реперу сети, созданной в период изысканий.

Для строительства каналов используют обоснование созданное во время проведения изысканий, т. е. нового высотного обоснования не создают.

Плановое обоснование – хода полигонометрии вдоль трассы канала (полигонометрия 4 класса с предельной длиной ходов до 30 км или полигонометрия 1 разряда с длиной ходов до 15 км).

Высотное обоснование создается геометрическим нивелированием соответствующего класса.

Выбор класса зависит от расстояния между исходными реперами и от уклона дна канала. Обычно это нивелирный ход III класса, с привязкой через 75 км к реперам более высокого класса. Опираясь на этот ход, развивают полигоны или ходы нивелирования IV класса длиной до 25 км.

На трассе реперы устанавливают через 2 – 3 км [4, 6].

### 5.8. Геодезическое обеспечение разбивочных и строительных работ на гидроузле

Каждое гидротехническое сооружение, входящее в гидроузел, имеет свою главную ось, относительно которой komponуются все его формы и размеры. Технической основой проекта гидроузла служит совокупность увязок между собой главных осей основных (наиболее важных) сооружений.

К главным осям относят продольные оси бетонных и земляных плотин, продольную ось здания ГЭС, оси междупутья железнодорожных и автомобильных мостов (расположенных на плотине), оси камер судоходных шлюзов, деривационных каналов и тоннелей.

Возведение гидротехнического сооружения начинают с фиксации на местности главной оси, от которой во время всего строительства выносят основные и вспомогательные строительные и монтажные оси и откладывают проектные размеры сооружения и его частей.

Вынос осей осуществляется в следующей последовательности:

- 1) сначала выносят и закрепляют главную ось сооружения от пунктов разбивочной сети;
- 2) затем относительно главной оси определяют в натуре местоположение остальных осей и элементов сооружения.

*Главная ось плотины* является исходной осью для всех разбивочных работ при строительстве гидроузла. Ее выносят в натуру до начала строительства по проектным координатам от ближайших точек геодезического обоснования, созданного во время изысканий. Точность выноса составляет от 0,4 до 2,0 м.

Вынесенные в натуру точки закрепления главной оси плотины включают в разбивочную геодезическую сеть, тем самым определяют их точные координаты. Все дальнейшие разбивки выполняют на основе аналитических расчетов по данным проекта и координатам пунктов разбивочных сетей (т. е. погрешности первоначального выноса исходной оси не оказывают влияния на взаимное положение зданий и сооружений гидроузла).

Выполнение последующих разбивочных работ зависит от очередности строительства и этапов выполнения строительного-монтажных работ по

каждому из видов сооружений. Техника разбивочных работ и требования к точности могут различаться в зависимости от конструктивных особенностей и способов возведения отдельных сооружений.

Однако можно установить *общую последовательность геодезических разбивок*, она такова:

- 1) разбивки для земляных (скальных) работ;
- 2) разбивки для обслуживания бетонных работ;
- 3) геодезическое обеспечение монтажа металлоконструкций и технологического оборудования.

При строительстве гидроузла выполняют следующие *земляные работы*: отсыпку перемычек, рытье котлована, подготовку основания плотины, отсыпку плотины из грунтовых материалов.

При производстве земляных работ производят комплекс геодезических работ, включающий в себя:

- вынос в натуре осей, закрепление их вне зоны земляных работ и восстановление утраченных знаков;
- периодические и срочные разбивочные нивелирные работы в котлованах по осям и поперечным профилям через 5, 10, 20 м во всех выемках земли и по отсыпкам сооружений;
- разбивку поверхностей земляных насыпей (дамб, плотин, пирсов) и выемок;
- периодические съемки и подсчет выполненных объемов земляных работ;
- разбивочные, нивелирные и промерные работы при перекрытии русла реки с составлением графической документации и др.

Основания сооружений гидроузла возводят в глубоком котловане, контур которого ограждают перемычками, их характерные точки (начальные, конечные, углы поворота) задают координатами и определяют в натуре от пунктов геодезического обоснования полярным способом на суходоле и прямой засечкой на воде (в последнем случае закрепляют поплавками с якорем).

Отсыпку перемычек, как правило, производят земляными снарядами, забирая грунт из будущего котлована. При этом выполняют промеры глубины котлована и определяют объем вынутого грунта.

После намыва перемычек на них выносят точки, закрепляющие положение основных разбивочных осей I – I, III – III (см. рис. 1.7). От них разбивают и закрепляют продольные и поперечные оси ( $A - A'$ ,  $B - B'$ ) – оси котлована. На знаки закрепления осей передают отметки. После осушения котлована оси переносят на его дно и производят исполнительную съемку.

При отсыпке грунтовой плотины геодезическое обеспечение работ состоит в выносе в натуру контура отсыпки. Здесь от вынесенной в натуру оси плотины линейными промерами по перпендикуляру к оси определяют контуры низовых и верховых граней плотины.

Детальную разбивку при возведении бетонных сооружений всегда выполняют от главной и основных осей сооружения.

Последовательность разбивочных работ при бетонировании плотин и зданий ГЭС состоит примерно в следующем. После разработки очередного участка дна котлована под основание сооружения до проектируемых отметок восстанавливают ранее вынесенную и закрепленную ось сооружения и поперечные оси границ секций. Затем от этих осей разбивают оси блоков для бетонирования нижнего яруса, границы опалубки и оси закладных частей блока.

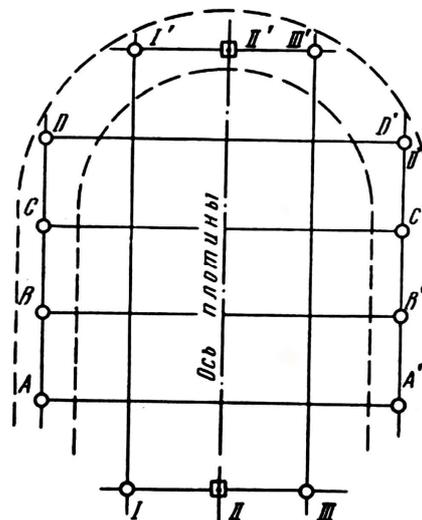


Рис. 5.7. Схема разбивки и закрепления осей плотины

После установки опалубки и закладных частей производят исполнительную съемку фактического положения опалубки и составляют исполнительную схему.

После бетонирования первого яруса, на нем закрепляют главную разбивочную и основные монтажные оси, а на блоках – оси блоков и закладных частей, оси швов границ и др. Также в бетоне первого яруса закладывают осадочные марки для последующих наблюдений за деформациями в процессе строительства. Перед заполнением котлована бетоном все знаки, закрепляющие оси, переносят на более высокие незатопляемые горизонты (ярусы).

Например, тело бетонной плотины по длине конструктивно делят на секции, разделенные осадочными швами. Каждую секцию делят на блоки, по которым в опалубке ведется бетонирование. Бетон в блок укладывают по ярусам высотой 3 м.

Задача геодезических измерений заключается в разбивке границ секций и отдельных блоков, установке опалубки в проектное положение.

Границы секций разбивают створными засечками от продольной и поперечной осей плотины со средней квадратической погрешностью 5 – 10 мм. Для контроля измеряют длины сторон между закрепленными угловыми знаками секции. Разбивку блоков выполняют от знаков крепления секции

(от границы секции) способом прямоугольных координат по расстояниям, взятым с разбивочного чертежа. Закрепляют в натуре знаками не сами границы, а их положение (на расстоянии 1 м от границы блока).

После установки опалубки, ее положение контролируют промерами от этих знаков. При бетонировании второго и выше расположенных ярусов разбивка выполняется таким же образом.

Для определения проектной высоты бетонирования на опалубку блока или близлежащие конструкции выносятся отметки.

Имеют свои особенности разбивка блоков арочной плотины, а также разбивочные работы при строительстве каналов и шлюзов [6].

### 5.9. Монтаж металлоконструкций и оборудования

Для обеспечения монтажных работ выполняют геодезические измерения, включающие вынос в натуру и закрепление монтажных осей и отметок, разбивку мест установки закладных деталей, контроль установки деталей и механизмов в проектное положение.

Исходными документами для разбивок монтажных осей являются рабочие и сборочные чертежи, на которых показаны: схемы расположения оборудования, монтажные оси с привязкой их к исходным точкам и линиям, а также требования к точности изготовления и установки конструкций в плане и по высоте.

Разбивку монтажных осей выполняют способами створной или створно-линейной засечек. Разбивку мест установки закладных частей металлоконструкций и механизмов (арматурных каркасов, затворов, подкрановых консолей, эстакад) выполняют от закрепленных монтажных и разбивочных сетей, рабочих реперов и фиксированных на конструкциях отметок.

Предварительная установка производится приближенно, совмещая заводские риски на конструкциях с осями. Затем производят исполнительную съемку, по результатам которой определяют величины отклонений от проектного положения конструкций и производят их окончательную установку. Для определения вертикальности металлоконструкций используют тяжелые отвесы, зенит-приборы, боковое нивелирование. Точность установки составляет 1 – 2 мм.

Наиболее ответственными являются геодезические работы при монтаже гидроагрегатов. Гидроагрегаты поставляют на объект в виде отдельных частей, здесь их собирают и испытывают. Гидроагрегат состоит из гидротурбины и соединенного с ней гидрогенератора. Гидроагрегат поме-

щают в шахту, куда из подводящей камеры поступает вода. Двигатель приводит в действие (во вращение) лопасти и рабочее колесо турбины. Вращение с помощью вала передается ротору гидрогенератора, где и вырабатывается электроэнергия.

После бетонирования фундамента выносят точку, расположенную на вертикальной оси гидроагрегата. Одновременно выносят поперечные и продольные оси агрегата. Поперечная ось совпадает в плане с осью отсасывающей трубы. Именно местоположение вертикальной оси гидроагрегата является исходной для последующих монтажных работ. Контроль монтажа шахты осуществляется с помощью тяжелого отвеса или оптического центрира, а также измеряют радиальные расстояния до облицовки шахты (определяют ее фактическую форму).

В шахте монтируют различные детали:

- опорное фундаментное кольцо;
- статоры турбины и генератора.

Нормальная эксплуатация турбины зависит от правильной установки в проектное положение опорного фундаментного кольца и статора турбины. Фундаментное кольцо определяет положение гидроагрегата по высоте и по основным осям. Осевые метки кольца должны быть совмещены с осями агрегата с точностью до 2 мм.

Верхние поверхности кольца и статора должны быть вынесены в натуру по высоте с погрешностью не более 5 мм, а отклонение от горизонтальной плоскости не должно превышать 0,8 мм.

Горизонтальность контролируется с помощью высокоточного нивелира, устанавливаемого в центре шахты на специальном штативе (труба или пирамида) и специальной рейки высотой 10 – 15 см с делениями через 5 мм. Рейку равномерно переставляют по кольцу через 1 м. При этом визирование производят на одно и то же деление рейки, а отсчеты берут только по шкале барабана микрометра нивелира.

Высокие требования предъявляют к вертикальности вала (статора) турбины и генератора. Отклонение оси вала от вертикали допускается не более 0,02 мм на 1 м длины. Это проверяется с помощью нитяных отвесов, опускаемых вдоль вала в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Расстояния от отвесов до вала измеряют с помощью специального стержневого приспособления. Их производят в двух местах – вблизи подвески и у нижнего конца вала. По разности измеренных расстояний определяют наклон вала, сравнивают его с допустимым значением и в случае необходимости исправляют положение вала [6].

## 6. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТОННЕЛЕЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### 6.1. Виды тоннелей, способы их проектирования и сооружения

По назначению подземные сооружения подразделяют на:

- 1) тоннели на путях сообщения (железнодорожные, метрополитены, пешеходные, судоходные);
- 2) гидротехнические тоннели (входят в комплекс гидроузлов, систем водоснабжения, мелиорации);
- 3) промышленные и горно-промышленные тоннели;
- 4) коммунальные тоннели (водостоки, коллекторы);
- 5) специальные.

Сооружение тоннелей выполняют открытым или закрытым способом в зависимости от глубины заложения.

Открытым способом строят тоннели мелкого заложения. В незастроенной местности их строят в котлованах с откосами, а на застроенной – в котлованах со свайным или шпунтовым ограждением (сваи или шпунты забивают по контуру котлована).

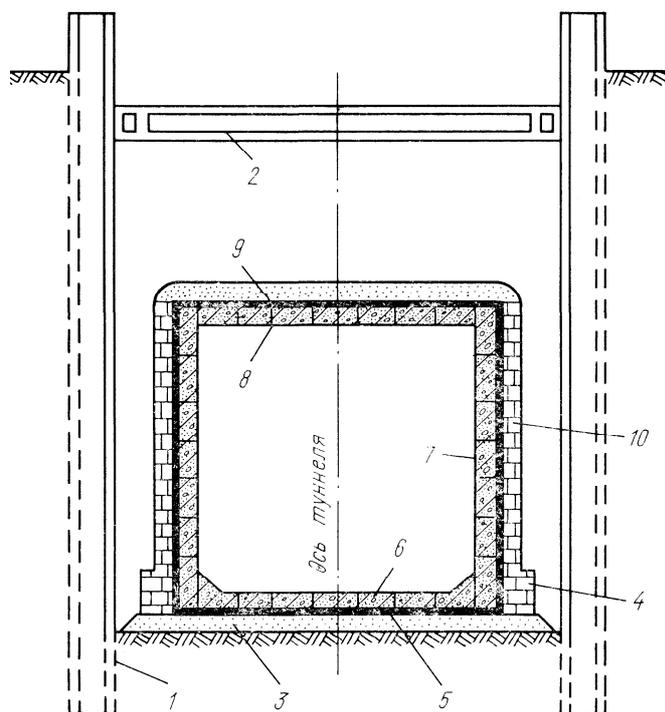


Рис. 6.1. Схема строительства тоннеля открытым способом

По мере раскрытия котлована между сваями устанавливают деревянные или металлические распорки. На проектной глубине укладывают подготовку из бетона (5), затем укладывают слой гидроизоляции и возводят защитные стенки (2) со слоем гидроизоляции. Затем бетонуют лоток (3) и стены (4). После возведения стен до проектной отметки кладут перекрытие 1 и засыпают грунтом.

Тоннели глубокого заложения, например железные дороги через горные массивы, сооружают в основном через порталы.

*Порталами* называют защитные стенки, оформляющие вход в тоннель.

Тоннели метрополитенов сооружают способом вертикальных стволов шахт, шахты располагают на расстоянии 20 – 50 м от трассы тоннеля.

Проходку и выемку грунта осуществляют с помощью проходческого щита или механизированного щита.

Рассмотрим тоннель в поперечном сечении.

Охарактеризуем габариты при сооружении тоннелей. Выделяют три вида:

- 1) габарит подвижного состава;
- 2) габарит приближения оборудования;
- 3) габарит приближения строения (4).

Габарит подвижного состава (1) определяется контуром, внутри которого помещается подвижной состав со всеми выступающими частями с учетом их раскочки и наклона.

Габарит приближения строения определяется контуром, соединяющим выступающие внутрь точки отделки (круг 4). Габарит приближения оборудования (2) определяется контуром, соединяющим наиболее выступающие точки различного оборудования (кабелей, светофоров, релейных шкафов, осветительных фонарей), установленного в тоннелях. Пространство между габаритом подвижного состава и габаритом оборудования называется *габаритным запасом* (3), он устанавливается проектировщиками и служит исходной величиной при расчете требуемой точности геодезических работ.

Форма поперечных сечений зависит от размера строящегося тоннеля, его назначения, способа сооружения, от величины горного давления. Тоннели метрополитена глубокого заложения обычно строят однопутными с круглым сечением. При мелком заложении сечение прямоугольное (могут быть двухпутные или однопутные).

При проектировании тоннелей применяют два способа: геометрический и аналитический.

*Геометрический* способ применяется при проектировании тоннелей мелкого заложения на путях сообщения и гидротехнических сооружений при несложных топографических условиях района.

Ось тоннеля трассируют в натуре на поверхности земли. Измеренные углы и линии вынесенной и закрепленной на поверхности оси тоннеля принимают за основу для строительства. В данном способе ошибки геодезических измерений оказывают влияние на точность сбойки подземных встречных выработок (это существенный недостаток способа).

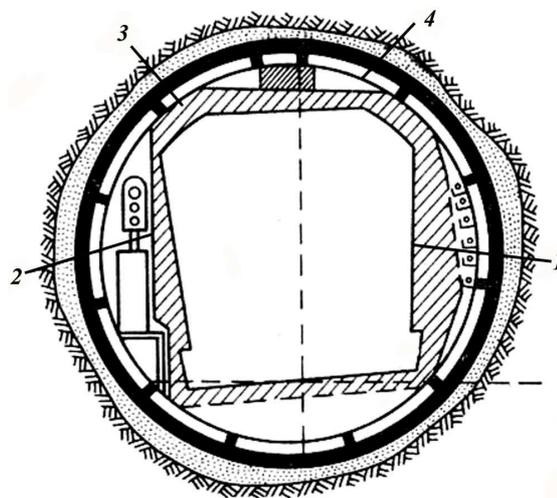


Рис. 6.2. Габариты поперечного сечения тоннеля

*Аналитический* способ применяют на застроенных территориях и в сложных топографических условиях.

Он заключается в следующем: по данным технико-экономических и гидрологических изысканий трассу наносят на план города масштаба 1:2000 или более мелкого масштаба и графически по плану определяют координаты вершин углов поворота. Из решения обратных геодезических задач вычисляют дирекционный угол  $\alpha$  сторон трассы с округлением до десятых долей секунд и расстояние  $l$  между вершинами поворотов с округлением до миллиметра.

Погрешности графического определения координат могут вызвать небольшое смещение запроектированной трассы по отношению к ситуации и инженерно-геологическим выработкам. Но все точки поворота трассы будут строго математически согласованы между собой. Затем по принятым радиусам определяют элементы круговых кривых с округлением до миллиметра.

Аналитически найденные значения углов поворота, длины линий и круговых кривых принимаются за основу дальнейшего детального проектирования и вынесения в натуру оси тоннеля в процессе строительства. В этом способе на точность проектных расчетов будут влиять только ошибки окружения. В этом способе ось тоннеля не трассируется на дневной поверхности. Поэтому данный способ применяют для проектирования горных тоннелей [4].

## 6.2. Схема геодезического обоснования тоннеля

### 6.2.1. Плановое обоснование

Основным плановым геодезическим обоснованием для вынесения в натуру запроектированной трассы тоннеля служит *тоннельная триангуляция* или *линейно-угловая сеть*. Для сгущения точек планового обоснования строят *основную полигонометрическую сеть*. Для передачи координат от пунктов основной полигонометрии к стволам шахт прокладывают хода *подходной полигонометрии*. От точек *подходной полигонометрии* координаты передают в подземные выработки через стволы шахт, но чтобы с достаточной точностью ориентировать подземную геодезическую основу лучше всего передавать дирекционный угол с поверхности под землю непосредственно от сторон *тоннельной триангуляции* или от линий *основной полигонометрии*. Под ориентированием подземной геодезической основы понимают процесс передачи через стволы дирекционного угла и координат с дневной поверхности в подземные выработки.

По мере продвижения забоя вперед в подземных выработках для выхода от ствола на трассу прокладывают ходы *подходной подземной полигонометрии*, координаты для которой передаются с поверхности. По трассе

сначала прокладывают ходы *рабочей подземной полигонометрии* со сравнительно короткими сторонами, а затем ходы *основной подземной полигонометрии* со сторонами 50 – 100 м.

При строительстве длинных тоннелей и при больших расстояниях между стволами, для повышения точности передачи дирекционного угла, от приствольной линии к забою прокладывают *главные ходы подземной полигонометрии*. Пункты главных ходов совмещают с пунктами *основной полигонометрии* через 2 – 3 стороны.

Рассмотрим особенности построения геодезического обоснования на поверхности.

Чаще всего применяется в качестве геодезической основы триангуляция. Тоннельная триангуляция строится в виде цепочки треугольников, по форме близким к равносторонним. Связующие углы менее 40° не допускаются. Для повышения точности определение координат и дирекционных углов тоннельная триангуляция может быть построена в виде цепочек геодезических четырехугольников и центральных систем. В качестве базисов измеряют стороны фигур. Каждая сеть должна быть обеспечена не менее чем двумя базисами.

Тоннельная триангуляция бывает I – IV разрядов.

Таблица 6.1

**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	Более 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

В таблице длина  $L$  учитывает случай сооружения туннеля из двух крайних точек. При наличии промежуточных стволов определяют величину:

$$L_{\text{экв}} = \sqrt{L \cdot l},$$

где  $L$  – общая длина туннеля;

$l$  – среднее расстояние между смежными стволами.

Тогда разряд триангуляции выбирают по этой величине [6].

Пункты тоннельной триангуляции стараются разместить так, чтобы была возможность передать дирекционные углы в смежные шахты от одной и той же стороны сети, что позволяет исключить влияние погрешности дирекционного угла на сбойку.

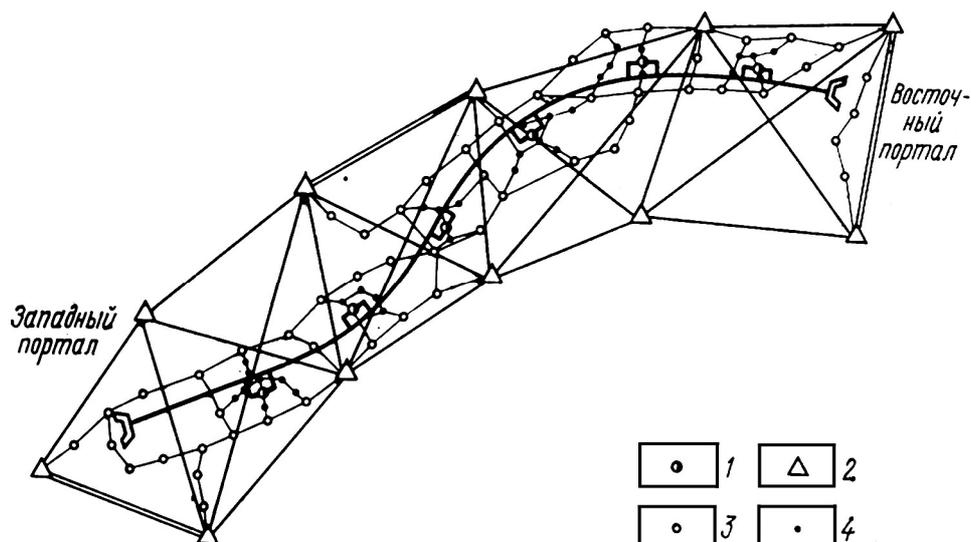


Рис. 6.3. Схема планового геодезического обоснования тоннеля:

1 – стволы; 2 – пункты триангуляции; 3 – пункты основной полигонометрической сети;  
4 – пункты подходов полигонометрических ходов

В городских условиях есть необходимость увязывать сеть тоннельной триангуляции с пунктами городской триангуляции разных классов. Очень важно, в этом случае, отобрать пункты городской триангуляции которые можно принять за исходные при уравнивании сетей тоннельной триангуляции. Потому что погрешности исходных данных могут оказаться настолько большими, что требуемая точность определения координат пунктов тоннельной триангуляции не будет выдержана, и сбойки подземных встречных выработок не будут обеспечены.

Самую высокую надежность определения координат получили тоннельные линейно-угловые сети с измерением линий светодальномерами.

Большое значение при уравнивании тоннельной сети имеет выбор поверхности относимости. Геодезическое обеспечение принято проектировать на плоскость либо со средней отметкой поверхности земли около порталов либо со средней отметкой поверхности земли по трассе туннеля.

Осевой меридиан следует выбирать так, чтобы суммарная поправка за редуцирование расстояний и за переход на поверхность относимости была меньше 1:100000.

В процессе уравнивания тоннельных сетей желательно получить среднюю квадратическую погрешность определения координат всех пунктов, расположенных в непосредственной близости от стволов или порталов, а также погрешности определения дирекционных углов сторон, от которых будет производиться ориентирование подземной полигонометрии.

Тоннельную триангуляцию можно заменить соответствующим классом светодальномерной полигонометрии.

Основная полигонометрия предназначена для передачи координат от пунктов триангуляции в районы шахтных и строительных площадок, расположенных вдоль тоннеля.

*Технические характеристики основной полигонометрии:*

- 1) максимальная длина хода:
  - между пунктами триангуляции – 3 км;
  - между узловыми точками – 1 км.
- 2) длины сторон:
  - средняя длина стороны хода – 250 м;
  - максимальная – 500 м;
  - минимальная – 150 м.
- 3) средняя квадратическая погрешность измерения углов –  $m_{\beta} \leq 3''$ .
- 4) относительная невязка ходов:
  - $1/T \leq 1:30000$  при длине тоннеля  $L > 0,5$  км;
  - $1/T \leq 1:20000$  при длине тоннеля  $L < 0,5$  км.

Если в ходе больше 8 линий, то на середину хода рекомендуется передать исходный дирекционный угол.

Пункты основной полигонометрии закрепляют грунтовыми реперами или стенными знаками в городских условиях.

Углы измеряют точными оптическими теодолитами 3 – 4 круговыми приемами. Теодолиты и марки центрируют с помощью оптических центриров. Чтобы ослабить влияние погрешностей центрирования и редукции на результаты угловых измерений применяют независимое центрирование прибора и визирных марок.

Допустимая угловая невязка в полигонометрическом ходе:

$$f_{\beta_{дон}} = 6'' \cdot \sqrt{n},$$

где  $n$  – число измеренных углов.

Вблизи стволов располагают пункты подходной полигонометрии, их ходами связывают с пунктами основной полигонометрии.

По схеме развития подходная полигонометрия выполняется в виде замкнутых полигонометрических или отдельных ходов с узловыми точками. Длины от ходов или полигонов составляют не более 300 м, минимальная длина стороны допускается 30 м.

При детальной рекогносцировке приствольных точек полигонометрии места их закрепления выбирают с учетом возможности передачи дирекционного угла к стволу шахты непосредственно от пунктов триангуляции.

Точность измерения углов и линий подходной полигонометрии рассчитывают исходя из предельной относительной ошибки равной 1:20000.

Углы измеряются оптическим теодолитом 4 круговыми приемами. Допустимая невязка в полигонометрических ходах:

$$f_{\beta_{дон}} = 8'' \cdot \sqrt{n}.$$

*Подземная полигонометрия.* Оси и контуры тоннеля и подземных сооружений разбивают от пунктов подземного полигонометрического хода.

Для выхода от ствола на трассу в подходных штольнях шириной в основании около 3 м и высотой около 2 м, прокладывают ходы подходной полигонометрии.

Из-за небольшой ширины штольни и малого радиуса круговой кривой стороны подходной подземной полигонометрии могут быть длиной менее 10 м.

Полигонометрические ходы, прокладываемые по трассе тоннеля, делят на два вида: рабочие подземные полигонометрические ходы со сторонами 25 – 50 м и основные полигонометрические ходы со сторонами 50 – 100 м.

При удалении забоя от ствола более чем на 1 км по пунктам основного хода прокладывают главные ходы, измеряют углы между диагоналями, соединяющими возможно дальше расположенные пункты оси хода. Основные ходы прокладывают в виде цепочек треугольников, причем часть точек рабочего хода включают в схему основного хода.

Пункты рабочих и основных ходов закрепляют либо бетонными монолитами с металлическим стержнем или отрезками узкоколейных рельсов длиной до 1 см. Центр знака фиксируют отверстием диаметром 1 – 2 мм, зачеканенным медью.

Знаки основной полигонометрии закладывают примерно на 10 см выше уровня оголовков рельсов.

Линии измеряют подвесными стальными компорируемыми рулетками или светодальномерами, короткобазисным способом. Можно использовать светодальномеры маркшейдерские МСД-1М, МСД-2 и другие светодальномеры с погрешностью измерения расстояния не более 2 мм.

Углы в ходах рабочей полигонометрии измеряют теодолитом Т5 двумя приемами. В ходах подходной и основной полигонометрии со стороной 50 м измерение углов выполняют теодолитом Т2 (3 – 4 приема), при  $S = 100$  м – теодолитом Т1 четырьмя круговыми приемами, а в главных ходах шестью приемами – теодолитом Т1.

Для уменьшения влияния погрешностей центрирования рекомендуют через 1 – 2 приема заново центрировать теодолит. Расхождения в значениях направлений, измеренных при разных центрировках, допускается не более 12''.

Угловые измерения в ходах подземной полигонометрии производят не менее чем 2 раза в различное время для того чтобы с необходимой точностью обеспечить сбойку.

Угловые невязки в треугольниках основной полигонометрии со сторонами 50 – 100 м не допускают более 8" – при однократном измерении углов, 6" – при подсчете невязки со средним значением углов из разновременных измерений.

В замкнутых полигонах дополнительная невязка подсчитывается по формуле:

$$\partial onf_{\beta} = 6'' \cdot \sqrt{n}.$$

Допустимая относительная невязка:

$$\partial on \frac{1}{T} = \frac{1}{25000}.$$

При периметре менее 250 м абсолютная невязка не должна превышать 10 мм.

Координаты точек ходов основной полигонометрии вычисляют по мере продвижения забоя вперед. Перед вычислением координат угловую невязку в треугольнике распределяют поровну на все углы, линейные измерения уравнивают, как в способе соединительного треугольника [4].

После сбойки между стволами подземные ходы ориентируют по способу двух шахт и уравнивают с целью уточнения дирекционных углов околоствольных линий подземной полигонометрии, необходимых в дальнейшем при проходе в другие стороны от стволов.

### 6.2.2. Высотное обоснование

Для перенесения проекта профиля трассы создается высотное геодезическое обоснование в виде нивелирных сетей, класс которых зависит от длины тоннеля и длин встречных подземных выработок.

Требуемая точность сооружения тоннеля по высоте может быть обеспечена построением на поверхности нивелирной сети IV класса (при длине тоннеля до 5 км). Но так как высотные пункты используют в дальнейшем при наблюдении за осадками, то прикладывают хода нивелирования III класса.

Для обеспечения сбойки подземных выработок в высотном отношении в районе порталов строящегося тоннеля (согласно инструкции по производству геодезическо-маркшейдерских работ при строительстве тоннелей) выполняют нивелирование II класса при длине тоннеля не более 2 км, а в горных условиях не более 1 км, при длине тоннеля более 2 км – нивелирование III класса.

Нивелирование III класса принято выполнять по той же методике, и теми же приборами, что и нивелирование II класса (допуски используют для нивелирования III класса).

Так как нивелирная сеть будет использоваться для наблюдений за осадками, то сеть строится в виде системы замкнутых полигонов, опирающихся на марки городского нивелирования II класса, и покрывающих полосу вдоль трассы метрополитена шириной не менее чем тройная глубина тоннеля.

Длина ходов между узловыми точками не должна быть более 1 км. Пункты нивелирования на застроенной территории закрепляют стенными реперами, на незастроенной – грунтовыми.

В процессе строительства, из-за происходящих осадок заложенных реперов, производят повторное нивелирование [4].

### 6.3. Понятие сбойки встречных подземных сооружений и расчет влияния на сбойку подземных сооружений погрешностей геодезических измерений

При сооружении тоннеля от двух стволов встречными забоями под влиянием погрешностей геодезических работ и разбивки, а также из-за деформации тубинговых колец получается расхождение (несбойка). На рис. 6.4. показаны два вида несбойки:

$\sigma$  – расстояние между концами осей встречных выработок, несбойка рабочих осей встречных выработок *A* и *B*.

$\delta$  – расстояние между одноименными проектными точками обделки встречных тоннелей или несбойка из-за влияния погрешностей геодезических работ (допустимое значение  $\delta$  определяется габаритным запасом).

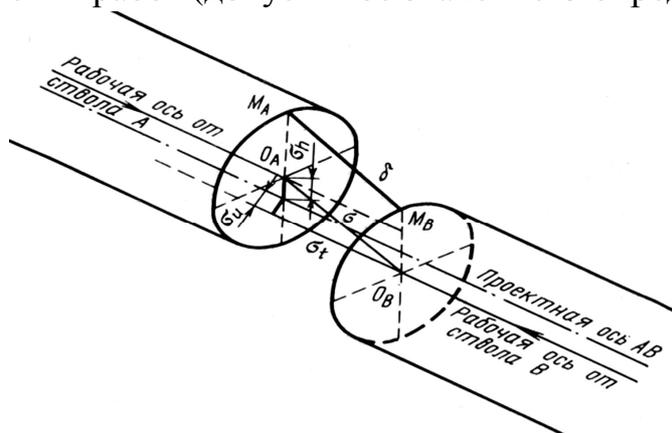


Рис. 6.4. Сбойка встречных выработок

Несбойка из-за влияния погрешностей геодезических работ  $\delta$  (дельта) обусловлена:

- влиянием погрешностей геодезических работ;
- отклонением сооружений от проектных разбивочных осей, закрепленных в натуре;
- влиянием деформаций в процессе строительства.

Несбойка рабочих осей  $\sigma$  (сигма) обуславливается только погрешностями наземного и подземного геодезического обоснования. Поэтому обычно  $\delta > \sigma$ .

Несбойка рабочих осей  $\sigma$  может быть разложена на три составляющие:

$$\sigma^2 = \sigma_n^2 + \sigma_t^2 + \sigma_h^2, \quad (6.1)$$

где  $\sigma_t$ ,  $\sigma_n$ ,  $\sigma_h$  – продольная, поперечная и высотная составляющие погрешности несбойки.

При строительстве прямолинейных тоннелей продольная погрешность имеет менее существенное значение, чем поперечная (пренебрегают  $\sigma_t$ ). При строительстве криволинейных тоннелей учитывают как продольную, так и поперечную составляющие.

Сбойку тоннеля по высоте осуществить легче, нежели в плане.

Допустимая величина общей несбойки  $\delta$  определяется габаритным запасом (известно из проекта) и зависит:

- 1) от погрешности планового обоснования  $\delta_1$ ;
- 2) от погрешности высотного обоснования  $\delta_2$ ;
- 3) от отклонения тубинговых колец при их укладке от разбивочной оси (эксцентриситет)  $\delta_3$ ;
- 4) от отклонения геометрической формы колец от проектной (эллиптичность)  $\delta_4$ ;
- 5) от деформации колец под влиянием горизонтального давления  $\delta_5$ , т. е. общая величина отклонения обделки тоннеля от проектного положения будет такой:

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2}. \quad (6.2)$$

Полагают, что влияние погрешностей высотного обоснования на величину несбойки в два раза меньше планового:

$$\delta_2 = 0,5 \cdot \delta_1, \quad \delta_3 = \delta_4 = \delta_5 = 50 \text{ мм}.$$

Если габаритный запас и соответственно  $\delta = 100$  мм, то значения будут  $\delta_1 = 45$  мм, а  $\delta_2 = 22,5$  мм.

На несбойку в плане влияют следующие погрешности:

- 1) построения геодезического обоснования на поверхности  $m_1$ ;
- 2) ориентирования подземной основы через ствол  $A - m_2$ ;
- 3) ориентирования подземной основы через ствол  $B - m_3$ ;
- 4) полигонометрического хода, идущего от ствола  $A - m_4$ ;
- 5) полигонометрического хода, идущего от ствола  $B - m_5$ .

Таким образом, средняя квадратическая погрешность сбойки рабочих осей встречных выработок будет такой:

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2}. \quad (6.3)$$

Экспериментально доказано, что для тоннелей длиной 1 – 1,5 км влияние перечисленных погрешностей одинаково, т. е.

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = \mu_e,$$

тогда  $m = \mu_e \sqrt{5}$  или  $\mu_e = m / \sqrt{5} = 0,45 \cdot m$ .

Если из предварительных расчетов  $m = \delta_1 = 45$  мм, то погрешность одного источника  $\mu_e = 0,45 \times 45 = 20$  мм.

Эта величина  $\mu_e$  служит основой для расчета необходимой точности измерений на различных стадиях геодезических работ при строительстве через стволы тоннелей длиной менее 1,5 км.

Для тоннелей более 1,5 км принцип равных влияний не приемлем. Часто применяют следующее соотношение погрешности:

$$m_1 = 0,7 \cdot \mu_e; m_2 = m_3 = 2,5 \cdot \mu_e; m_4 = m_5 \cdot \mu_e.$$

Тогда  $m = \mu_e \cdot \sqrt{15} \Rightarrow \mu_e = 0,26 \cdot m$ .

Если тоннель сооружают через порталы, то на точность сбойки рабочих осей влияют три погрешности: геодезического основания на поверхности; геодезических измерений в ходе подземной полигонометрии от портала *A* и геодезических измерений в ходе подземной полигонометрии от портала *B*, т.е.  $\mu = m / \sqrt{3} = 0,58 \cdot m$  [4].

#### 6.4. Расчет требуемой точности измерений на различных стадиях построения геодезического обоснования

Геодезическое обоснование на поверхности создают построением триангуляции, сгущаемой основной полигонометрией.

Влияние на сбойку погрешностей геодезического обоснования на поверхности выражается величиной

$$m_1 = \sqrt{m_T^2 + m_{II}^2}, \quad (6.4)$$

где  $m_T$  – средняя квадратическая погрешность триангуляции;

$m_{II}$  – средняя квадратическая погрешность полигонометрии.

Согласно принципу равных влияний получаем

$$m_T = m_{II} = m_1 / \sqrt{2}.$$

Влияние тоннельной триангуляции на сбойку между смежными стволами принимают равными, тогда для всего ряда триангуляции поперечный сдвиг:

$$m_{T_n} = m_1 \sqrt{n}, \quad (6.5)$$

где  $n$  – число сбоек между стволами  $n = L/l$ ;

$L$  – общая длина тоннеля;

$l$  – среднее расстояние между смежными стволами.

Для прямолинейного тоннеля поперечное смещение будет:

$$m_{T_n} = m_{\Pi_n} \cdot \frac{m_1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{5}} = 0,32 \cdot m. \quad (6.6)$$

Поперечный сдвиг конечной точки триангуляции ряда определяется и по следующей формуле:

$$m_{T_n} = L \cdot \frac{m_{\beta}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{2}{15} \cdot \frac{k^2 + k + 3}{k}}, \quad (6.7)$$

где  $L$  – длина полигонометрии диагонального ряда;  
 $m_{\beta}$  – средняя квадратическая погрешность измеренного угла;  
 $k$  – число промежуточных сторон в полном ряде полигонометрии.  
 Отсюда можно выразить  $m_{\beta}$

$$m_{\beta} = \frac{m_1 \cdot \rho \cdot \sqrt{2}}{\sqrt{L \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{2}{15} \cdot \frac{k^2 + k + 3}{k}}}. \quad (6.8)$$

Если же задаваясь эквивалентной длиной тоннеля  $L_{\text{эке}} = \sqrt{L \cdot l}$ , из инструкции выбрать  $m_{\beta}$  для того или иного разряда триангуляции, то затем можно предвычислить необходимое число промежуточных сторон в диагональном ряде триангуляции:

$$\frac{k^2 + k + 3}{k} = \frac{15 \cdot m_1^2 \cdot \rho^2}{4 \cdot L^2 \cdot m_{\beta}^2}. \quad (6.9)$$

Проведем расчет необходимой точности измерения углов в основной полигонометрии.

На участке тоннеля между стволами  $A$  и  $B$  поперечная погрешность неуровненного хода в средней точке не должна превышать величины:

$$m_{\Pi_n} = \frac{m}{\sqrt{5} \cdot \sqrt{2}} = \frac{m}{\sqrt{10}}. \quad (6.10)$$

Поперечный сдвиг конечной точки полигонометрического хода:

$$m_n = \frac{m_{\beta}}{\rho} \cdot [S] \cdot \sqrt{\frac{n+3}{12}}. \quad (6.11)$$

Так как поперечный сдвиг в середине высотного хода в два раза меньше ожидаемого смещения конечной точки, то поперечный сдвиг конечной точки хода можно определить и так:

$$\frac{m_{\beta}}{\rho} \cdot [S] \cdot \sqrt{\frac{n+3}{12}} = 2m_{\Pi_n} = \frac{2 \cdot m}{\sqrt{10}}, \quad (6.12)$$

где  $[S]$  – длина хода;  
 $n$  – число сторон.

Из выражения (6.12) определим погрешность  $m_{\beta}$ :

$$m_{\beta} = \frac{m \cdot \rho}{\sqrt{2,5 \cdot [S]}} \cdot \sqrt{\frac{12}{n+3}}. \quad (6.13)$$

Точность ориентирования подземной основы зависит от погрешности ориентирования первой линии подземного полигонометрического хода.

Поперечный сдвиг конечной точки прямолинейного полигонометрического хода можно определить по формуле:

$$m_2 = (m_0 / \rho) \cdot l_1, \quad (6.14)$$

где  $m_0$  – относительное ориентирование первой линии;

$l$  – длина хода от ствола до сбойки  $l_1 = l/2$ .

Отсюда можно найти погрешность ориентирования:

$$\text{если } m_2 = \frac{m}{\sqrt{5}}, \text{ то } m_0 = \frac{m \cdot \rho}{\sqrt{5 \cdot l}}.$$

Величину поперечного сдвига конечной точки прямолинейного подземного полигонометрического хода определяют так:

$$m_n = \frac{m \cdot \rho}{\sqrt{5 \cdot l_1}} \cdot \sqrt{\frac{3}{n+1,5}}. \quad (6.15)$$

В высотном отношении на сбойку между смежными стволами  $A$  и  $B$  влияют погрешности:

1)  $m_{h_1}$  – нивелирования хода на дневной поверхности, связывающие два репера, расположенных около смежных стволов  $A$  и  $B$ ;

2)  $m_{h_2}$  и  $m_{h_3}$  – погрешности передачи отметок с поверхности в подземные выработки через стволы  $A$  и  $B$ ;

3)  $m_{h_4}$  и  $m_{h_5}$  – погрешности нивелирных ходов в подземных выработках от стволов  $A$  и  $B$  до стойки.

Общее влияние погрешностей можно выразить так:

$$m_h = \sqrt{m_{h_1}^2 + \dots + m_{h_5}^2}. \quad (6.16)$$

Величины  $m_{h_2}$  и  $m_{h_3}$  сравнительно постоянны и не превышают 5 мм.

Точность нивелирного хода, учитывающего влияние случайных погрешностей, определяются формулой:

$$m_h = \eta \cdot \sqrt{L}, \quad (6.17)$$

где  $\eta$  – коэффициент влияния случайных ошибок на 1 км хода;

$L$  – число километров в ходе.

Если между смежными стволами расстояние  $l$ , то можно записать:

$$m_{h_1} = \eta \cdot \sqrt{l}.$$

Если место сбойки находится посередине между смежными стволами и нивелирование на поверхности и под землей выполняется с одинаковой точностью, то  $m_{h_4} = m_{h_5} = \eta \cdot \sqrt{l/2}$ , тогда

$$m_h = \sqrt{\eta^2 \cdot l + 25 + 25 + 2 \cdot \left( \eta^2 \cdot \frac{l}{2} \right)} = \sqrt{2 \cdot \eta^2 \cdot l + 50}, \quad (6.18)$$

если  $m_h = \delta_2 = 22,5$  мм, то  $\eta = 15/\sqrt{l}$ .

Такая точность тоннеля по высоте при длине тоннеля до 5 км может быть обеспечена нивелированием IV класса.

### 6.5. Аналитический расчет трассы тоннеля

Трасса тоннеля в плане состоит из прямых участков и круговых кривых, а ось этой трассы называют *разбивочной*. Для плавного движения поездов при переходе с прямых участков на кривую вписывают переходные кривые. В результате вписывания переходных кривых круговая кривая смещается к центру кривой на величину  $p$  и радиус кривой будет равен  $R - p$ . Величина смещения  $p$  равна

$$p = \frac{l^3}{24 \cdot c} \text{ или } p = \frac{l^2}{24 \cdot R}, \quad (6.19)$$

где  $l$  – длина переходной кривой;

$R$  – радиус круговой кривой;

$C$  – параметр переходной кривой.

Трасса тоннеля в профиле состоит из горизонтальных и наклонных отрезков, сопряженных вертикальными кривыми.

Ось трассы, включающей прямые, переходные и смежные кривые, называют *осью пути*.

На участке круговой кривой внешний рельс укладывают выше внутреннего на величину  $h$ , чтобы вагон при движении не опрокинулся. Возвышение наружного (внешнего) рельса  $h$  для железнодорожной колеи тоннеля метрополитена при  $a = 1\,524$  мм вычисляется по формуле:

$$h = 12,5 \cdot \frac{V^2}{R}. \quad (6.20)$$

Вагон при движении наклоняется и его центр смещается к центру кривой. Горизонтальное положение этого смещения:

$$q = h \cdot \frac{d}{a}, \quad (6.21)$$

где  $d$  – высота центра тяжести вагона над головками рельсов;

$a$  – расстояние между осями рельсов.

На круговых кривых ось тоннеля необходимо сместить на величину  $q$  относительно оси пути.

Таким образом, на криволинейных участках в проектных чертежах дают сведения по трем осям тоннеля: *разбивочной оси с радиусом  $R$ , оси пути с радиусом  $R - p$ , оси тоннеля с радиусом  $R - (p + q)$ .*

Тоннели метрополитена в основном строят однопутными. Для движения поездов сооружают два параллельных тоннеля с расстоянием между осями 25,4 м. Если двигаться по оси трассы в направлении увеличения пикетажа, то тоннель, расположенный справа, называют правым, а расположенный слева – левым.

Для удобства при проектировании, расчетах и выносе в натуру трассы одноименные пикеты правого и левого тоннелей располагают на перпендикулярах к оси трассы. Длина и радиусы круговых кривых проектируют одинаковыми, поэтому на внутреннем (правом) пути укладывается пикетов меньше, чем на внешнем (левом). Поэтому вводят понятие неправильный пикет, его длина либо больше, либо меньше чем 100 м.

Отклонение длины неправильного пикета от 100 м определяют величиной  $a = a_1 + a_2$ , где  $a_1 = a_2$ , тогда  $a = 2 \cdot D \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$ . Величину  $a$  вводят или в последний пикет левого тоннеля со знаком плюс ( $100 + a$ ) или в последние пикеты левого и правого пути равными частями, но с разными знаками.

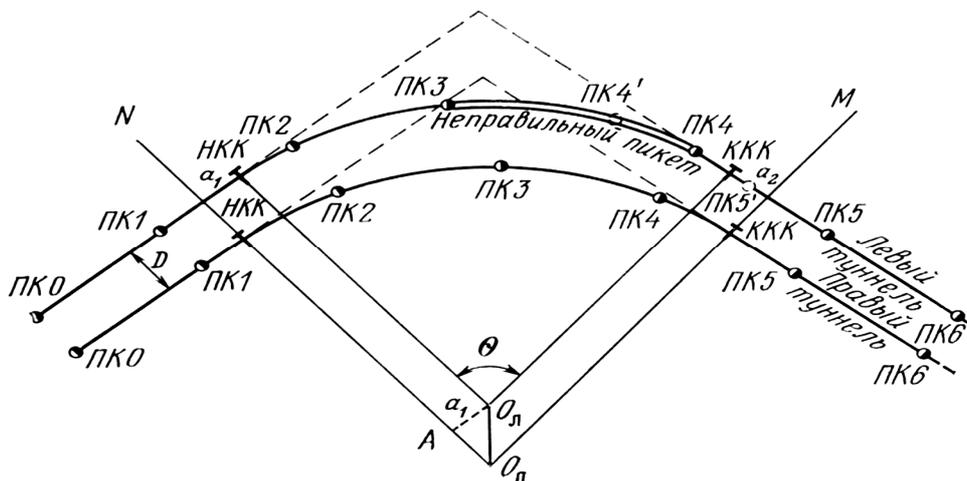


Рис. 6.5. Расположение пикетов на кривых тоннеля

Проектный чертеж, определяющий положение трассы в плане, называют *геометрической схемой трассы* и составляют в масштабе 1:1000.

Профиль трассы называют *укладочной схемой* и составляют в масштабе 1:2000.

Кроме этого составляют профиль трассы с геометрическими данными в масштабах: горизонтальный – 1:2000, вертикальный – 1:200.

Для перенесения проекта тоннеля в натуру нужно знать координаты всех пикетов и точек кривых.

На прямых участках приращение координат между пикетами определяют по известным формулам:

$$\Delta X_i = d \cdot \cos \alpha_i; \Delta Y_i = d \cdot \sin \alpha_i,$$

где  $d$  – проектное расстояние между пикетами 100 м;

$\alpha$  – дирекционный угол прямых участков.

Дирекционные углы подсчитывают:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + Q_{Пр} = \alpha_i - Q_{Л},$$

где  $Q_{Пр}$  и  $Q_{Л}$  – соответственно угол поворота трассы вправо и влево.

Координаты пикетов, расположенных на круговой кривой можно вычислить двумя способами:

- через центральные углы и длины радиусов от координат центра;
- по стягивающим хордам и углам между ними.

Для вычисления координат начала и конца переходных кривых используют дирекционные углы прямых участков и длины отрезков  $t_1$  и  $t_2$  вычисленные по формулам:

$$t_1 = \frac{l}{2} \cdot \left( 1 + \frac{l^2}{30 \cdot R^2} \right), t_2 = \frac{l}{2} \cdot \left( 1 - \frac{l^2}{12 \cdot R^2} \right), \quad (6.22)$$

где  $l$  – длина переходной кривой;

$R$  – радиус круговой кривой.

В качестве исходных принимают координаты точек начала и конца круговых кривых.

Смещение  $p$  оси пути от разбивочной оси вычисляют так:

$$p = \frac{l^2}{24 \cdot R} \cdot \left( 1 + \frac{13 \cdot l^4}{112 \cdot R^3} \right). \quad (6.23)$$

Смещение  $q$  оси тоннеля от оси пути определяют по формуле (6.21).

Координаты концов переходных кривых могут быть вычислены двумя независимыми способами:

- путем вычисления приращений координат по значению угла

$\varphi = \frac{l}{2} \cdot R \cdot \rho$  и длине радиуса  $R_{П} = R - p$ ;

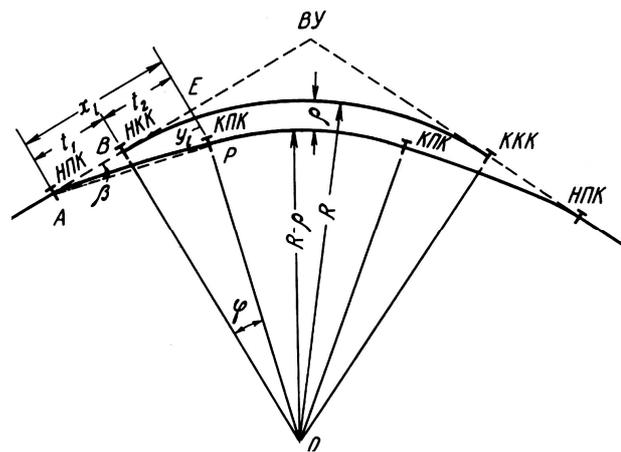


Рис. 6.6. Вставка переходных кривых

– пользуясь величинами  $x_l$  и  $y_l$ :

$$x_l = l \cdot \left( 1 - \frac{l^2}{40 \cdot R^2} \right); \quad y_l = \frac{l^2}{6 \cdot R} \cdot \left( 1 - \frac{l^2}{56 \cdot R^2} \right). \quad (6.24)$$

Исходными данными в первом случае служат дирекционный угол радиуса от центра к началу круговой кривой, а во втором случае – дирекционный угол прямого участка трассы и координаты начала переходной кривой.

Длины круговых кривых  $K$  на разбивочных кривой и на оси тоннеля  $K_T$  различны. Поэтому перед вычислением координат пикетов по оси тоннеля надо определить длину круговой кривой на оси тоннеля

$$K_T = \frac{Q_T \cdot R_T}{\rho}, \quad (6.25)$$

где  $Q_T = Q - 2 \cdot \varphi$ ;  $R_T = R - (\rho + q)$ .

Рассмотрим расчет данных. Вынесение трассы в натуру на кривом участке осуществляется по ломаному контуру, состоящему из прямых линий и углов поворота. В качестве прямых линий выбирают или хорды или секущие линии:

а) *вынесение по хордам*: элементами разбивки являются длина хорды  $b_{np}$  и стрелка прогиба  $f \max$ .

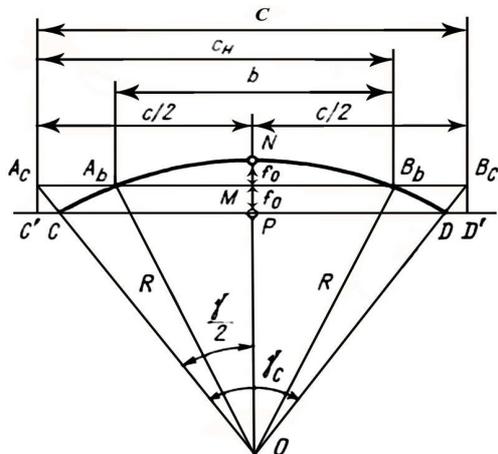


Рис. 6.7. Схема расчета равноудаленной секущей

Для вынесения круговой кривой этим методом необходимо вычислить координаты концов хорд. Это можно сделать двумя способами:

1) кривую выносят в натуру равными хордами, их длина определяется с точностью до миллиметра;

2) ставят условие, чтобы длина хорды имела целое число метров, тогда в конце кривой длина хорды будет отличаться от длины хорды, принятой при разбивке.

Для равных хорд длина вычисляется по формуле:

$$b_{np} = \sqrt{8 \cdot R \cdot f \max}, \quad (6.26)$$

а стрела прогиба:

$$f \max = f_0 = k^2 / 8 \cdot R = b^2 / 8 \cdot R, \quad (6.27)$$

где  $k$  – длина дуги;  
 $b$  – длина хорды.

Затем рассчитывается приближенное число хорд  $n'$ :

$$n' = K / b_{np}, \quad (6.28)$$

где  $K$  – длина круговой кривой.

Но число хорд это целое число ( $n$ ), его получают округляя  $n'$  к большему целому числу. После этого подсчитывают длину кривой, соответствующую длине принятой хорды:  $k = K / n$ .

Затем переходят от длины кривой к длине хорды и определяют центральные углы  $\gamma$ , стягивающие хорды,  $\gamma = \frac{R}{k} \cdot \rho$ . После чего вычисляют координаты концов хорд по ходу, составленному из хорд. Угол поворота между первой кривой и радиусом, а также последней кривой и радиусом равны  $90^\circ - \frac{\gamma}{2}$ , а остальные  $180^\circ - \gamma$ .

б) *вынесение по секущим* применяют с целью уменьшения объема разбивочных работ.

Длина секущей принимается такой, чтобы отклонение концов секущих  $f_0$  от круговой кривой не превышало величины отклонения кривой от середины секущей.

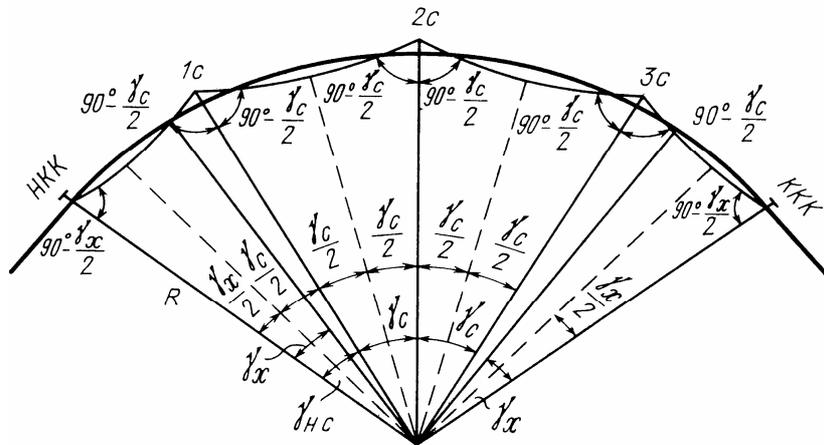


Рис. 6.8. Схема разбивки кривой по секущей

Вычисления ведут в следующей последовательности:

1) определяется приближенная длина секущей:

$$C_{np} = 4 \cdot \sqrt{f_0 \cdot R}; \quad (6.29)$$

2) определяют приближенное число всех секущих (полных и не полных):

$$m' = K / C_{np} + 0,3; \quad (6.30)$$

3) устанавливают число секущих путем округления  $m'$  до ближайшего большего числа ( $m$ );

4) определяют длину дуги  $K_c$  для полной секущей:

$$k_c = K / (m - 0,3); \quad (6.31)$$

5) вычисляют длины дуг, соответствующих длине хорды и длине неполной секущей:

$$k_b = 0,7 \cdot k_c; \quad k_{сн} = 0,85 \cdot k_c \quad (6.32)$$

и делают контроль:  $n \cdot k_c + 2 \cdot k_{сн} = K$  ( $n = m - 2$ );

6) вычисляют центральные углы, соответствующие секущей, неполной секущей и хорде:

$$\gamma_c'' = \frac{k_c}{R} \cdot \rho''; \quad \gamma_{сн}'' = \frac{k_{сн}}{R} \cdot \rho''; \quad \gamma_b'' = \frac{k_b}{R} \cdot \rho'' = 0,7 \cdot \gamma_c'' \quad (6.33)$$

и делают контроль:  $n \cdot \gamma_c + 2 \cdot \gamma_{сн} = Q$ .

Вынесение в натуру переходных кривых осуществляется от начала переходной кривой через каждые 2 м, путем отложения по направлению тангенса величины  $x_l$  и по перпендикуляру (в конце  $x_l$ ) расстояния  $y_l$  [4].

## 6.6. Способы ориентирования подземной основы

Ориентирование или горизонтальная соединительная съемка подземной геодезической сети состоит в передаче координат и дирекционного угла с дневной поверхности на горизонт подземных работ.

Способы ориентирования делят на две группы: основанные на физических и геометрических принципах. Основные способы ориентирования приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Способы ориентирования подземной основы

№ п/п	Наименование	Точность одного ориентирования
<i>Физические:</i>		
1.	Магнитный	1'
2.	Поляризации светового потока:	
	– при визуальной регистрации	1'
	– при электронной регистрации	5"
3.	Автоколлимационный	6 – 8"
4.	Гироскопическое ориентирование точными гиротеодолитами	5 – 10"
<i>Геометрические:</i>		
5.	Створа двух отвесов	30"
6.	Усовершенствованный способ створа двух отвесов	12 – 15"
7.	Шкалового примыкания к отвесам	25"
8.	Оптического клина	12"
9.	Соединительного треугольника	10 – 12"
10.	Двух шахт (скважин)	8 – 10"

Если тоннельные выработки выходят на дневную поверхность, то ориентирование осуществляется проложением полигонометрического хода через горизонтальные и наклонные выработки [6].

При сооружении тоннеля через вертикальную шахту ориентирование производят одним из способов: створа двух отвесов, соединительного треугольника, двух шахт либо гирротеодолитом.

**Способ створа двух отвесов** (рис. 6.9). Отвесы крепят (располагают) в створе разбитой оси подходной штольни (теодолит с одной стороны, марка с другой). Дирекционный угол створа отвесов равен дирекционному углу оси подходной штольни.

Чтобы устранить влияние потоков воздуха и капель отвесы помещают в трубу, внизу к отвесу подвешивают грузы, которые помещают в емкости с вязкой жидкостью для уменьшения колебаний.

В подземной выработке теодолит устанавливают на координатном столбике. Передвигая теодолит перпендикулярно к плоскости отвесов, устанавливают ось в створе отвесов.

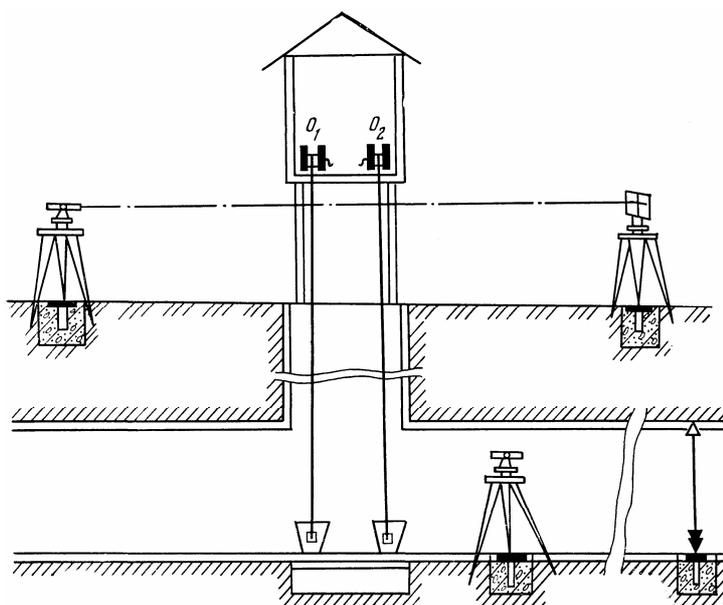


Рис. 6.9. Ориентирование подземной геодезической основы способом створа двух отвесов

Измерения производят при двух кругах многократно. Точность этого способа – 30". Основным источником погрешностей – качание отвеса. Для повышения точности на расстоянии 1 см за отвесами устанавливают специальные шкалы, по которым берут минимальный и максимальный отсчеты, соответствующие крайним положениям отвесов. Среднее значение принимают за положение отвеса в спокойном состоянии. Затем теодолит перемещают так, чтобы его визирная ось проходила через среднее значение отсчетов по шкалам. Так повышают точность до 12 – 15 " (усовершенствованный способ створа двух шахт).

**Способ соединительного треугольника** (рис. 6.10). Здесь на поверхности над пунктом с известными координатами ( $A_1$ ) измеряют примычный угол  $\omega$  и угол  $\alpha$  (между направлениями на отвесы). Рулеткой измеряют все три расстояния в  $\triangle ABC$ . Такой треугольник называют *соединительным*.

По результатам измерений вычисляются углы  $\beta$ ,  $\gamma$ , дирекционный угол створа двух отвесов и координаты отвесов. В подземной выработке на закрепленном вблизи ствола пункте производят аналогичные измерения (углы  $\omega_1$  и  $\alpha_1$ ; стороны  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$ ).

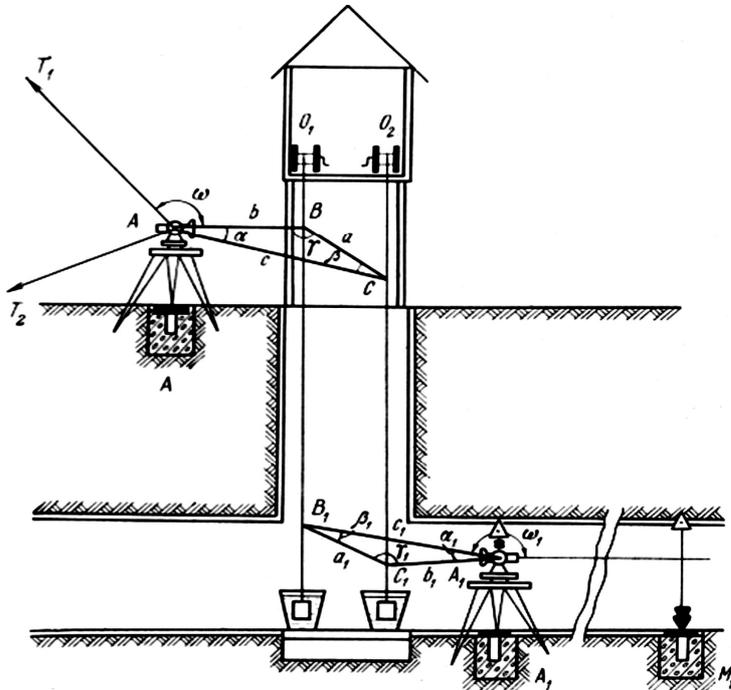


Рис. 6.10. Ориентирование подземной геодезической основы способом соединительного треугольника

Здесь важно придать соединительному треугольнику оптимальную форму (вытянутый треугольник). Длины сторон треугольника не должны превышать 20 м, чтобы измерять одним отложением мерного прибора.

Расстояние  $a$  должно быть по возможности большим (при диаметре стволов 6 м  $a = 4 - 5,5$  м), отношение  $b/a$  должно быть по возможности меньшим, т. е. точки  $A$  и  $A_1$  закрепляют как можно ближе к стволу.

Углы  $\alpha$  и  $\alpha_1$  не должны превышать  $2 - 3^\circ$ . Чем меньше угол  $\beta$ , тем меньше влияние погрешности линейных измерений в соединенном треугольнике на значение вычисленного угла  $\beta$ . Кроме этого отношения  $b/a$  и  $b_1/a_1 \leq 1,5$ ;  $c/a$  и  $c_1/a_1 = 1,5 - 3$ .

Точность передачи дирекционного угла составляет  $10 - 12''$ .

Суммарная погрешность ориентирования способом соединительного треугольника:

$$m_0 = \sqrt{m_{0исх}^2 + m_{0S}^2 + m_{0\beta}^2 + 2m_{0пр}^2}, \quad (6.34)$$

где  $m_{0исх}^2$  – погрешность исходного дирекционного угла;

$m_{0S}^2$ ,  $m_{0\beta}^2$  – погрешности линейных и угловых измерений;

$2m_{0пр}^2$  – погрешности примычных углов.

Если измерения производить по трем отвесам, то точность ориентирования повышается до  $8''$  (повышение относительно двух отвесов в  $\sqrt{3}$  раз).

**Способ двух шахт (скважин).** Данный способ применяется если один из смежных стволов тоннеля пробурен в виде узкой скважины и там можно повесить только один отвес (рис. 6.11).

Ориентирование осуществляется вставкой хода между двумя пунктами (отвесами) координаты которых определены на дневной поверхности. То есть прокладывается ход подземной полигонометрии от ствола  $A$  в котором определен дирекционный угол  $\alpha$  и исходные стороны  $A_1O_1$  и координаты пункта  $A_1$ , до скважины, где по отвесу переданы в забой координаты пункта  $B_1$ .

По координатам отвесов начального и конечного ( $O_1$  и  $O_2$ ) определяют дирекционный угол  $\alpha_{НК}$  и длину стороны  $S_{НК}$  по формулам обратной геодезической задачи.

Подземный полигонометрический ход выполняют в условной системе координат, причем в качестве дирекционного угла первой стороны хода выбирают приближенное значение  $\alpha'$ . По величинам поперечного сдвига подземного хода определяют угол поворота осей  $W$  условной системы координат принятой на поверхности:  $W = \alpha_{НК} - \alpha'_{НК}$ . Уточняют дирекционное приращение координат, и, приняв координаты одного из отвесов за исходные, определяют координаты точек хода. В измеренные линии вводятся редуционные поправки.

Поскольку координаты точки  $B_1$  получены по ходу и переданы через ствол  $B$ , то возникают невязки его координат, а значит необходимо уравновешивание хода.

Для вытянутого полигонометрического хода влияние погрешностей измеренных углов на дирекционный угол стороны хода с номером  $i$  составляет:

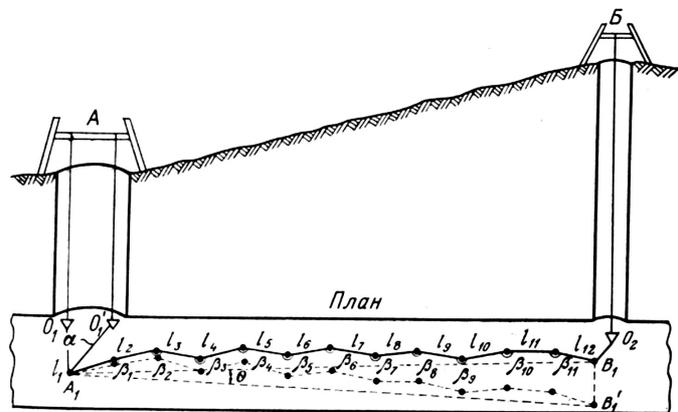


Рис. 6.11. Схема ориентирования подземной геодезической основы способом двух шахт

$$m_{\alpha_i} = m_{\beta} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot (2n + 1) - 6(i - 1) \cdot (n + 1 - i)}{6 \cdot (n + 1)}}, \quad (6.35)$$

где  $n$  – число измеренных углов.

Точность ориентирования данным способом составляет  $8 - 10''$  при длине хода 2 км.

В основу способов шкалового примыкания, оптического клина, способа поляризации светового пучка положен способ створа двух шахт, только используются другие приборы [4].

**Ориентирование гиротеодолитом** самый прогрессивный и автономный способ, точность 5 – 10".

Этот способ позволяет в любое время, на любой глубине и в любом расстоянии от ствола определить азимут или дирекционный угол направления в подземных выработках, он не требует во время ориентирования остановки или полного прекращения строительных работ.

Непосредственно перед ориентированием подземной выработки и тотчас же после этого определяют поправку гиротеодолита на линии с известным дирекционным углом (сторона триангуляции или основной полигонометрии).

При обработке за окончательное значение принимают среднюю из двух определенных поправок.

Постоянная поправка  $\Delta$  гиротеодолита вычисляется:

$$\Delta = \alpha_{исх} - \alpha_{зир.исх} + \gamma_{исх} - \delta_u, \quad (6.36)$$

где  $\alpha_{исх}$  – известный дирекционный угол исходного направления;

$\alpha_{зир.исх}$  – определенный гиротеодолитом;

$\gamma_{исх}$  – сближение меридианов для исходного направления;

$\delta_u$  – поправка за уклонение отвесных линий в исходных направлениях.

Каждое определение поправки производится двумя пусками гиротеодолита. Длина исходной стороны  $S_{исх} \geq 100$  м, длина стороны, для которой определяется дирекционный угол должно быть  $S_i > 30$  м.

*Программа наблюдений:*

- 1) визирование при КП и КЛ с взятием отсчетов по лимбу на конечную точку линии, для которой определяется дирекционный угол;
- 2) определение нуля-пункта торсионного подвеса;
- 3) наблюдение вынужденных колебаний и вычисление положения динамического равновесия чувствительного элемента при работающем гиromоторе;
- 4) определение нуля-пункта торсионного подвеса (т. е. опять 2);
- 5) то же самое, что и 1.

Отсчеты по горизонтальному кругу до пуска и после пуска гирометра не должны отличаться более чем на 8", а при длине стороны 30 – 50 м расхождение 12". Тогда дирекционный угол направления будет:

$$\alpha = \alpha_{зир} + \Delta + \gamma + \delta_u. \quad (6.37)$$

Дирекционный угол, измеренный гиротеодолитом, вычисляют по формуле:

$$\alpha_{зир} = M - N_0 = M - (N_{cp} + \delta_n), \quad (6.38)$$

где  $\delta_n = C \cdot P_0$ ;

$M$  – отсчет по лимбу;

$N_{cp}$  – отсчет по лимбу для среднего положения динамического равновесия;

$C$  – коэффициент закручивания торсиона;

$P_0$  – положение нуль-пункта [6].

### 6.7. Передача высот в подземные выработки

Исходными для передачи высот в подземные выработки являются реперы III класса, расположенные на шахтной площадке (куст реперов). Не более чем за два дня до передачи высот производят контрольное нивелирование реперов (III класс), которые будут использованы (из-за осадок пород в районе строительства).

Рулетка с грузом 10 кг крепится нулем шкалы вниз.

Нивелиры наверху и внизу, отсчеты берут по рейкам на репере на поверхности, отсчеты  $l_1$  и  $l_2$  по рулетке на поверхности и под землей и по рейке установленной на закрепленной в подземной выработке точке.

Отметка точки в подземной выработке будет получена

$$H_{III} = H_{II} + a - \{(l_1 - l_2) + \Delta_t + \Delta_K + \Delta_l\} - b, \quad (6.39)$$

где  $\Delta_t, \Delta_K, \Delta_l$  – поправки за температуру, компарирование, удлинение рулетки.

При передаче на глубину более 150 м применяют вместо рулетки прибор «Глубиномер» (приволока и мерный диск).

В процессе передачи высоты в начале линии визирования обоих нивелиров наводят одновременно на рулетку и по команде отсчитывают по ней. Затем нивелиры наводят на рейки, и берут отсчеты по ним.

Расхождение значений высот подземных реперов, полученных при различных горизонтах нивелиров и при различных положениях рулетки не должны превышать 4 мм.

Между реперами расположенными в подземной выработке прокладывают ходы подземного нивелирования. Допустимая невязка (мм) в замкнутых ходах  $donf_n = 2 \cdot \sqrt{n}$ , где  $n$  – число станций.

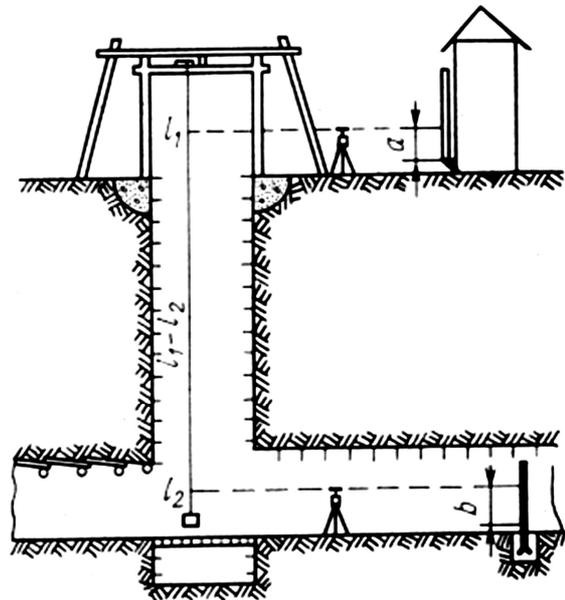


Рис. 6.12. Передача высот в подземные выработки

Для одиночных подземных ходов нивелирования:

$$\partial onf_n = \sqrt{(\Delta h_{II} \cdot \sqrt{L})^2 + (\Delta h_{III} \cdot \sqrt{L_1})^2 + (\Delta h_C \cdot \sqrt{2})^2}, \quad (6.40)$$

где  $\Delta h_{II}$  – случайная погрешность нивелирования на 1 км хода на поверхности;

$\Delta h_{III}$  – случайная погрешность нивелирования на 1 км хода под землей;

$\Delta h_C$  – погрешность передачи высот для одного ствола [4].

Обычно принимают  $\Delta h_{II} = \Delta h_{III} = 7$  мм,  $\Delta h_C = 4$  мм, тогда допустимая погрешность составит  $\partial onf_h = \sqrt{49 \cdot L + 49 \cdot L_1 + 32}$  (мм).

### 6.8. Разбивочные работы при проходке стволов шахт и разбивке оси тоннеля

Проходка ствола начинается с сооружения форшахты – это мощное бетонное кольцо высотой 4 – 5 м.

Разбивку опалубки для сооружения форшахты производят рулеткой от точки, закрепляющей центр ствола, не допуская отклонения от проекта более чем на 3 см. После ее сооружения ось ствола в верхней плоскости форшахты закрепляют специальными скобами. Далее от дна форшахты собирают кольца обделки ствола. Здесь важно, чтобы размеры фактических радиусов измеренных от центра ствола не отличались от проектных более чем на 10 мм. Контрольные измерения радиусов ведут по восьми направлениям, четыре из которых совпадают с закрепленными осями ствола.

Перекос верхней плоскости определяют нивелированием 4 – 8 точек, отклонение от горизонтали допускают не более 5 мм, также контролируется положение центра сооружения ствола от точек закрепленных на форшахте оси ствола по верхнему кольцу. Наличие крена вызывает смещение центра нижнего кольца по отношению к верхнему на величину:

$$\delta = \frac{\Delta h}{d} \cdot H, \quad (6.41)$$

где  $\Delta h$  – перекос верхней плоскости кольца в направлении наибольшего крена;

$d$  – диаметр колец ствола;

$H$  – глубина проходки.

Допустимая величина крена –  $0,01 \cdot H$

После окончательной проходки ствола на скобы, приваренные к тьюбинговой обделке, натягивают взаимно перпендикулярные нити и от пунктов подходной полигонометрии определяют фактические координаты цен-

тра верхнего кольца. Затем к скобам подвешивают отвесы и через каждые 5 м на высоте производят исполнительную съемку внутреннего габарита ствола по направлению осей. Промеры выполняют с помощью стальной рулетки или линейкой от отвеса до внутренней поверхности тубинговой отделки. Так определяют фактические радиусы до каждой снимаемой точки. По результатам съемки определяют положение центра, вписанного в ствол вертикального цилиндра.

Ось тоннеля разбивают от пунктов подземной полигонометрии, по проектным координатам точки лежащей на оси и координатам ближайших пунктов подземной полигонометрии способом полярных координат, вычисляют разбивочные элементы  $l_1$  и  $\gamma_1$  (точка  $N_1$ ).

Разбивку точки  $N_2$  выполняют, откладывая длину перпендикуляра  $l_E$ , опущенного с пункта полигонометрии  $E$  на прямолинейный участок (6.13, а).

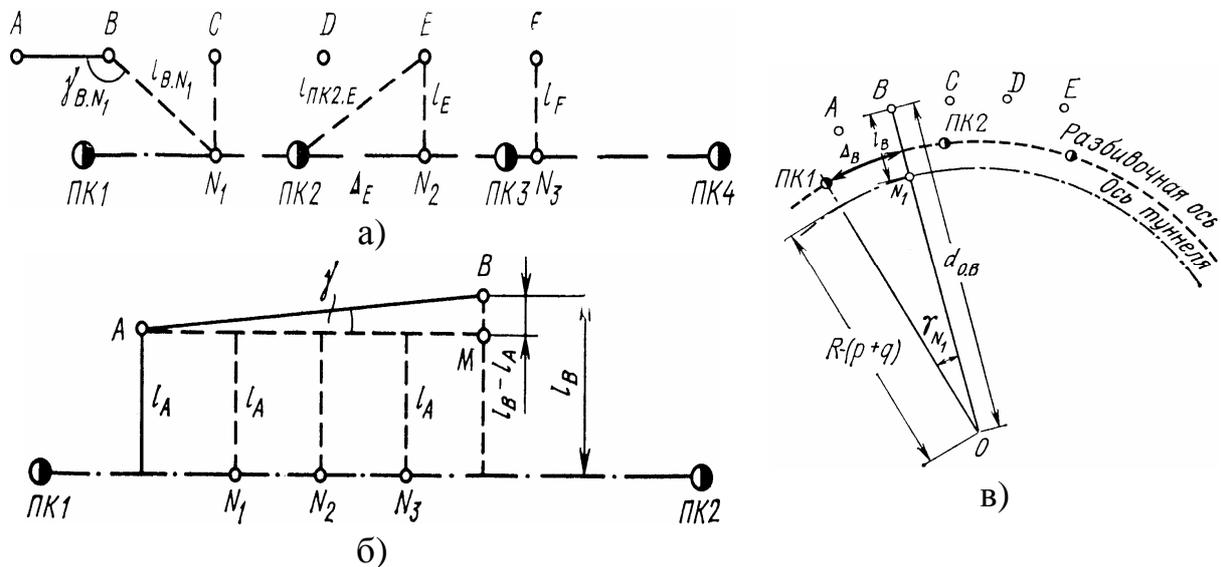


Рис. 6.13. Разбивка оси тоннеля: а) пикетов на оси тоннеля; б) трассы тоннеля от проектной параллельной линии; в) разбивка криволинейных участков

Длину перпендикуляра подсчитывают по формуле:

$$l_E = l_{ПК2-E} \cdot \sin \gamma_{ПК2-E}. \quad (6.42)$$

Расстояние и дирекционный угол направления находят из решения обратной геодезической задачи по координатам пункта  $E$  и  $ПК2$ . Угол  $\gamma_{ПК2-E}$  будет равен разности дирекционных углов трассы и линии  $ПК2-E$ .

Для определения пикетажного значения точки  $N_2$  нужно из треугольника вычислить расстояние  $\Delta E$ , далее  $ПК N_2 = ПК2 + \Delta E$ . Аналогично разбивается точка  $N_3$  от пункта полигонометрии  $F$ .

На прямом участке точки трассы выносят от линии, параллельной оси и проходящей через полигонометрический пункт (рис. 6.13, б). Для этого вычисляют удаление двух смежных полигонометрических пунктов от оси и откладывая от полигонометрического пункта  $B$  разность  $l_B - l_A$  получают точку  $M$ . Линия  $AM$  параллельна оси тоннеля. Откладывая от этой линии величину  $l_A$  получаем в натуре точки трассы  $N_1, N_2, N_3$  сколь угодно часто. Направление линии  $AM$  можно получить, откладывая теодолитом, установленным в точке  $A$ , угла  $\gamma$ , равного разности дирекционных углов трассы и линии полигонометрии  $AB$ .

Если разбиваемая точка находится на кривой, то для получения  $l_B$  нужно по координатам центра кривой и точки полигонометрии  $B$  вычислить радиус  $d_{OB}$  (рис. 6.13, в).

Тогда:

$$l_B = d_{OB} - (R - (p + q)). \quad (6.43)$$

Смещения оси пути  $p$  и оси тоннеля  $q$  находят соответственно по формулам (6.19) и (6.21).

Для определения пикетажного значения точки  $N_1$  на круговой кривой вычисляют угол  $\gamma_{N_1}$  как разность дирекционных  $ON_1$  и  $OPK1$ . Затем вычисляют длину дуги по разбивочной оси трассы между точками  $N_1$  и  $PK1$ :

$$\Delta B = \frac{\gamma_{N_1}' \cdot R}{\rho''}, \quad (6.44)$$

где  $R$  – радиус разбивочной оси.

Пикетажное значение точки  $N_1$  определяют так:  $PKN1 = PK1 + \Delta B$ .

На участке переходных кривых в натуре указанными методами разбивают направления линии тангенсов, проходящую через точку «начало переходной кривой». Круговые кривые выносят в натуре по хордам или секущим, переходные – способом прямоугольных координат.

Перенесенные в натуре точки трассы закрепляют в своде тоннеля, а затем фиксируют ось отвесами, подвешенными к этим точкам.

При строительстве горных тоннелей в районах порталов, боковых штолен, на оползневых участках появляется необходимость производить разбивку трассы на поверхности от точек геодезического обоснования или специально проложенных для этой цели ходов.

При сооружении тоннелей метрополитенов трассу на поверхности разбивают на всем протяжении при открытом способе работ, а при закрытом – только в местах расположения станций метро [4].

## 7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

### 7.1. Геодезические работы при возведении подземной части здания

#### 7.1.1. Контроль геометрических параметров конструкций

Производство монтажных работ при возведении гражданских и промышленных сооружений, а также установка технологического оборудования, связаны с выполнением разнообразных геодезических измерений.

При монтаже оборудования и конструкций осуществляют следующие операции:

- контроль геометрических параметров конструкций;
- приведение конструкций и узлов оборудования в проектное положение при помощи монтажных приспособлений с одновременным геодезическим контролем;
- закрепление конструкций и оборудования, установленных в проектное положение;
- геодезический контроль положения закрепленных конструкций и установленного оборудования.

Точностные требования к геодезическому обеспечению монтажных работ изложены в разделе 3.1.

*Контроль геометрических параметров конструкций* имеет в виду определение фактических размеров этих конструкций, полученных в результате их изготовления. Железобетонные элементы конструкций могут иногда значительно отличаться от их проектных размеров, как по линейным размерам, так и по форме. Такие отклонения будут затруднять монтаж, снижать точность установки конструкций в проектное положение, поэтому отклонение фактических размеров от проектных не должны превышать установленного допуска.

Все сборные строительные конструкции условно можно разделить на плоскостные (панели перекрытий, стеновые панели, фермы) и брусковые (балки, ригели, колонны). В зависимости от вида конструкций измеряемые параметры могут быть различными. В плоскостных конструкциях измеряют длину, поперечные размеры, клиновидность, разность диагоналей, неплоскостность, овальность, коробление. В брусковых конструкциях измеряют длину, размеры поперечного сечения, а также прямолинейность, околы ребер и углов, раковины, трещины, отклонения закладных частей и др.

Обмеры проводят стальными рулетками с миллиметровыми делениями. Линейные размеры конструкций необходимо определять примерно на расстоянии 0,1 – 0,2 м от края. Номинальное деление шкал измерительных приборов не должно превышать 1 мм, а иногда 0,01 мм.

Измерение поперечных сечений величиной до 1000 мм выполняют штангенциркулями, раздвижными измерительными рейками (рис. 7.1, а, б, в).

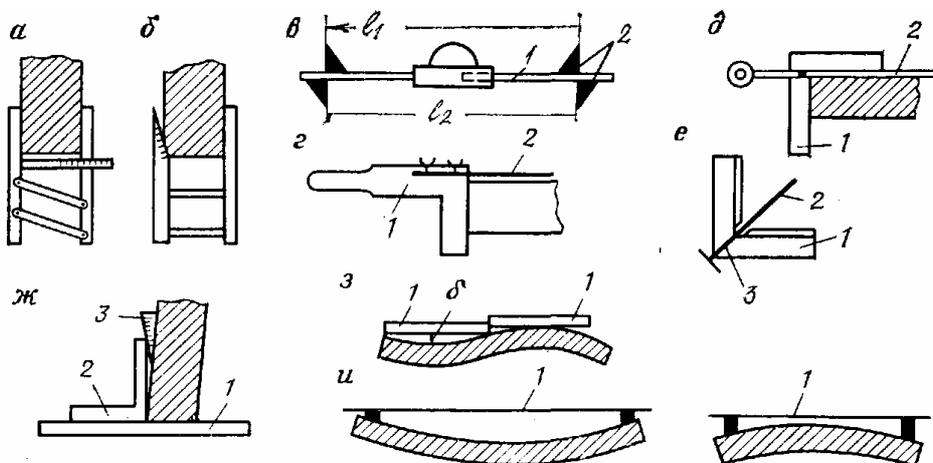


Рис. 7.1. Приборы и приспособления для измерения параметров конструкций:  
а – раздвижная скоба; б – нераздвижная скоба; в – раздвижная измерительная рейка;  
г – упор; е – уголок для измерения диагоналей; ж – измерение перпендикулярности;  
з – измерение местной непрямолинейности; и – измерение общей непрямолинейности

Скобой охватывают конструкцию и по грани второго уголка берут отсчет по линейке. Скоба имеет значительные пределы измерений. Нераздвижная скоба изготавливается только для измерения отклонений от номинального значения одного размера по ее клиновидному краю с делениями.

Раздвижная измерительная линейка позволяет измерять как внутренние размеры, так и наружные. Она состоит из телескопической трубчатой штанги 1 с упорами 2 на концах. Отсчеты берут по шкале, нанесенной на внутренней трубке штанги.

Для удобства измерения длины, ширины, диагоналей с помощью рулетки и правильности контактирования рулетки с конструкцией применяют вспомогательные приспособления в виде упоров и уголков 1 (рис. 7.1, г, д, е), в которых закрепляется рулетка (2). Отсчет по рулетке берут при помощи такжедвигающихся по рулетке приспособлений. При измерении диагоналей в уголке (1) по биссектрисе делают разрез (3), в который входит рулетка. Для обеспечения легкости приспособления изготавливаются из дюралевых уголков.

Например, при контроле геометрических параметров плоских железобетонных элементов (стен, панелей) измеряют длину  $l$ , ширину (высоту)  $h$ , толщину  $p$ , длины диагоналей  $d$ . Измерение длины, ширины (высоты) и толщины необходимо выполнять в трех разных местах, находящихся от края на расстояниях 0,1, 0,5, 0,9 от длины измеряемого изделия. Результаты этих измерений будут характеризовать параллельность граней элемента. О наличии перекосов будут свидетельствовать также разности длин диагоналей.

При контроле геометрических параметров колонн определяют их длину  $l$  и элементы поперечного сечения  $p_1$  и  $p_2$ . Одновременно с этим проводят разметку колонн. Для этого в основании колонны и в ее вершине наносят тонкой вертикальной чертой по оси симметрии установочные (осевые) риски на всех гранях колонны. В нижней части колонны дополнительно наносят горизонтальную черту и от нее измеряют расстояние  $h_1$  до консолей,  $h_2$  – до верха колонны, и записывают результаты измерений в журнал.

Важной характеристикой конструкции является соблюдение перпендикулярности смежных поверхностей. Отклонение от прямого угла выражается в линейных единицах на заданном размере, которое не должно превышать 0,01 промерного размера. Для определения неперпендикулярности стальную линейку (1) ребром прикладывают к одной поверхности конструкции, а металлический поверочный угольник (2) – к линейке и другой грани конструкции (рис. 7.1, ж) и щупом (3) измеряют неперпендикулярность между торцом и боковой поверхностью.

Отклонение закладных деталей от проектного положения определяют по привязочным расстояниям от углов, плоскостей, ребер конструкции стальной линейкой со средней квадратической погрешностью 0,5 мм. Железобетонная конструкция принимается к монтажу, если отклонение стальных закладных деталей, не являющихся фиксаторами при монтаже, не превышает 5 мм для закладных деталей размером до 100 мм и 10 мм – при больших размерах.

Непрямолинейность конструкций различают местную – на расстоянии 2 м и общую – на всю длину. Местную непрямолинейность определяют линейкой 1 (рис. 7.1, з). Допустимой величиной местной непрямолинейности является 3 мм для лицевых поверхностей или поверхностей, влияющих на качество монтажа и 5 мм для остальных поверхностей [23]. Общую непрямолинейность определяют линейкой от стальной струны 1, натянутой вдоль ребра конструкции на некотором расстоянии от концевых точек (рис. 7.1, и).

Неплоскостность определяется также как и непрямолинейность, а коробление (т. е. отклонение одного из углов конструкции от плоскости, проходящей через три остальных угла) определяют при помощи теодолита или нивелира. Если плоская конструкция расположена вертикально, то коробление определяют боковым нивелированием (рис. 7.2, а) от вертикальной плоскости, задаваемой теодолитом, или применяя оптическую насадку ОНТ на теодолит. Более быстро и точнее коробление определяют нивелированием углов панели, расположенной на строго горизонтальной плоскости (рис. 7.2, б). Также коробление или пропеллерность можно определить рейкой с отвесом, устанавливаемой на вертикально стоящую конструкцию

параллельно боковой грани на ее концах (рис. 7.2, в). Разность отсчетов, фиксирующих положение нити отвеса относительно шкалы в местах измерений, дает величину коробления.

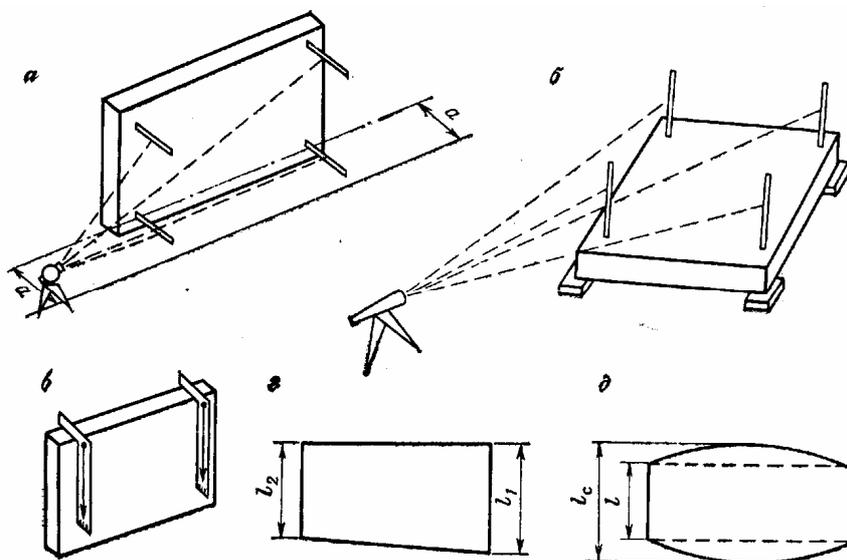


Рис. 7.2. Схемы способов контроля конструкций

Клиновидность и овальность также определяют измерениями рулеткой. Клиновидность характеризуется непараллельностью противоположных граней и равна разности крайних размеров  $l_1$  и  $l_2$  (рис. 7.2, г). Величину овальности (рис. 7.2, д) получают из разности размеров торцевой и средней части конструкции.

Околы углов, наплывы раковины, трещины также влияют на качество и точность строительно-монтажных работ. Их величину измеряют штангельциркулями, глубиномерами, щупами. Иногда применяют индикаторы часового типа [23].

Одновременно с проверкой геометрических параметров сборных железобетонных конструкций наносят на них монтажные оси и риски, по которым их устанавливают в проектное положение.

### 7.1.2. Разбивка осей зданий

Разбивку главных и основных осей сооружения выполняют на основании генерального плана строительной площадки, на котором указаны привязки осей зданий и сооружений к пунктам плановой и высотной разбивочных сетей, красных линий, пунктам строительной сетки. Оси разбивают на местности от пунктов плановой разбивочной основы. Вынос осуществляют способом прямоугольных или полярных координат, линейных или угловых засечек.

Для контроля перенесения в натуру основных осей прокладывают полигонометрический или теодолитный ход или выполняют контрольные промеры до сторон и пунктов основы, от существующих зданий и других элементов ситуации, а также измерением диагоналей и сторон прямоугольника, образованного основными осями.

После уравнивания результатов выполненных геодезических измерений и вычисления координат точек закрепления осей сравнивают их с проектными значениями и находят величины редуций. В случае недопустимых значений редуций изменяют положения центров осевых знаков на местности. После редуцирования производят контрольные угловые и линейные измерения.

Точность измерений линий при разбивке основных осей высотных панельных и каркасно-панельных зданий должна быть не менее 1:7000 – 1:10000, а средняя квадратическая погрешность измерений углов 3". Для обеспечения монтажа высотными данными рекомендуется с двух сторон здания расположить три рабочих репера. Их отметки определяют с точностью нивелирования IV класса от ближайших реперов городского нивелирования замкнутым ходом.

### **7.1.3. Построение обноски**

Для детальной разбивки зданий и сооружений, закрепления осей и передачи их в котлован и на фундаменты по периметру здания или сооружения устраивают обноску. *Обноска* представляет собой доску, прибитую к вкопанным в землю столбам.

Известны два вида обноски: сплошная и створная.

Сплошную обноску устанавливают строго параллельно основным осям, образующим внешний контур здания. Сплошная обноска должна быть прямолинейной, чтобы можно было откладывать по створу проектные расстояния для разбивки промежуточных осей, и горизонтальной, чтобы откладывать эти расстояния без введения поправок за наклон. Сплошную обноску применяют довольно редко из-за громоздкости и сложности ее построения, также она мешает работе землеройных машин и подъезду транспорта на стройплощадку.

Сплошная обноска окаймляет всё сооружение, скамеечную обноску устанавливают перпендикулярно к линии главных или основных осей. Располагают обноску в 3 – 5 м от котлована. Высота обноски обычно колеблется от 0,5 до 1,2 м, что позволяет производить на ней непосредственные измерения. Оси на обноске отмечают гвоздем с откраской масляной краской. Столбчатые обноски представляют собой отдельно стоящие столбы, на торцы которых выносятся оси.

Для устройства обноски провешивают с помощью теодолита линии, параллельные основным осям, образующих внешний контур здания. Вдоль осей через 2 – 3 м намечают места установки столбов (стоек) обноски. Центры стоек должны быть на линии створа. На обноску с помощью теодолита переносят основные оси здания.

Для этого теодолит устанавливают над точкой, закрепляющей одну из осей. Трубу наводят на знак, расположенный на противоположном конце оси. Меняя угол наклона трубы теодолита, проектируют этот знак на верхний срез обноски, проекцию отмечают вырезом, карандашом или краской. Операцию повторяют при другом положении вертикального круга. За окончательное положение оси принимают среднее из двух положений [1].

Промежуточные оси находят непосредственно путем откладывания по верхнему краю обноски проектных расстояний. Сплошные обноски устанавливают по всему периметру здания при строительстве зданий со сложной конфигурацией.

При строительстве простых по конфигурации зданий ставят разреженную обноску, на которую выносят только те оси, которые необходимы при монтаже подземного цикла.

Если здание строят на холмистой местности, то устанавливают или разреженную обноску или сплошную ступенчатую.

Применение створной обноски более рационально. Она устраивается лишь в местах закрепления осей на произвольном расстоянии от контура здания.

Обноска должна удовлетворять следующим требованиям:

а) стороны обноски должны быть параллельны соответствующим продольным и поперечным осям;

б) обноска должна быть прямолинейной, т. е. при измерениях по ней мерный прибор должен укладываться в створе (прямолинейность обноски задается теодолитом);

в) обноска должна быть горизонтальной, чтобы при откладывании по ней расстояний поправками за наклон можно было пренебречь (отметку для установления обноски на один уровень необходимо выносить нивелиром).

Для разбивки основных осей на основе генплана и разбивочного чертежа фундамента составляется специальный разбивочный чертеж, на котором выписываются все расстояния между осями [3].

Рассмотрим последовательность выполнения работ при построении на обноске осевой разбивочной основы.

1. На построенную обноску с помощью теодолита выносят главные оси, устанавливая прибор в закрепленных на местности точках пересечения основных осей (углах здания).

2. Приняв положение одной продольной и одной поперечной осей за твердые, неизменные, от них откладывают по обеим параллельным сторонам обноски проектные расстояния, фиксируя (отмечая) на обноске продольные и поперечные оси.

Линейные измерения на обноске производят инварной лентой или компарированной стальной рулеткой со средней квадратической погрешностью 1:25000. В процессе измерений вводят поправки за компарирование и температуру, если суммарная поправка составляет 0,5 мм на одно уложение мерного прибора.

Расстояния между разбивочными осями в производственных зданиях выбирают кратными 1 м, а в сооружениях – 100 мм (0,1 м). На обноске положение оси фиксируется остро отточенным карандашом и подписывается.

Последовательно откладывая мерный прибор и фиксируя разбивочные оси, приходят к конечной оси, вынесенной на обноску ранее в качестве исходной. Вследствие погрешностей измерений конечная ось не будет совпадать с осью, полученной путем измерений на обноске. Расхождение не должно превышать 1 – 3 мм, в противном случае несколько перемещают намеченные оси так, чтобы распределить разности на ближайшие пролеты.

3. Окончательное положение оси на обноске фиксируют небольшим гвоздем на дереве или керном (царапиной) на металле, обводят масляной краской и подписывают номер. Во время строительства нужно следить за состоянием осей.

Закрепление осей зданий производят на обноске и постоянными знаками или открасками на зданиях вне зоны земляных работ.

#### **7.1.4. Геодезическое обеспечение устройства котлованов под фундамент**

**Разбивка котлованов.** При устройстве котлованов выполняется следующий комплекс геодезических работ:

- проверка геодезических данных на рабочих чертежах проекта;
- разбивка и закрепление контуров котлована;
- нивелирование дневной поверхности в пределах контура котлована;
- передача разбивочных осей и высотных отметок на дно котлована;
- периодические исполнительные съемки для подсчета объемов земляных масс;
- окончательная плановая и высотная исполнительные съемки открытого котлована.

До начала разбивки котлована по проектному чертежу составляется подробная схема с данными привязки котлована к геодезической основе и всеми разбивочными элементами.

Рабочие чертежи определяют контур котлована по габаритам нижнего обреза фундамента, т. е. дают привязку в плане низа откосов котлована.

Разбивка на местности контура котлована ведется от основных и вспомогательных осей здания, нанесенных на обноске, способом промеров.

От основных осей здания производится разбивка угловых точек контура здания, контура основания откоса на проектной отметке глубины котлована и контура верхней бровки котлована на проектной отметке будущей планировки [1].

**Производство земляных работ.** По мере разработки котлована контроль выравнивания дна его осуществляется с помощью визирок.

После зачистки откосов и дна котлована производится исполнительная съемка как в плане, так и по высоте. При этом плановая съемка контуров котлована производится путем промеров с помощью стальной рулетки от разбивочных осей здания. Все высоты для земляных работ по котловану определяют нивелированием IV класса с точностью  $m_h = 1$  см.

При устройстве котлована производятся текущие и окончательные замеры объемов земляных масс. Эти замеры производятся по способу квадратов.

Для контрольного подсчета объемов вынутого грунта до начала работ внутри контура верхней бровки нивелируют поверхность по сетке квадратов 10 на 10 м, разбиваемой параллельно продольной и поперечной осям здания. За пределами контура котлована поперечники через 10 м закрепляют столбами. Данные нивелирования на день замера наносят на вычерченные поперечные профили. Планиметром определяют площадь, образуемую на профиле линией поверхности до начала работ и линией выемки грунта при замере. Вынутые объемы подсчитывают по известным формулам с учетом разрыхления грунта.

Для зачистки дна котлована под бетонную подготовку следят за недобором грунта на 10 – 20 см. Оставшийся слой выбирают по кольям-маякам, устанавливаемым через 10 – 20 м в ямках на проектную отметку по нивелиру от двух рабочих реперов, снесенных в котлован двойным ходом IV класса. Между маяками производят зачистку по трем одинаковым по высоте визиркам. После зачистки дна котлована контур основания разбивают на дне от осей, перенесенных в котлован от знаков внешней основы, или от осей, закрепленных на обноске, теодолитом при двух положениях круга. Дно котлована нивелируют по квадратам и составляют исполнительную схему – один из документов скрытых работ. По данным этой схемы определяют окончательный объем грунта, вынутого из котлована [16].

**Перенос осей и отметок на дно котлована.** Для разработки котлована необходимо согласно проекту разбить на местности от основных осей проекцию контура его основания, наметить бровки откосов, передать на дно котлована проектную отметку и проверить планировку дна и откосов.

Разбивка котлована может быть произведена одновременно с детальной разбивкой осей фундамента. Вокруг проектируемого сооружения намечают дополнительную обноску, положение которой на местности определяют от основных осей способом прямоугольных координат. На обноску способом створов переносят с общей обноски продольную и поперечную основные оси фундамента и закрепляют их на двух сторонах обноски. От этих осей рулеткой откладывают проектные расстояния до всех граней и контуров котлована и фундамента, закрепляют их и подписывают номера осей.

Соединив одноименные точки на обноске тонкой проволокой, получают контур той или иной части сооружения. Для обозначения на местности границ котлована пересечение соответствующих проволок (осей) проектируют отвесом на землю и закрепляют колышками.

Когда котлован вчерне вырыт, на дно его передают высоты от ближайших реперов.

Если откосы котлована пологие, эта передача осуществляется несколькими постановками нивелира. Когда откосы крутые и постановка прибора на них невозможна, высоты определяют при помощи двух нивелиров и рулетки (рис. 7.3).

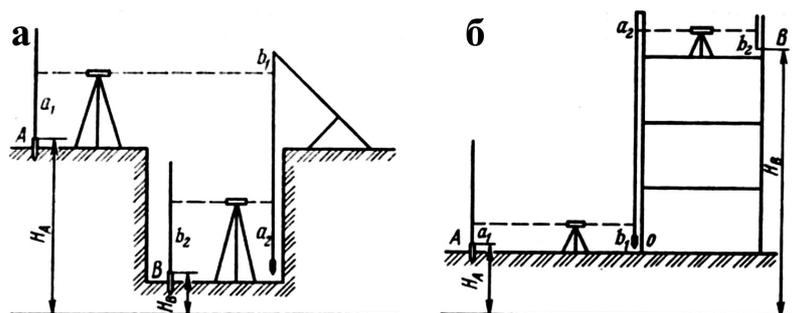


Рис. 7.3. Передача отметок в котлован и на монтажные горизонты

На бровке котлована прикрепляют к кронштейну рулетку и опускают на дно, подвесив на конец груз, равный натяжению при ее компарировании. Между ближайшим репером и кронштейном, соблюдая принцип равенства плеч, устанавливают нивелир, второй нивелир ставят в котловане, посередине между рулеткой и точкой, на которую определяют высоту. На репере и точке в котловане устанавливают рейки, по ним берут отсчеты. Затем одновременно оба нивелировщика отсчитывают по рулетке.

Высота точки  $B$  в котловане будет:

$$H_B = H_{РЕП} + a - d - b, \quad (7.1)$$

где  $H_{РЕП}$  – высота репера;

$a$  и  $b$  – отсчеты по рейкам, установленным на репере и в котловане;

$d$  – разность отсчетов между нижним и верхним нивелирами по рулетке.

Для контроля можно передать отметку от другого репера, изменив при этом подвеску рулетки. При выполнении земляных работ достаточно передать отметку на дно котлована с погрешностью 1 см [1; 17].

От точки в котловане (как от рабочего репера) устанавливаются в натуре проектные высоты для окончательной зачистки дна.

Когда котлован готов, приступают к его исполнительной съемке.

### **7.1.5. Геодезические работы при возведении фундаментов**

Монтаж фундаментов зданий и сооружений начинают после приемки подготовленного основания, проверки его соответствия рабочим чертежам, составления исполнительной документации по результатам земляных работ на котловане (траншее) и надежного закрепления проектных осей (основных, главных, пролетных, межсекционных) и высот на обносках и выносках (створных знаках).

Исходными материалами для проведения геодезических работ при монтаже фундаментов являются схемы осей зданий и сооружений с расстояниями между ними и привязкой к конструкциям фундаментов, планы и разрезы фундаментов и котлованов под несущие конструкции и технологическое оборудование, отметки опорных поверхностей оснований и фундаментов и другие элементы конструктивной части проекта зданий и сооружений.

В зависимости от конструкции здания, величины нагрузок и несущей способности грунтов основания находят применение следующие виды фундаментов:

- ленточные (сборные или монолитные) – для строительства зданий высотой до 16 этажей, сборных или монолитных, на грунтах с высоким нормативным сопротивлением;
- отдельные – под колонны и технологическое оборудование (сборные или монолитные, в том числе «стаканного» типа) – для строительства каркасных жилых, административных и промышленных зданий;
- плитные монолитные (плоские, ребристые, коробчатые) – для строительства каркасных зданий выше 16 этажей при высоких нагрузках на колонны и невысокой несущей способности грунтов;
- свайные (со сборным или монолитным ростверком) – для строительства многоэтажных зданий на грунтах с ограниченной несущей способностью (насыпных в зоне вечной мерзлоты и др.), подстилаемых более прочными грунтами [9, 25].

Точность устройства фундаментов характеризуется величиной смещения осей элементов относительно монтажных осей и смещением плоскостей и опорных поверхностей от проектного положения по высоте.

При возведении **фундамента из монолитного железобетона** на естественное дно котлована укладывают слой щебенки или бетонной смеси и на этой подготовке устраивают опалубку, представляющую собой как бы форму будущего фундамента. В эту форму устанавливают арматуру и закладные части и затем заполняют ее бетоном. Внутренняя часть опалубки должна быть построена таким образом, чтобы возводимое сооружение и его отдельные части по своим размерам, плановому и высотному положению в точности соответствовали проекту.

При построении опалубки используют оси, закрепленные на обноске. Допустимые отклонения от проекта для опалубки могут составлять  $\pm 5 - 10$  мм.

В высотном отношении основные плоскости опалубки устанавливаются в проектное положение по отметкам, вынесенным нивелиром от ближайших реперов с точностью 3 – 5 мм.

При сборке опалубки фундаментов особое внимание обращают на правильную установку в плане и по высоте всех закладных частей и в первую очередь анкерных устройств, служащих для закрепления металлоконструкций и оборудования, а в зданиях из железобетонных конструкций – на точную разбивку стаканов для установки железобетонных колон.

При сооружении *ленточных фундаментов* стен дополнительно следят за разбивкой вводов в здание подземных коммуникаций. На определенной отметке и по назначенному в проекте расстоянию устанавливают в опалубке деревянные пробки несколько большего диаметра, чем труба коммуникаций. При бетонировании фундамента в этих местах остаются отверстия, к которым в последствии подводят коммуникации.

Для установки *железобетонных блоков сборного фундамента* естественное или искусственное основание котлована тщательно выравнивают по нивелирным точкам.

Габаритные и основные оси фундамента, закрепленные на обноске, наклонным визированием при двух положениях круга теодолита передают в котлован и по ним монтируют угловые блоки и между ними через 15 – 20 м так называемые «маячные блоки». Опираясь на эти блоки, устанавливают все промежуточные блоки, используя в качестве параллельной оси монтажную проволоку, смещенную от разбивочной оси на половину стороны блока. Одновременно блоки устанавливают по нивелиру на проектную отметку. Высотное отклонение находят из нивелирования. Величина этих отклонений допускается в плане до  $\pm 10$  мм, по высоте – до 10 мм.

Монтаж сборных ленточных фундаментов (рис. 7.4) начинают с установки угловых подушек и блоков по проволоке, натянутой на осевых гвоздях обноски.

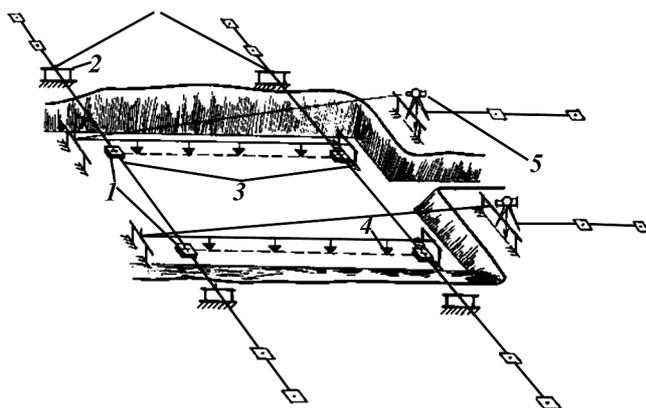


Рис. 7.4. Схема разбивки сборных ленточных фундаментов: 1 – маячные блоки; 2 – обноски; 3 – проволока; 4 – отвесы; 5 – теодолит

При значительной длине здания (более трех секций) устанавливают ряд промежуточных (маячных) блоков с интервалом 15 – 20 м. Остальные блоки укладывают по причалке, закрепленной по внешней грани ранее смонтированных блоков. На уложенные подушки фундаментов переносят оси, фиксирующие внутренние грани фундаментных блоков, и по рискам этих осей осуществляют монтаж блоков.

Правильность установки блоков в плане проверяют (рис. 7.5.) от отвесов с осевой проволокой, боковым нивелированием или вешением с помощью теодолита, а по вертикали и горизонтали – отвесом и уровнем.

Затем швы между рядами блоков заделывают, расстилают цементный раствор и укладывают гидроизоляцию. Одновременно с геодезическим контролем монтажа фундаментных блоков производят разбивку вводов в здание подземных коммуникаций, используя продольные и поперечные строительные оси, для чего в кладке блоков оставляют необходимые отверстия с учетом проектной отметки ввода.

После окончания монтажа первого ряда блоков производят нивелирование. Отклонения в положении верхней поверхности блоков от горизонта исправляют при устройстве горизонтального шва (постели) для следующего ряда блоков. После укладки каждого ряда блоков вертикальные швы между ними заполняют раствором.

После окончания монтажа фундаментных блоков производят проверку их расположения с составлением исполнительной схемы, на которой показывают смещение блоков от осей и колебания фактических отметок от проектных. По результатам исполнительной съемки производят выравнивание монтажного горизонта для укладки плит перекрытия над подвалом или техническим подпольем [1].

Устройство *монолитных ленточных фундаментов* (рис. 7.6.) начинается с возведения опалубки. В ней устанавливают арматуру, после чего заполняют ее бетоном до необходимой отметки. Внутренние грани опалубки совпадают с гранями фундамента.

Опалубку устанавливают в проектное положение от закрепленных на обноске строительных осей с помощью теодолита или отвесов. Контроль высоты выполняют по не затвердевшему бетону нивелиром. Рейку ставят на лист фанеры или жести, чтобы пятка ее не утапливалась в бетоне.

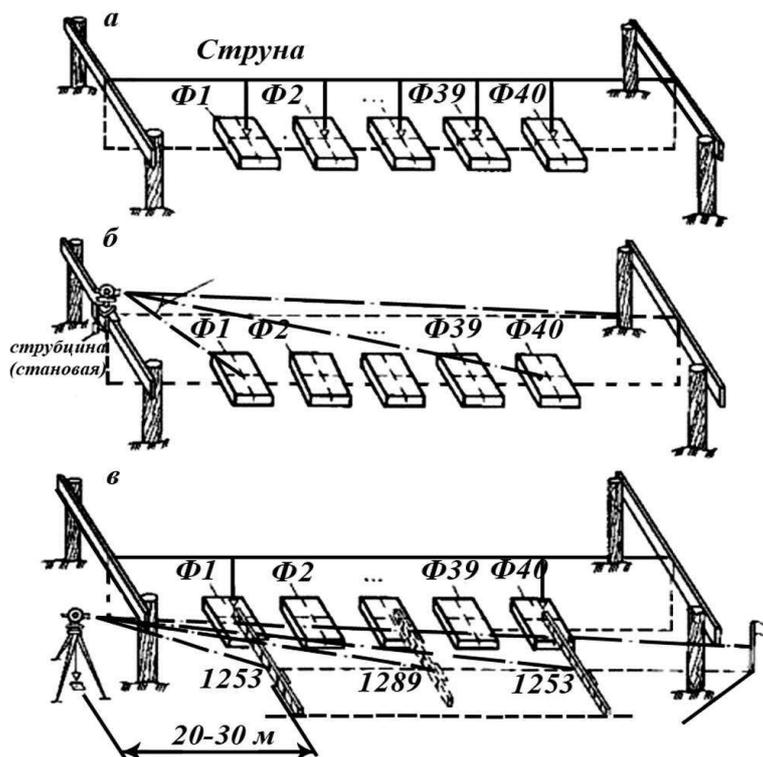


Рис. 7.5. Контроль установки блоков фундамента:  
 а – способом струны; б – теодолитом; в – способом бокового нивелирования

Верхний обреш фундаментa намечают на опалубке гвоздями или краской и выносят от высотной основы с помощью нивелира.

Положение опалубки контролируют от разбивочных осей. Уменьшение внутренних размеров поперечных сечений короба опалубки недопустимо. Вертикальность установки опалубки проверяют отвесом, высотное положение – нивелиром.

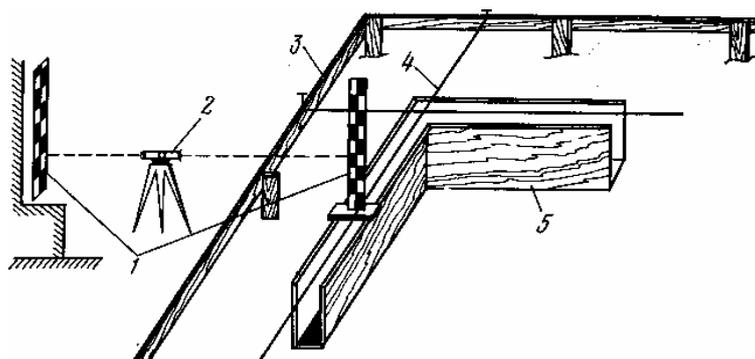


Рис. 7.6. Опалубка под монолитный ленточный фундамент:  
 1 – рейки; 2 – нивелир; 3 – обноска; 4 – осевые проволоки; 5 – короб опалубки

После заполнения короба опалубки бетоном его выравнивают деревянным брусом. Для точного выравнивания в незатвердевший бетон вбивают металлические штыри, устанавливая их верхушки на нужной высоте, и ровняют бетон по поверхности штырей.

В незатвердевший бетон можно закладывать металлические пластины (скобы) для фиксации на них осей и отметок. Выполнение этой операции с внутренней стороны фундамента особенно необходимо, если в дальнейшем в подвальной части будет устанавливаться технологическое оборудование.

Для установки на монолитных ленточных фундаментах колонн в тело фундамента закладывают анкерные болты.

*Отдельные фундаменты под колонны* (рис. 7.7.) сооружают из монолитного или сборного железобетона, а под технологическое оборудование только из монолитного. Фундаменты под колонны обычно выполняют квадратными в плане, под технологическое оборудование произвольной формы, зависящей от характера оборудования.

Фундаменты высотой более 0,5 м сооружают ступенчатыми. Ступени монолитных фундаментов выполняют с горизонтальными поверхностями, а ступени сборных – с наклонными поверхностями пирамидальной формы.

Опалубку для монолитного фундамента устраивают из коробов, которые в плановое положение устанавливают по рискам на их ребрах (рис.7.7, а) или по рейкам (рис. 7.7, б).

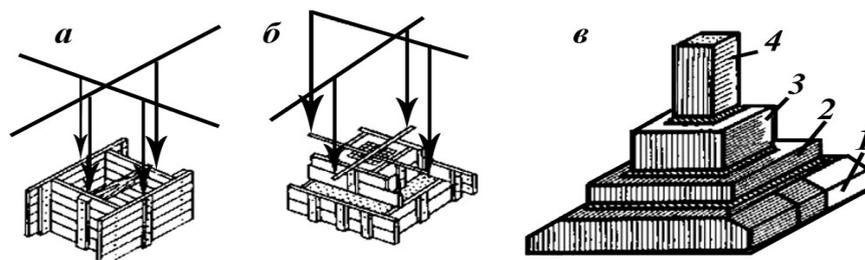


Рис. 7.7. Устройство фундаментов под колонны:

а, б – опалубка под монолитный фундамент, устанавливаемая по рискам на гранях и рейкам;  
в – сборный фундамент; 1 – подушка; 2 – блок фундамента; 3 – стакан; 4 – колонна

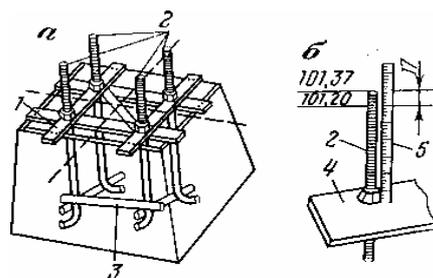
Для этого на верхних кромках щитов намечают середину короба и поверх него прибивают рейки. Грани реек должны располагаться по осям короба. С проволок, натянутых по осям колонны над котлованом, опускают отвесы и двигают короб до тех пор, пока обе риски или прибитые к коробу рейки не коснутся шнура отвесов (см. рис. 7.7, б). В этом положении короб прочно закрепляют. Короб фундамента под сборную колонну обычно бетонируют не до проектной отметки, а несколько ниже, чтобы в последующем можно было произвести подливку и выравнивание бетона под проектную отметку, внесенную нивелиром на опалубку. По окончании бетонирования теодолитом на верхнюю плоскость фундамента наносят продольные и поперечные оси колонн, отмечая их рисками на бетоне или на заранее заложенных металлических скобах или пластинах. Затем производят высотную исполнительную съемку фундаментов. Рейку располагают по углам прямоугольника фундамента и в его центре [1, 5].

Железобетонные колонны устанавливают на *фундамент стаканного типа*. Укладку плит производят по закрепленным на местности осям. Правильность установки плит проверяют теодолитом, а по высоте – нивелиром. Проверку горизонтальности основания выполняют с помощью нивелира или строительного уровня, планировку основания проверяют с помощью рейки, укладываемой на основания в различных направлениях. При устройстве стакана бетонирование его дна не доводят до проектной отметки на 2 – 3 см с тем, чтобы после нивелирования заполнить днище цементным раствором до нужной отметки. Дно углублений фундаментов (стаканов) нивелируют по всем углам и посередине. По насечкам на фундаментах проверяют расстояние между осями, определяют их смещения и расстояние от осей до стенок стаканов фундаментов или до закладных частей. Отверстия для анкерных болтов шаблона должны соответствовать в плане отверстиям на башмаке колонны. Также нивелируют поверхность закладных деталей и торцы анкерных болтов.

До сдачи фундаментов необходимо закончить укладку подземных коммуникаций, засыпку, планировку и уплотнение грунта прилегающих площадок. На фундаменты наносят основные, а при необходимости и вспомогательные оси и фиксируют высотные отметки.

Порядок контроля при возведении фундамента под металлические колонны аналогичен описанному выше. Дополнительной работой в данном случае является установка анкерных болтов с помощью специальных кондукторов, прочно прикрепленных к опалубке фундамента (рис. 7.8.).

Рис. 7.8. Схема установки анкерных болтов под металлические колонны (а) и контроль их по высоте (б): 1 – шаблон; 2 – анкерные болты с гайками; 3 – крепление болтов снизу; 4 – доска шаблона; 5 – металлическая линейка



Для точной установки анкерных болтов на каждую типичную группу анкерных устройств изготовляют особый шаблон. Простейший шаблон под колонны с небольшой нагрузкой можно изготовить из прочных деревянных досок, неподвижно скрепленных между собой и с опалубкой. Под колонны со значительной нагрузкой вместо деревянных шаблонов изготовляют стальные.

При установке анкерных болтов важно, чтобы шаблон был прочно прикреплен к опалубке и не деформировался, а сама опалубка изготовлялась из прочного материала и надежно крепилась.

На шаблонах прочерчивают оси, соответствующие осям на опалубке. Оси шаблонов и опалубки должны совмещаться.

Высотную установку болтов до проектной отметки производят при помощи нивелира. Приблизительно установленные болты нивелируют от исходного репера. Затем при помощи миллиметровой линейки определяют разность между проектной и фактической отметками. После окончательной установки болтов по высоте их сваривают между собой кусками арматурного железа и бетонируют фундамент.

После затвердевания бетона гайки и шаблон снимают, болты нивелируют, а по полученным отметкам у их основания в полузатвердевший бетон вбивают на проектную отметку гвозди, по которым производят затирку поверхности опирания башмака на колонны.

Измерения по высоте при установке гвоздей выполняют металлической линейкой. При расчете проектных отметок необходимо учитывать толщину шаблона в местах выхода анкерных болтов.

Затем производят контрольную съемку. Ее выполняют теодолитом, который устанавливают на створных знаках двух взаимно перпендикулярных осей. По вертикальной нити теодолита берут отсчет на металлической линейке с миллиметровыми делениями, прикладываемой к центру анкерного болта.

Для сооружения фундаментов из монолитных плит (рис. 7.9.) контур бетонной подготовки задают причалками (проволами). По разбитому контуру устраивают опалубку, на которую, как на обноску, выносят и закрепляют строительные оси. Верхний обрез опалубки обычно устанавливают на проектной высоте поверхности бетонной подготовки при помощи нивелира. Всю площадь бетонной подготовки делят на секции. По границам секций укладывают деревянные или металлические бруски (уголки) на проектной высоте поверхности бетона. По этим брускам бетон выравнивают рейками.

После сооружения бетонной подготовки, укладки гидроизоляционного ковра и бетонной стяжки на внешний контур наносят монтажные оси здания и технологического оборудования. Пересечения осей на бетонной стяжке маркируют и нумеруют. От этих осей укладывают сетки арматурной плиты. Для ребристых плит от осевых знаков на бетонной подготовке задают оси и грани опалубки для установки арматуры и бетонирования ребер.

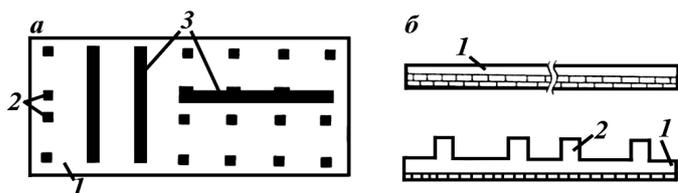
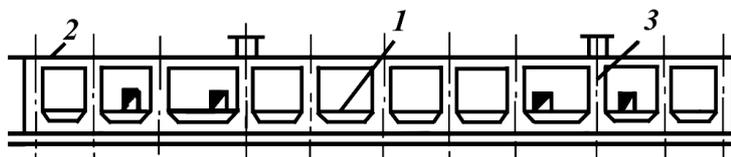


Рис. 7.9. Фундамент в виде монолитной плиты:  
а – плоская плита: 1 – монолит; 2 – колонны каркаса;  
3 – связевые диафрагмы; б – ребристая плита:  
1 – нижняя плита; 2 – перекрытие ребра

Первый и последний ряды стержней горизонтальной арматуры укладывают на проектную высоту по нивелиру. Установку опалубки ребер выполняют как для ленточных, так и монолитных фундаментов.

Коробчатый фундамент (рис. 7.10.) состоит из нижней плиты, стен и верхней плиты. Под нижней плитой устраивают бетонную подготовку, как для плитного монолитного фундамента. Для установки вертикальной арматуры и опалубки стен на верхние стержни горизонтальной сетки арматуры выносят оси и закрепляют их насечкой или откраской. До бетонирования стен производят исполнительную съемку опалубки.

Рис. 7.10. Коробчатый фундамент: 1, 2 – нижняя и верхняя плиты фундамента; 3 – стены (ребра)



Для разбивки верхней плиты после бетонирования стен до проектной отметки к вертикальной арматуре приваривают горизонтальные стержни и выносят на них продольные и поперечные оси. На вертикальную арматуру выносят нивелиром высоты для установки каркаса и бетонирования верхней плиты [1].

**Разбивка свайных фундаментов.** Фундаментные сваи обычно проектируют рядами и располагают кустами. Для разбивки свайного поля основные оси переносят в котлован теодолитом и закрепляют невысокими временными знаками (10 – 15 см над поверхностью основания). В соответствии с проектом от основных осей разбивают вспомогательные оси. Вдоль всех осей натягивают монтажную проволоку и способом прямоугольных координат или промерами по створу определяют положение центра свай.

Так как для этих работ не требуется высокой точности, то измерения выполняют рулетками или лентами непосредственно по дну котлована с точностью 1 – 2 см.

Свайные фундаменты (рис. 7.11.) сооружают в соответствии с планом осей и планом свайного поля.

Центры свай размечают либо от закрепленных основных осей с помощью теодолита и рулетки, либо от осевых проволок. Теодолит устанавливают над створными осевыми знаками, ориентируют по створу оси и по этому направлению откладывают проектные расстояния до центров свай. Центры свай можно определять с помощью отвесов, подвешенных на пересечении осевых проволок.

При кустовом расположении описанным способом намечают центр куста и от него разбивают центры свай. Детальную разбивку удобно производить от центральных точек специальным шаблоном, если размеры куста не превышают 3 м. Невысокая точность разбивки свайных полей в плане (порядка 0,2 от диаметра сваи) позволяет устанавливать шаблон по осям на глаз по закрепленным на нем целикам.

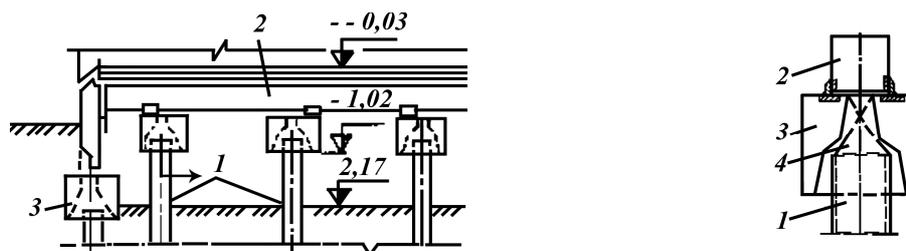


Рис. 7. 11. Свайный фундамент:

1 – свая; 2 – железобетонный ростверк; 3 – железобетонный оголовок; 4 – бетон

Для свай, расположенных не на осях и удаленных от центра куста, их положение определяют от осей способом перпендикуляров.

Забивку свай производят после окончания земляных работ в котловане. Сваи располагают в один или несколько рядов или объединяют их в группы – кусты. Сваи забивают отвесно (допустимое отклонение от вертикали 0,01 м) до проектной отметки, задаваемой нивелиром. По окончании забивки свай на их оголовки выносят проектную отметку низа опорной плиты (ростверка), по которой сваи срезаются.

После срезки свай выполняют исполнительную съемку с определением отклонений центров верха свай от проектного положения и их отметок.

По результатам исполнительной съемки определяют отклонение центра каждой сваи от проектного положения в плане и по высоте. Допустимое отклонение свай в плане с учетом их возможного неперпендикулярного погружения не должно превышать для свайных полей  $0,4D$ , где  $D$  – диаметр сваи. С большей точностью устанавливаются крайние ряды свай. При отклонении от их проектного положения расстояние в свету от сваи до края ростверка должно быть  $0,15D$ , но не менее 5 см.

Ростверки на свайных фундаментах, на которые опираются несущие конструкции, сооружают сборные или монолитные. В обоих случаях осуществляют контроль за горизонтальностью верхней поверхности ростверка.

Для бетонирования ростверка от основных осей производят разбивку опалубки с точностью до 1 см. На поверхность ростверка выносят и закрепляют в бетоне продольные и поперечные оси фундамента.

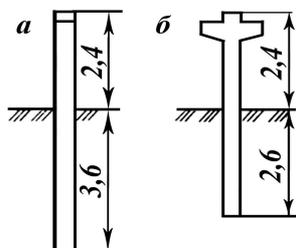


Рис. 7.12. Сваи – колонны: а – призматическая; б – с двухсторонними консолями

При разбивке свайных полей для зданий сложной конфигурации план здания разделяют на контуры и разбивку производят отдельно для каждого контура.

При небольших нагрузках на фундаменты, когда надземная часть здания, сооружения выполняет функции ограждающих конструкций, находят применение сваи-колонны (рис. 7.12.).

Сваи-колонны на глубину 2 – 5 м погружают в грунт, а надземная часть сваи выполняет функции колонны. Точность разбивки свай-колонн в плане, контроль вертикальности и установка по высоте должны отвечать требованиям для установки колонн. Глубину погружения сваи-колонны контролируют по горизонтальной высотной риске, нанесенной на ее грани до установки [1, 13].

## 7.2. Геодезические работы при возведении надземной части здания

### 7.2.1. Контроль монтажа панелей, блоков и перекрытий

По конструкции сборные здания можно разделить на крупнопанельные, каркасно-панельные, крупноблочные и кирпичные. Геодезическое обеспечение монтажа каждого вида зданий имеет свои особенности.

Перед началом монтажа технического подполья (цокольного этажа) контролируют верхнюю поверхность фундамента по высоте и правильность выноса осей на фундамент. По данным нивелирования устанавливают монтажный горизонт, за который принимают самую высокую точку фундамента. Всю плоскость фундамента выравнивают до отметки монтажного горизонта маяками.

Монтаж стен технического подполья начинают с установки угловых панелей (блоков) и на границах захваток. Вертикальность панелей контролируют рейкой-отвесом или уровень-рейкой. В плане блоки и панели стен технического подполья устанавливают по рискам осей на нижележащих блоках фундамента.

Перед укладкой плит перекрытия над техническим подпольем (подвалом, цокольным этажом) выполняют нивелирование опорных поверхностей стен и тщательное выравнивание монтажного горизонта с помощью маяков.

После установки плит перекрытий для обеспечения монтажа надземной части зданий на цокольные панели (блоки) выносят оси и надежно закрепляют их.

На плите перекрытия над подвалом выполняют разметку для установки панелей. Для этого от вынесенных на перекрытие продольных и поперечных осей для каждой панели наносят две риски в продольном направлении и одну-две в поперечном. Ориентирные риски в продольном направлении наносят со смещением от осевой линии панелей на величину, несколько превышающую толщину панелей. В поперечном направлении для панелей наружных стен наносят две риски, для внутренних – одну.

Монтаж обычно начинают с наружных стен. Первой устанавливают базовую панель на оси лестничной клетки, от нее ведут монтаж в обе сто-

роны. Внутренние поперечные и продольные панели монтируют, начиная с базовых, в центре захватки. Такая последовательность монтажа исключает накопление погрешностей.

Установку низа панелей относительно продольных рисок и их исполнительную съемку выполняют с помощью шаблонов, реек, метров (рис. 7.13.). После временного закрепления панелей подкосами, стойками их устанавливают по вертикали отвесом-рейкой, боковым нивелированием.

Расчетную отметку положения низа панелей – монтажный горизонт – фиксируют двумя маяками. Под плиты перекрытий устанавливают не менее четырех маяков. С особой тщательностью устанавливают смежные плиты перекрытий, которые являются потолком.

Затем производят нивелирование четырех углов плит перекрытия, переносят оси на перекрытия, выполняют разметку для установки панелей и т. д. Эти операции однотипны для каждого монтажного горизонта.

В последнее время находят применение различные методы принудительного монтажа. Существуют два варианта принудительного монтажа панелей с помощью стержневых фиксаторов, устанавливаемых снаружи панелей (рис. 7.14, а) или на верхней грани панели (рис. 7.14, б). В первом случае фиксаторы представляют собой обрезки арматуры или уголков, приваренные к закладным деталям или заделанные в панели перекрытий. При этом способе отпадает необходимость выверки панели в плане в поперечном направлении.

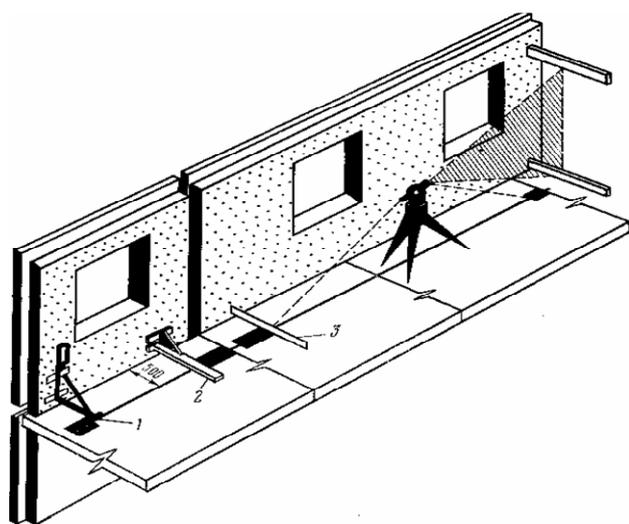


Рис. 7.13. Контроль планового положения низа панелей при монтаже: 1 – металлический шаблон; 2 – рейка; 3 – метр

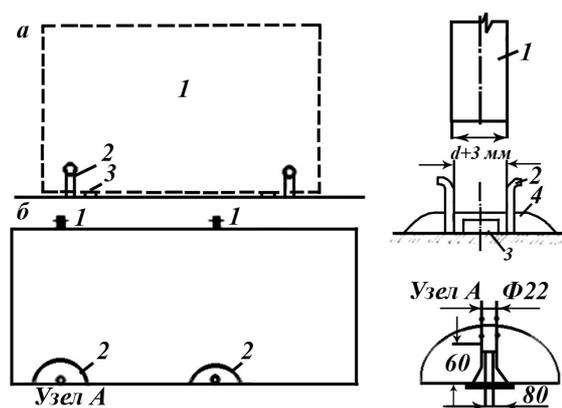


Рис. 7.14. Схема принудительного монтажа панелей: а – с помощью боковых фиксаторов: 1 – панель; 2 – фиксаторы; 3 – маяк; 4 – раствор; б – с помощью торцевых фиксаторов: 1 – фиксаторы с шайбами; 2 – лунки

Во втором случае фиксаторами являются два стержня с резьбой в верхней части. Резьба служит для установки на заданной отметке шайбы, соответствующей монтажному горизонту. При этом способе отпадает необходимость выверки панели в плане, как в продольном, так и в поперечном направлении.

С целью повышения точности установки панелей применяют кондукторы различных конструкций. Их применение незначительно сокращает объем геодезических работ при монтаже, так как сам кондуктор и его узлы требуют геодезического контроля при установке в плане, по высоте и вертикали.

В каркасно-панельных зданиях нагрузки передаются на колонны, а панели выполняют функции ограждающих конструкций. В поперечном направлении панели устанавливаются по проектным осям, нанесенным на оголовках колонн каркаса. Выверку установки простеночных панелей и панелей-вставок по вертикали осуществляют по проволоке, натянутой на проектном расстоянии от оси колонн по верху панелей.

При монтаже крупноблочных зданий устанавливают сначала в плане и по высоте угловые маячные блоки, а по ним – простеночные блоки. При этом производят разбивку подоконных блоков. Определение монтажного горизонта, контроль положения блоков в плане и по высоте, а также горизонтальности плит перекрытия осуществляют описанными ранее способами [1].

### **7.2.2. Контроль монтажа каркасных зданий**

Жилые высотные и административные здания, а также одноэтажные и многоэтажные промышленные здания обычно бывают каркасного типа. Каркас является несущим конструктивным элементом, через него передается на фундамент вся нагрузка от массы зданий и оборудования. Прочность, надежность каркаса, зависящие в немалой степени от качества и точности монтажа его элементов, определяют долговечность и эксплуатационные свойства здания.

Сборный железобетонный каркас (рис. 7.15.) состоит из колонн, ригелей, вертикальных диафрагм жесткости и плит перекрытий. Колонны каркаса обычно имеют высоту в два этажа (один ярус), но могут быть и длиннее (до 15 м). На консоли колонн опираются ригели, а на них – плиты перекрытий. Ригели с колоннами, плиты перекрытий с ригелями и диафрагмы жесткости с колоннами соединяют сваркой металлических накладок и связей. Ограждающие наружные панели между собой и к каркасу крепят также сваркой.

Стальной каркас высотных зданий состоит из колонн, ригелей и вертикальных связей.

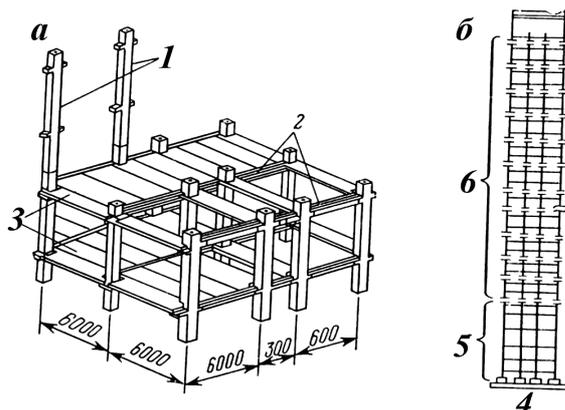


Рис. 7.15. Железобетонный каркас: а – одного яруса; б – многоярусного здания: 1 – колонны; 2 – ригели; 3 – плиты перекрытия; 4 – монолитный железобетонный фундамент; 5 – монолитный железобетонный каркас; 6 – сборный железобетонный каркас

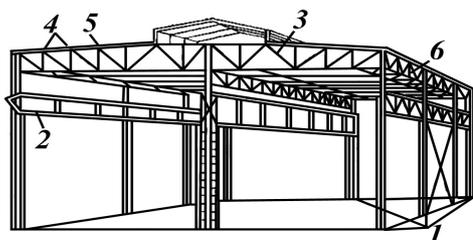


Рис. 7.16. Конструктивная схема промышленного здания: 1 – колонны; 2 – подкрановые балки; 3 – стропильные фермы; 4 – прогоны; 5 – кровля; 6 – подстропильные фермы

Для подбора колонн при установке в фундаменты стаканного типа расстояние на железобетонных колоннах измеряют от основания до полочки консоли, а горизонтальные риски наносят на одинаковом расстоянии от консолей, по которым будет производиться исполнительная высотная съемка консолей.

### 7.2.3. Установка колонн

Промышленные установки и цехи обычно проектируют в виде высоких одноэтажных зданий, оборудованных в верхней части колонн подкрановыми путями для передвижения кранов. Колонны устанавливают стальные или железобетонные на специально подготовленные фундаменты. В верхней части фундамента колонн закладывают небольшие геодезические знаки, на которые выносят теодолитом продольные и поперечные разби-

Конструктивными элементами одноэтажных промышленных зданий (рис. 7.16.) являются колонны, подкрановые балки, подстропильные фермы, балки или фермы и прогоны покрытий.

Железобетонные колонны имеют квадратное или прямоугольное сечение. Между собой они крепятся сваркой закладных деталей или стержневой арматуры.

Стальные колонны имеют башмак, который к фундаменту крепится анкерными болтами. Стальные колонны могут быть сплошными (из полос двутаврового прямоугольного или крестообразного сечения) или решетчатыми (из прокатных профилей или листов с поперечными металлическими связями).

Для облегчения контроля за монтажом колонн и для исполнительных съемок перед установкой они должны быть размечены и пронумерованы. При измерении высоты колонны вверху и внизу наносят осевые риски.

вочные оси. Головку знаков выводят на уровень проектной поверхности фундамента.

Каждая *металлическая колонна* ставится на подготовленный для нее фундамент таким образом, чтобы анкерные болты вошли в соответствующие отверстия башмаков и чтобы осевые метки на кромке основания колонны совпали с осями фундамента, закрепленными геодезическими знаками (рис.7.17.).

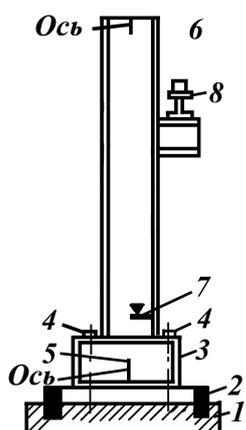


Рис. 7.17. Металлическая колонна:  
1 – фундамент; 2 – геодезические закладные знаки;  
3 – башмак колонны; 4 – анкерные болты;  
5 и 6 – нижняя и верхняя осевые риски;  
7 – горизонтальная метка; 8 – подкрановый путь

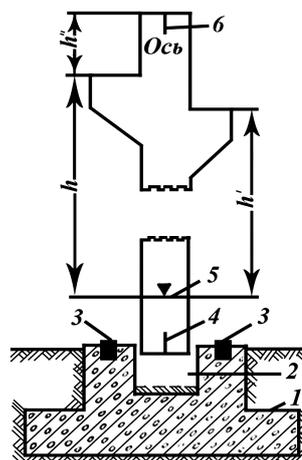


Рис. 7.18. Железобетонная колонна:  
1 – фундамент; 2 – стакан;  
3 – геодезические закладные знаки;  
4 и 6 – нижняя и верхняя осевые риски;  
5 – горизонтальная метка

По высоте поверхность фундамента или верхнюю плоскость опорных деталей, на которые опирается колонна, по нивелиру доводят до проектной отметки. Для монтажа с повышенной точностью торцы колонн фрезеруют и опирают их на выверенную стальную опорную плиту с верхней строганной поверхностью.

Отклонения поверхности фундамента и опорной плиты от проектной высоты подошвы колонны, а также в положении анкерных болтов не должны превышать величин, указания в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Вид отклонения	Допускаемое отклонение
Верхняя строганная поверхность опорной плиты: а) по высоте б) по уклону	$\pm 1,5$ мм 1/1500
Поверхность фундамента (или плоскость опорных деталей): а) по высоте б) по уклону	$\pm 5$ мм 1/1000
Анкерные болты: а) в плане (внутри контура опоры) б) по высоте верхнего торца болта	5 мм + 20; – 0 мм (односторонний допуск)

Одновременно с установкой колонны определяют высоту от ее основания до подкрановой консоли, которая не должна отличаться от проектной более чем на  $\pm 5$  мм. В вертикальном отношении колонны устанавливают при помощи отвесов или путем визирования теодолитом.

Для измерения крена колонн высотой до 5 м используют отвес, а для более высоких – теодолит (рис.7.19.). Его устанавливают на двух взаимно перпендикулярных направлениях разбивочных осей колонны на расстоянии  $1,5h$ . Наводят вертикальную нить зрительной трубы на верхнюю монтажную риску колонны  $A'$ . Проецируют её на миллиметровую линейку, горизонтально приложенную началом шкалы к нижней монтажной риске  $A$ , и устанавливают величину отклонения  $\Delta Y$ . Эту операцию повторяют при другом положении круга теодолита и находят среднее значение  $\Delta Y$ .

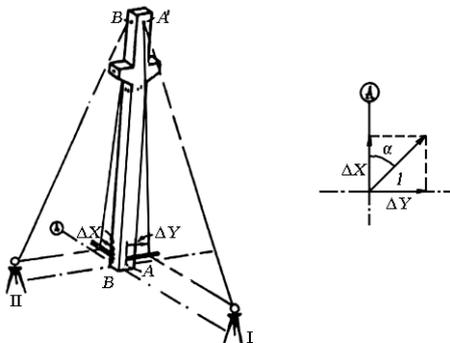


Рис.7.19. Схема измерения крена колонны

Таким же образом устанавливают среднее значение  $\Delta X$  с другой станции. Общую величину крена определяют по правилу параллелограмма.

Исполнительная съемка вертикальности колонн в поперечном направлении производится боковым нивелированием.

В продольном направлении колонны выверяют вертикальным проектированием верхней осевой метки вниз при двух положениях круга теодолита. Величина отклонения проекции верхней точки колонны от осевого знака фундамента не должна превышать  $1/1000$  высоты колонны, но не более 35 мм.

Основание железобетонных колонн заделывают в специальные углубления в фундаменте, называемые стаканами (рис. 7.18.). При строительстве опалубки и исполнительной съемке следят, чтобы не было перекоса стенок стакана, т. е. чтобы они располагались параллельно продольным или поперечным осям фундамента. Между стенками стакана и проектным положением граней колонн оставляют зазор шириной 2 – 3 см, который впоследствии заливают цементным раствором.

На фундамент выносят оси колонны, фиксируя их на геодезических знаках и тонкой линией на стакане. Дно стакана доводят до проектной высоты.

Для установки колонн в проектное положение в стаканах совмещают осевые метки на основаниях колонн с продольной и поперечной осями фундамента и как в металлических колоннах определяют при помощи нивелирования высоты оснований и горизонтальных меток, а также измеряют расстояния  $h$  – до подкрановых и верхних площадок. Закрепив низ ко-

лонны в стакане клиньями или в особом шаблоне, приступают к установке колонны в вертикальное положение, опуская тяжелые отвесы вдоль верхней и нижней пар осевых меток в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Исполнительная выверка вертикальности железобетонных колонн производится при помощи теодолита. При этом продольная ось может быть вынесена непосредственно на верхние площадки монтируемого ряда и относительно нее измерены поперечные отклонения каждой колонны. Выверка продольного наклона колонн вдоль ряда может быть проведена линейными промерами между осевыми метками в основании и верхней плоскости колонн [4].

Допускаемые отклонения в расположении отдельных элементов колонн в плане и по высоте по отношению к осям и заданным проектным плоскостям не должны превышать 5 мм. Допускаемые отклонения от вертикали те же, что и для металлических колонн.

Для установки строительных конструкций высотных сооружений, требующих большой точности в соблюдении вертикальности осей (2 – 3 мм при высоте сооружения 100 м и больше), применяют высокоточные теодолиты или зенит-приборы.

При монтаже одноэтажных промышленных зданий после закрепления и выверки колонн приступают к установке подкрановых балок, стропильных и подстропильных ферм.

Основными параметрами, характеризующими положение подкрановых путей и подлежащими контролю при их монтаже, являются прямолинейность осей рельсов и фактическая ширина колеи, так как именно они являются основными направляющими, вдоль которых перемещается кран.

Для укладки подкрановых балок на полу цеха и в конце пролета производится разбивка осей подкрановых путей. Для этого рулеткой от крайних колонн в направлении подкрановых консолей (внутри пролета) составляют перпендикуляры проектной длины и получают точки, фиксирующие оси подкрановых путей, на полу цеха (после проверки расстояния между осями путей). Устанавливают теодолит последовательно в этих точках и визируют на противоположные осевые точки. Затем при двух положениях трубы проектируют оси на скобы, предварительно замонтированные в торцевых стенах цеха, и на поверхности консолей колонн, крайних по каждому ряду. На скобах и консолях оси путей тщательно фиксируют тонкими рисками. Нанесение осевых рисок на плоскости консолей промежуточных по рядам колонн можно выполнять следующими способами:

- подвешивая отвесы над каждой консолью колонны на натянутые через осевые риски проволочные струны;
- натягивая струну через риски консолей крайних в рядах колонн и фиксируя ее след на плоскостях промежуточных колонн;

– над осевой риской крайней в ряду колонны с помощью тяжелой подставки устанавливают теодолит и визируют на риску консоли противоположной конечной по ряду колонны. Затем прямым визированием проектируют (и закрепляют рисками) следы оси на плоскостях консолей всех промежуточных по ряду колонн.

После разметки осей верхние плоскости обоих рядов нивелируют (по намеченным ранее горизонтальным рискам или устанавливая нивелир непосредственно на плоскость какой-либо консоли).

Одновременно на внутреннюю грань колонны выше плоскости консоли выносят и отмечают риской некоторый условный горизонт, превышающий отметку верхней плоскости подкрановой балки 5 – 10 см. По этим рискам контролируют толщину металлических подкладок, регулирующих положение подкрановых балок по высоте.

По результатам нивелирования вычисляют отметки основания подкрановых балок по обоим рядам колонн и составляют исполнительные чертежи – профили основания подкрановых балок по обоим рядам в масштабах 1:100 по горизонтали и 1:10 по вертикали.

Руководствуясь этими исполнительными чертежами, устанавливают некоторый горизонт основания подкрановых балок, который регулирует толщину подкладок.

По окончании монтажа балок выверяют их плано-высотное положение. Для этого вновь пользуются подвешенными на проволоке (струне) отвесами и выполняют нивелирование поверхности балок над каждой опорой в порядке, изложенном выше.

Для монтажа ферм наносят оси на оголовки крайних колонн ряда, отмечая центры оголовков. С помощью теодолита или натянутой между крайними колоннами проволоки наносят оси на промежуточные колонны.

На подготовленные к монтажу фермы необходимо нанести риски продольных и поперечных осей. Одновременно проверяют фактическую длину монтируемых ферм.

Соответствие фактических отметок опор ферм их проектным значениям проверяют геометрическим нивелированием.

Для стропильных и подстропильных стальных ферм необходимо производить выверку горизонтальности поясов и вертикальности плоскостей ферм. Прямолинейность поясов рекомендуется проверять натягиванием шнура или проволоки между опорными узлами. Вертикальность плоскости ферм рекомендуется проверять отвесом. Исправления положения производят подтягиванием конструкции пробками и болтами через отверстия в прогонах с последующим закреплением связями.

Отклонение узла фермы в середине пролета от вертикальной плоскости, проходящей через центр опор, необходимо измерять стальной линейкой с миллиметровыми делениями от шнура подвешенного отвеса.

При монтаже колонн многоярусного каркаса до монтажа каждого последующего яруса после сварки колонн, сборки ригелей и других связей производят плановую и высотную съемки смонтированного каркаса с целью последующего исправления появившихся отклонений от проектного положения. Здесь нужно отметить следующие обстоятельства. Каждая операция монтажа каркаса (установка колонн, укладка ригелей и плит перекрытий, сварка стыков и др.), а также деформационные изменения каркаса влияют на вертикальность колонн, что приводит к смещениям в плане их торцов и других элементов каркаса. В результате оказывается, что после окончания монтажа очередного яруса каркас в плановом и высотном положении отклоняется от проектного на недопустимые величины. Общая закономерность накопления погрешностей монтажа пока не установлена. Очевидно, что для обеспечения конечных допусков на смещение колонн в плане и от вертикали точность монтажа всех ярусов по вертикали должна быть в три-четыре раза выше той, что указана в соответствующих главах строительных норм и правил.

Для одного-двух ярусов каркаса, если ригели, плиты перекрытий, связи и монтажные устройства не мешают визированию, отклонения колонн определяют способом бокового нивелирования (теодолитом или приборами вертикального проектирования) или наклонным проектированием по осевым рискам.

#### **7.2.4. Контроль кирпичной кладки**

При возведении кирпичных стен на поверхности фундамента при помощи стальной рулетки намечают грани и оси всех продольных и поперечных стен. Внешние и внутренние стены фиксируют карандашными рисками, между которыми натягивают натертый мелом шнур, и отбивают ось или грань стены. Если здание имеет каркас, то разбивку осей стен можно производить от осей колонн каркаса.

Вертикальность кирпичных стен и узлов кладки, горизонтальность ее рядов контролируют не реже чем через 1 м высоты кладки. Прямолинейность и горизонтальность кладки стен проверяют причалкой-шнуром, натягиваемым по внешней плоскости стены. Неровности поверхности кладки определяют двухметровой рейкой путем наложения ее на поверхность стены.

Для проверки толщины стен используют шаблон, правильность слоев кладки контролируют при помощи порядовок (рис.7.20.), на которые

наносят деления через 75 мм. Кроме того, отмечают уровни закладки блоков, перемычек, подоконников, и др. Шнур, натянутый между соответствующими делениями порядовок, устанавливаемых через 10 – 12 м, определяет линию кладки.

По мере возведения здания при передаче отметок в стены закладывают специальные марки. Оси многоэтажного здания закрепляют рисками на забетонированных скобах в стенах каждого этажа. Вынос отметок на стену производят при помощи рулетки и двух нивелиров. Вертикальность кладки стен в пределах двух этажей проверяют отвесом. От нити отвеса перпендикулярно к ней определяют расстояние до стены. Измерения выполняют линейкой в наиболее характерных точках стены или через равные промежутки. Постоянство расстояний от нити отвеса до соответствующих частей стен здания указывает на вертикальность плоскости стены. При большей этажности вертикальность определяют боковым нивелированием с применением теодолита и рейки.

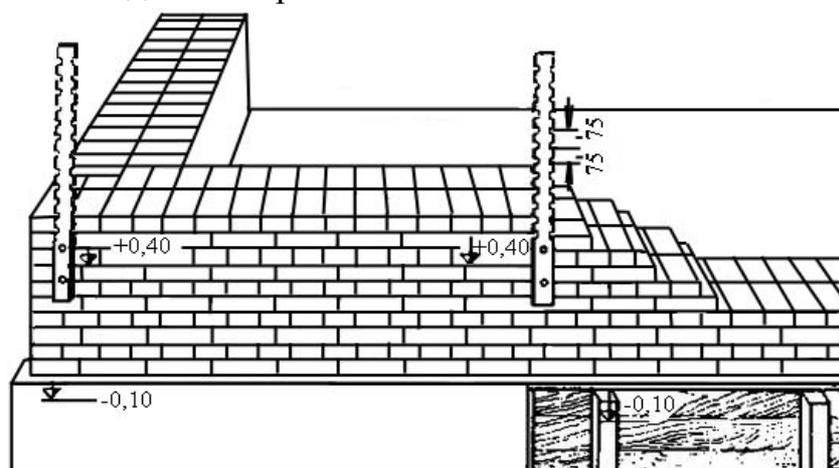


Рис. 7.20. Контроль кирпичной кладки

Правильность расположения по высоте отдельных слоев кладки контролируют при помощи реек-порядовок, прикрепляемых гвоздями к наружной плоскости стены через каждые 10 м на углах здания. На порядовке размечают горизонтальными линиями отдельные слои кладки, в каждый из которых входят толщина и ширина шва. Правильность кладки в плановом отношении проверяют промерами от продольных и поперечных осей здания.

По окончании кладки каждого этажа геометрическим нивелированием через 5 м определяют соответствие полученного горизонта проектному. Отметки точек возведенной поверхности контролируют от рисок нулевого горизонта на фундаменте здания непосредственным измерением с помощью стальной рулетки. Отметка, полученная измерением стальной рулеткой на стене здания, принимается за исходную.

Для установки оконных блоков по высоте у каждого проема выносят отметку. От нее при помощи уровня оконный блок устанавливают на проектную отметку и проверяют по отвесу его вертикальность [1].

По завершении возведения кирпичных стен и установки оконных и дверных проемов производят поэтажную исполнительную съемку.

### 7.2.5. Построение разбивочной основы на исходном и монтажных горизонтах

Для проведения геодезических работ при возведении строительных конструкций в надземной части зданий или сооружений необходимо иметь опорную разбивочную сеть на исходном и монтажных горизонтах.

За исходный горизонт обычно принимают плоскость, проходящую через блоки фундаментов, бетонную подготовку или перекрытия нулевого цикла.

Монтажным горизонтом называют условную плоскость, проходящую через опорные площадки монтируемых элементов конструкций определенного этажа.

Опорная разбивочная сеть на исходном горизонте создается в виде простых фигур, стороны которых располагаются по направлению основных осей сооружения или параллельно им так, чтобы упростить детальную разбивку осей и перенос точек разбивочной сети на монтажные горизонты.

Порядок построения плановой опорной сети на исходном горизонте заключается в следующем. Предварительно запроектированные точки сети переносят на исходный горизонт от знаков, закрепляющих основные оси сооружения, способами полярных, прямоугольных координат или створов и закрепляют их временными знаками. Затем по этим точкам прокладывают полигонометрический ход (рис. 7.21.) или строят сеть трилатерации (рис. 7.22.).

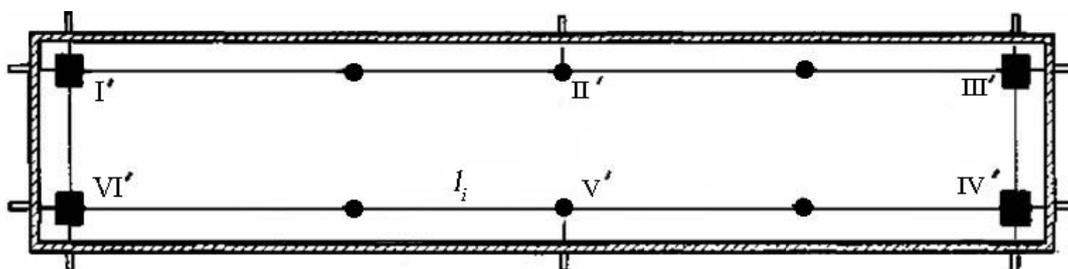


Рис. 7.21. Схема планового обоснования в виде полигонометрического хода

По результатам измерений в условной системе координат для данного здания вычисляют координаты намеченных предварительно точек, которые сравнивают с проектными координатами. По результатам сравнения фактических и проектных координат определяется величина и направление смещения точек (редукция). После соответствующего перемещения точек

проводится окончательное закрепление пунктов плановой опорной сети. Для контроля по окончательно закрепленным точкам прокладывается полигонометрический ход.

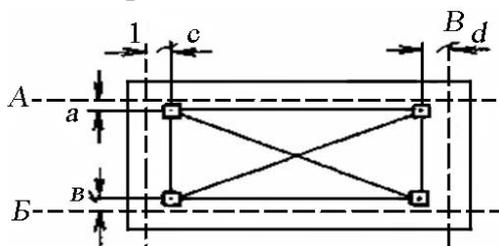


Рис. 7.22. Схема планового обоснования в виде сети трилатерации

Высотная основа на исходном горизонте создается методом геометрического нивелирования. Для этого по точкам плановой разбивочной сети прокладывается нивелирный ход, который привязывается не менее чем к двум реперам.

В некоторых случаях отметки плоскостей или отдельных точек проекта задаются от условной поверхности, например, в зданиях от уровня «чистого пола» первого этажа и обозначаются вверх со знаком плюс, вниз – со знаком минус. Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте.

Перенесение точек опорной разбивочной сети с исходного горизонта на монтажные может быть выполнено способом наклонного проектирования или вертикальным проектированием с помощью специальных приборов [23, 27].

Способ наклонного проектирования заключается в построении вертикальной плоскости теодолитом. Предварительно разбивочные оси выносятся на цоколь здания, отмечая их цветными рисками. Теодолит ставят точно в створе разбивочной оси над створным знаком 2 (рис. 7.23.), закрепляющим разбивочную ось. Зрительную трубу наводят на риску 1, нанесенную на цоколь здания, и при закрепленном положении горизонтального круга поднимают ее в вертикальной плоскости. На монтажном горизонте ставят штатив 3 с визирной маркой и, перемещая марку, добиваются, чтобы штрих марки попал на перекрестие нитей сетки зрительной трубы. С помощью отвеса положение визирной марки проектируют на плоскость монтажного горизонта. Ту же работу повторяют при другом положении вертикального круга. При расхождении полученных проекций находят среднее положение, которое соответственным образом фиксируют. Аналогичным образом выносят положение разбивочных осей на монтажный горизонт со всех сторон здания. Способ наклонного проектирования применяется при строительстве зданий малой и средней этажности при углах наклона визирной трубы, не превышающих  $45^\circ$ .

На точность перенесения точки наклонным проектированием в значительной мере влияют ошибки, возникающие за счет неперпендикуляр-

ности оси вращения зрительной трубы оси вращения теодолита, за счет коллимационной ошибки, за счет неточного приведения оси вращения прибора в отвесное положение.

В связи с этим перед работой теодолит должен быть особо тщательно выверен с тем, чтобы максимально исключить влияние этих погрешностей.

Г. А. Ковхаев в [56] предложил свой способ, основанный на приемах наклонного проектирования, который значительно упрощает передачу осей на монтажные горизонты и повышает точность. Методика способа такова.

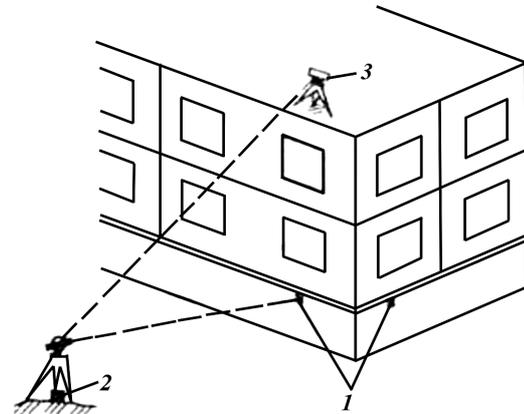


Рис. 7.23. Схема передачи разбивочных осей на монтажный горизонт способом наклонного проектирования

Теодолит устанавливают в пункте 1 (рис. 7.24., а) и визированием на окрашенную ось цокольного этажа проектируют ее в вертикальной плоскости на монтажный горизонт, где в створ устанавливается марка на штативе приблизительно в 0,5 – 0,8 м от торца (фасада) здания.

Установив марку при двух положениях круга в одной вертикальной плоскости с пунктом 1 и откраской на цоколе, снимают ее со штатива и заменяют теодолитом. Визируя на пункт 1 при двух положениях круга, откладывают угол  $180^\circ$  при точке  $A$ , на противоположной стороне здания устанавливают марку в точке  $B$  (рис. 7.24., б) и окрашивают ось  $AB$  рисками на монтажном горизонте под каждую монтируемую конструкцию.

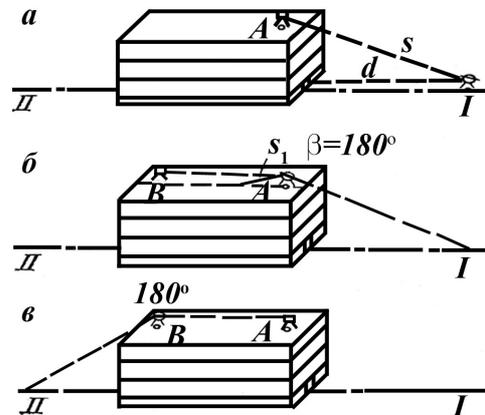


Рис. 7.24. Передача осей на монтажный горизонт

Для контроля теодолит устанавливают в точке  $B$  вместо марки и измеряют угол  $\beta$  (рис. 7.24., в), который тоже должен быть равен  $180^\circ$ . Величина отклонения измеренного контрольного угла от  $180^\circ$  в каждом частном случае может быть различной, так как она зависит от расстояний  $BA$  и  $BI$ , высоты монтажного горизонта и т. д.

Если есть возможность ось I-II закрепить откраской на соседних зданиях (рис. 7.25.), теодолит устанавливают в створе открасок на цоколе строящегося здания и на соседнем здании, и ось проектируют на монтажный горизонт. Далее ее переносят также как и в предыдущем случае.

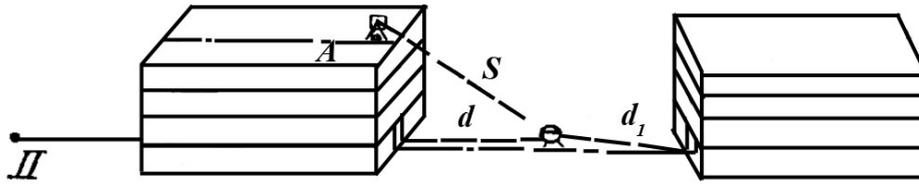


Рис. 7.25. Передача осей на монтажный горизонт

Если ось I-II можно закрепить откраской на соседних зданиях с таким расчетом, чтобы со всех монтажных горизонтов была видимость двух створных знаков, то теодолит устанавливают непосредственно на монтажном горизонте в створе двух открасок (рис. 7.26) и на нем размечают ось.

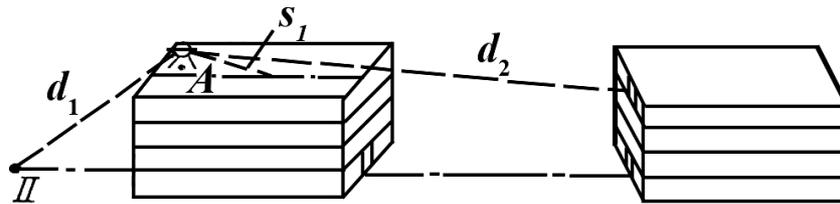


Рис. 7.26. Передача осей на монтажный горизонт

На точность перенесения осей предлагаемым способом будут влиять погрешности:

- центрирования прибора над точкой ( $m_{Ц}$ );
- визирования ( $m_{В}$ );
- установки оси цилиндрического уровня алидады горизонтального круга ( $m_{УР}$ );
- построения угла, равного  $180^\circ$ , для нанесения рисок ( $m_{П}$ );
- установки в створ теодолита ( $m_{СТВ}$ );
- фиксации риски на монтажном горизонте ( $m_{Ф}$ ) зависит от поверхности и метода нанесения риски и находится в пределах 0,5 – 1,0 мм.

Таким образом, ожидаемая средняя квадратическая погрешность положения монтажных рисок для каждого из вышеперечисленных случаев будет:

- для первого случая (см. рис. 7.24.):

$$m_1 = \sqrt{m_{Ц}^2 + 3m_{В}^2 + 2m_{УР}^2 + m_{П}^2 + m_{Ф}^2};$$

- для второго случая (см. рис. 7.25.):

$$m_1 = \sqrt{m_{СТВ}^2 + 2m_{В}^2 + 2m_{УР}^2 + m_{П}^2 + m_{Ф}^2};$$

- для третьего случая (см. рис. 7.26.):

$$m_1 = \sqrt{m_{СТВ}^2 + m_{УР}^2 + m_{Ф}^2}.$$

Если угловые и створные измерения производить теодолитом Т5, а линейные 50-метровой рулеткой, то при  $d = d_1 = 50$  м,  $S = 70$  м,  $d_2 = 150$  м,  $m_{\beta} = 5''$ ,  $m_{\phi} = 1,0$  мм будем иметь  $m_1 = 3,0$  мм,  $m_2 = 2,6$  мм,  $m_3 = 1,5$  мм. При одинаковых условиях наиболее точный результат дает третий случай, который является самым простым и эффективным.

Если имеются два теодолита, то вместо марки можно устанавливать на монтажном горизонте и на створных знаках теодолит, что значительно ускоряет процесс передачи осей и повышает точность. Предлагаемым способом целесообразно переносить главные монтажные оси и простыми линейными промерами размечать на монтажном горизонте все необходимые оси и риски под монтируемые конструкции. Окончательным контролем правильности переноса продольной и поперечной оси здания служат измеренные углы при точке пересечения осей.

При перенесении точек опорной разбивочной сети с исходного горизонта на монтажный способом вертикального проектирования в перекрытиях зданий предусматриваются отверстия, размером не менее 15x15 см.

Проектирование осуществляется с помощью специальных приборов вертикального визирования: ОЦП – оптический центрировочный прибор, ПОВП – прибор оптического вертикального проектирования, PZL – автоматический прецизионный зенит-прибор, ЛЗЦ – лазерный надир-центрир.

Для проектирования точек разбивочной сети на монтажные горизонты над опорной точкой (см. рис. 3.10.) на исходном горизонте тщательно центрируется зенит-прибор. Над отверстием монтажного горизонта с помощью специального приспособления укрепляется палетка. Палетка изготавливается из оргстекла, на которое наклеивается калька с нанесенной на нее координатной сеткой в виде взаимно перпендикулярных линий, выходы которых оцифровываются.

Горизонтальная нить сетки нитей зенит-прибора устанавливается параллельно одной из сторон координатной сетки и на горизонтальном круге ставится отсчет, равный  $0^{\circ}$ . В этом положении с палетки снимается отсчет относительно оцифрованных линий координатной сетки палетки.

Далее прибор поворачивают на  $180^{\circ}$  и снова берут отсчет по палетке. После этого аналогичную работу повторяют при отсчетах по горизонтальному кругу  $90^{\circ}$  и  $270^{\circ}$ . Средние значения из каждых двух парных отсчетов покажут координаты точки на палетке. Положение опорной точки с палетки переносится на монтажный горизонт и соответствующим образом закрепляется. Аналогичная работа может быть выполнена путем фикса-

ния проекции пересечения нитей сетки прибора на палетку помощником наблюдателя, находящимся на монтажном горизонте, также при четырех положениях визирной оси с поворотом через  $90^\circ$ . В этом случае необходима надежная связь между наблюдателем и его помощником.

При использовании прибора PZL погрешность в определении положения точки составляет около 1 мм на 100 м вертикального расстояния.

После перенесения опорных точек на монтажный горизонт проводят контрольные измерения расстояний между этими точками. Полученные расстояния должны быть равны расстояниям между соответствующими точками на исходном горизонте.

Число точек разбивочной сети, необходимых для передачи на монтажные горизонты, зависит от размеров здания и не должно быть менее трех. Перенесенные точки закрепляют и относительно них строят разбивочную сеть данного горизонта.

Построение плановой сети на монтажном горизонте, проводят также, как и на исходном горизонте.

Высотная сеть на монтажном горизонте создается методом геометрического нивелирования относительно реперов, расположенных на исходном горизонте. При этом используется способ передачи отметки на высокую точку сооружения [23].

# ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

## ЧЕТВЕРТЫЙ КУРС, СЕДЬМОЙ СЕМЕСТР

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАКЛОННОЙ ПЛОЩАДКИ

#### **Исходные данные:**

– топографический план масштаба 1:1000 или 1:2000 с высотой сечения  $h = 0,25$  м или 0,5 м;

– продольный уклон площадки  $i_1 = 0,005 + 0,001 \cdot N$ ;

– поперечный уклон площадки  $i_2 = 0,015 - 0,001 \cdot N$ ,

где  $N$  – номер варианта.

Данный вид работ выполняется при вертикальной планировке незастроенного участка.

Проектирование горизонтальных и наклонных площадок выполняется при составлении проектов вертикальной планировки. Проектом вертикальной планировки называют технический документ, определяющий преобразование рельефа местности для инженерных целей.

Проектирование выполняется на крупномасштабном топографическом плане участка местности и является творческим процессом, при котором учитывают технические, экономические, гидрогеологические и другие факторы.

При составлении топографического плана местности для вертикальной планировки, как правило, используют результаты нивелирования поверхности по квадратам. Такой план представлен на рис. 1, но без изображения элементов ситуации.

Рассмотрим способ проектирования рельефа под наклонную плоскость с продольным уклоном  $i_1 = 0,005$ , поперечным уклоном  $i_2 = 0,010$  для организации поверхностного стока и условием обеспечения баланса объемов земляных масс в насыпи и выемке.

*Лабораторную работу выполняют в следующей последовательности:*

1) Определяют среднюю фактическую отметку участка (отметку центра тяжести) по формуле:

$$H_{у.м.} = H_0 + (\sum h_1 + 2\sum h_2 + 4\sum h_4) / (4n), \quad (1)$$

где  $H_0$  – наименьшая из фактических отметок вершин квадратов, округленная в сторону уменьшения до метров;

$h_1, h_2, h_4$  – отклонения от  $H_0$  отметок вершин, принадлежащих соответственно одному, двум и четырем квадратам.

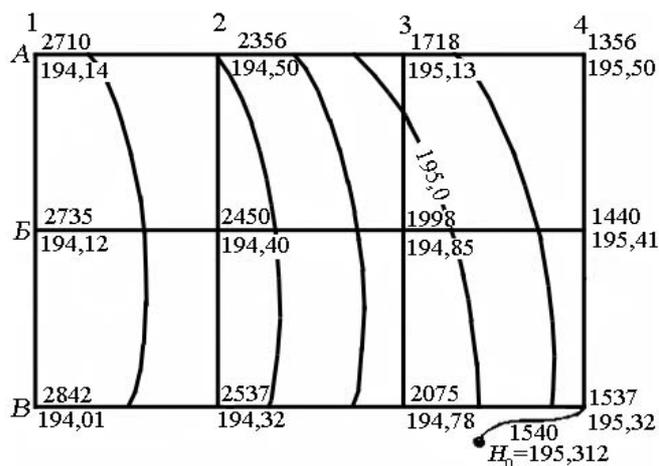


Рис.1. Топографический план участка, составленный по результатам нивелирования по квадратам 40×40 м (М 1:1000,  $h = 0,25$  м)

Используя данные рис. 1 вычислим отметку центра тяжести. Она будет равна:

$$\begin{aligned}
 H_{ц.т.} = & 194,00 + (0,01 + 0,14 + 1,50 + 1,32) / 24 + \\
 & + [2(0,12 + 0,50 + 1,13 + 1,41 + 0,78 + 0,32)] / 24 + \\
 & + [4(0,40 + 0,85)] / 24 = 194,69 \text{ м}
 \end{aligned}$$

Отметка центра тяжести имеет следующее свойство: любая плоскость (кроме вертикальной), проходящая через нее, обеспечивает на участке баланс объемов земляных масс.

Записывают полученную среднюю отметку на топографическом плане в центре тяжести участка, которому соответствует точка пересечения диагоналей прямоугольника.

2) Проектные отметки вершин квадратов вычисляют с учетом расстояний между ними и заданных уклонов. Сначала получают проектные отметки вершин квадратов, расположенных рядом с центром тяжести участка, а от них проектные отметки других вершин.

Например, для наклонной плоскости с продольным уклоном  $i_1 = 0,005$  и поперечным уклоном  $i_2 = 0,010$  получим следующие проектные отметки вершин квадратов:

$$H_{2B} = 194,69 - (20 \cdot 0,005) = 194,59 \text{ м,}$$

$$H_{3B} = 194,69 + (20 \cdot 0,005) = 194,79 \text{ м,}$$

$$H_{2A} = 194,59 + (40 \cdot 0,010) = 194,99 \text{ м,}$$

$$H_{3B} = 194,79 - (40 \cdot 0,010) = 194,39 \text{ м и т.д.}$$

3) Вычисляют рабочие отметки  $h_p$  как разности между проектными и фактическими отметками. Контролем вычислений проектных и рабочих отметок может служить приближенное равенство нулю алгебраической суммы рабочих отметок.

Все результаты вычислений оформляют непосредственно на топографическом плане в соответствии с общепринятой стандартной формой записи фактических, проектных и рабочих отметок относительно вершин квадратов. При этом проектные (вычисленные) отметки записывают красным цветом, топографические (фактические) – черным, рабочие – синим.

План организации рельефа представлен на рис. 2.

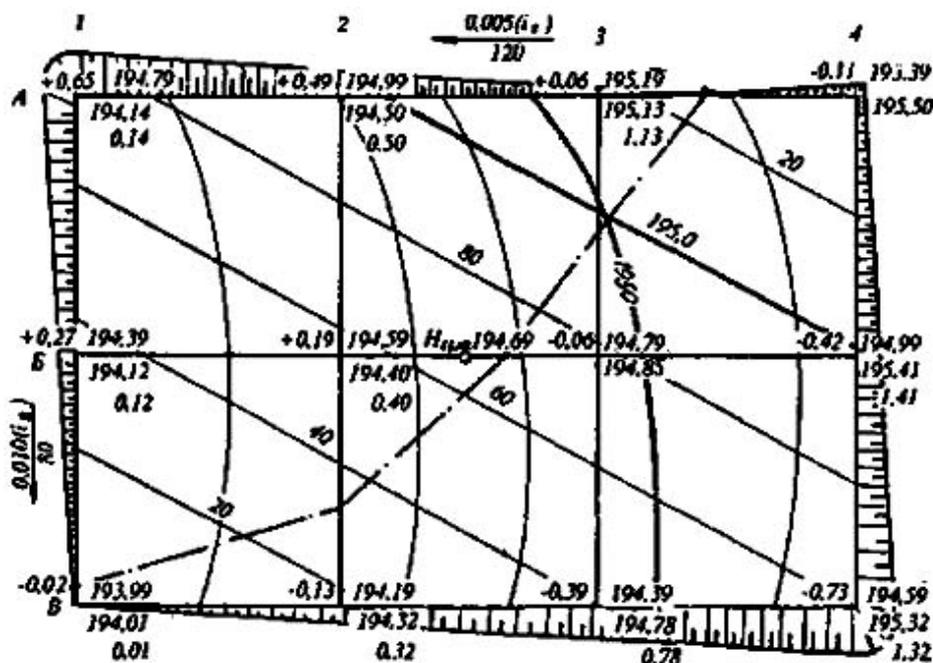


Рис. 2. План организации рельефа (М 1:1000)

4) По проектным отметкам проводят проектные горизонтали через 0,20 или 0,10 м. Так как преобразование рельефа выполняется под наклонную плоскость, то проектные горизонтали будут представлены в виде параллельных линий (см. рис. 2) и подписаны, в отличие от топографических, не в разрыве горизонталей, а сверху над горизонталями. Проектные горизонтали, кратные по высоте целым метрам, проводят утолщенными (до 1 мм) линиями и подписывают полностью, все остальные – сокращенно, только сантиметры.

5) Выполняют «вписывание» проектной площадки в окружающий рельеф местности с помощью откосов. Коэффициент заложения откосов  $K$  или отношение ширины основания в высоте (глубине) откоса принимают в зависимости от механического состава грунтов и проектного назначения откосов.

Выберем, для наглядности их изображения на рис. 2 заложение откосов 1:10, то есть плановая ширина равна  $10h_p$ . Например, в вершине квадрата 4В рабочая отметка вершины квадрата равна – 0,73 м, значит, ширина откоса составит 7,3 м, что в масштабе плана 1:1000 – 7,3 мм. Откосы изображают штрихами, проведенными через 2 мм в соответствии с направлением склонов.

б) Определяют объемы выемки и насыпи в каждом контуре на плане земляных масс, составленном по данным плана организации рельефа в том же (или более мелком) масштабе. На плане земляных масс показывают рабочие отметки, линии нулевых работ и объем грунта в метрах кубических.

Подсчет объемов земляных масс в пределах каждого квадрата выполняют по формуле Стрельчевского:

$$V = \left[ a^2 \left( \sum h_{B(H)} \right)^2 \right] / 4 \sum |h|, \quad (2)$$

где  $\sum h_{B(H)}$  – сумма рабочих отметок выемки (насыпи);

$\sum |h|$  – сумма всех рабочих отметок в пределах одного квадрата без учета знаков [17].

Контролем подсчета объемов является полученная разность объемов земляных масс в насыпи и выемке  $\Delta V = V_H - V_B = 1074 - 1046 = 28 \text{ м}^3$ , которая не должна превышать допустимой, вычисленной по формуле:

$$\Delta V_{\text{доп}} = \delta_h \cdot P = 0,005 \cdot 9600 = 48 \text{ м}^3, \quad (3)$$

где  $\delta_h$  – предельная погрешность округления рабочих отметок (отметки центра тяжести), равная 0,005 м;

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

Вычисления объемов удобно выполнять в специальной таблице.

Таблица 1

Подсчет объемов земляных масс

Номер квадрата	$\sum h, \text{ м}$		$\sum h_{B(H)}^2$		$\sum  h $	Площадь фигуры $a^2 / 4$	Объем, $\text{м}^3$	
	+	–	+	–			насыпи	выемки
1	1,60	–	2,5600	–	1,60	400	640	–
2	0,74	0,06	0,5476	0,0036	0,80	400	274	2
3	0,06	0,59	0,0036	0,3481	0,65	400	2	214
4	0,46	0,15	0,2116	0,0225	0,61	400	139	15
5	0,19	0,58	0,0361	0,3364	0,77	400	19	175
6	–	1,60	–	2,5600	1,60	400	–	640
Итого:	3,05	2,98					1074	1046

Вычисление объемов земляных работ оформляют графически – составляют «План земляных масс» (см. рис. 3).

Расчеты при проектировании наклонной площадки можно выполнять на микрокалькуляторе, либо с использованием программных комплексов на компьютере. А оформление чертежей выполняют вручную – тушью или на компьютере.

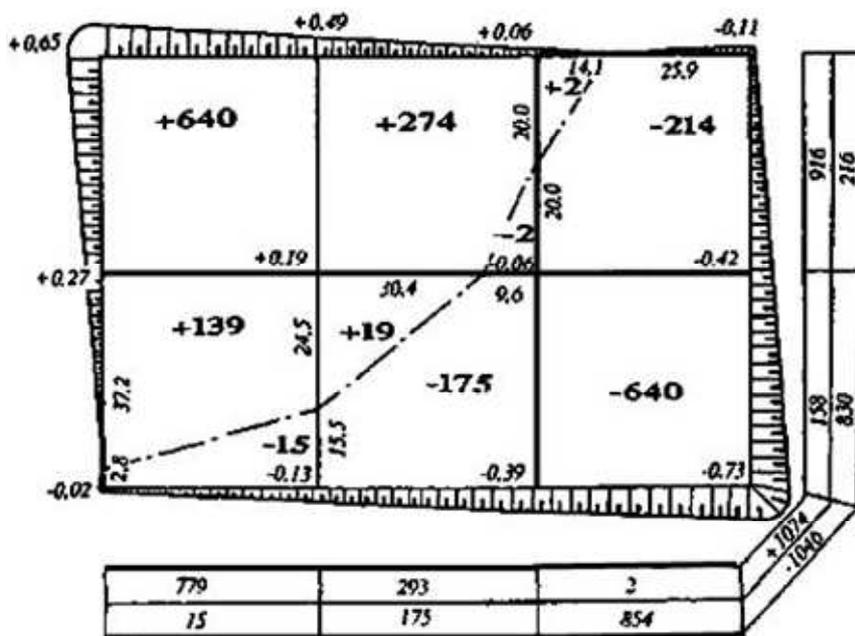


Рис. 3. План земляных масс

## ЛАБОРАТО РАБОТА 2 ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА ПРОЕКТИРУЕМОГО ЗДАНИЯ К РЕЛЬЕФУ МЕСТНОСТИ

### Исходные данные:

- топографический план с контуром здания выдается преподавателем;
- условная отметка уровня земли равна – 0,50 м.

Основными задачами вертикальной привязки проектируемых зданий являются обеспечение отвода поверхностных вод от фундаментов и определение абсолютной отметки уровня чистого пола первого этажа. Они решаются сначала на генеральной схеме вертикальной планировки всей застраиваемой территории, а затем по плану организации рельефа отдельных участков. При этом должны учитываться удобства эксплуатации зданий и сооружений, экологические, гидрогеологические, эстетические и другие факторы. Кроме того, должны соблюдаться условия, при которых поверхностный сток с окружающей территории попадал бы на улицы и проезды, выполняющие роль водосборных и водоотводных сетей (или в коллекторы ливневой канализации) с взаимно увязанными уклонами в пределах от 5 до 60 промилле, а в городской и пересеченной местности до 80 промилле.

Отметки проектируемых зданий и сооружений принимают выше отметок площадок и проездов, примыкающим к ним. Как правило, при расчете абсолютной отметки уровня чистого пола первого этажа условную отметку уровня земли, указанную со знаком «минус» на чертежах фасадов и разрезе здания, прибавляют к планировочной отметке земли [17].

*Работу выполняют в следующей последовательности:*

1) Определяют фактические отметки земли на углах здания по горизонталям, изображенным на топографическом плане, и записывают на схему (рис. 4).

2) К фактическим отметкам прибавляют 0,20 – 0,30 м и получают проектные отметки земли для каждого угла здания (проектную отметку принято записывать над фактической). На рис. 3 к фактической отметке угла 1B равной 193,20 прибавлено 0,20 м и получена проектная отметка 193,40.

3) По фактическим отметкам земли определяют существующие уклоны вдоль основных осей здания и, если они находятся в пределах рекомендуемых (5 – 60 промилле), принимают их за проектные. На схему уклоны записывают в промилле, направление уклона показывает стрелка.

Например, по данным рис. 3 получены следующие уклоны:

$$i_1 = (192,55 - 193,20) / 36 = -0,018,$$

$$i_2 = (192,15 - 192,55) / 12 = -0,033,$$

$$i_3 = (192,85 - 192,15) / 36 = +0,019,$$

$$i_4 = (193,20 - 192,85) / 12 = +0,029.$$

В случае недопустимых существующих уклонов назначают близкие по величине из предельно допустимых, а направление уклонов задают так, чтобы обеспечить сток воды.

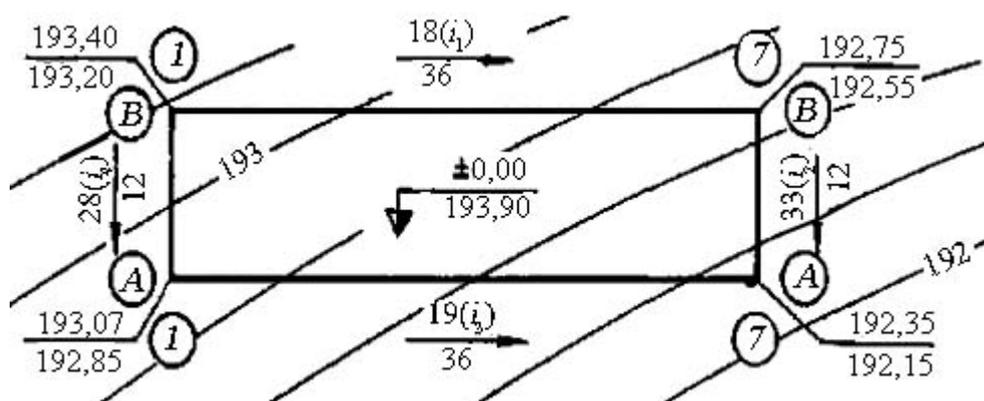


Рис. 4. Высотная привязка проектируемого здания к местности

4) Вычисляют проектные отметки углов здания, используя начальную проектную отметку (угла 1B) и проектные уклоны (по контуру здания с контролем):

$$H_{n+1} = H_n + i \cdot d. \quad (4)$$

В нашем примере:

$$H_{7B} = 193,40 + (-0,018 \cdot 36) = 192,75 \text{ м},$$

$$H_{7A} = 192,75 + (-0,033 \cdot 12) = 192,35 \text{ м},$$

$$H_{1A} = 192,35 + (-0,019 \cdot 36) = 193,03 \text{ м},$$

$$H_{1B} = 193,03 + (-0,029 \cdot 12) = 193,40 \text{ м (контроль)}.$$

5) Вычисляют рабочие отметки на углах здания как разность между соответствующими проектной и фактической отметкой. Рабочие отметки должны быть не менее + 0,20 м, в противном случае необходимо выполнять корректировку проектных уклонов и отметок.

В рассматриваемом примере этому условию не соответствует рабочая отметка в точке пересечения осей 1A:

$$h_{1A} = 193,03 - 192,85 = +0,18 \text{ м}.$$

Для корректировки изменим уклон  $i_3$ , приняв его равным 0,020. Тогда:

$$H_{1A} = 192,35 + (-0,020 \cdot 36) = 193,07 \text{ м}$$

и условие выполняется, так как рабочая отметка:

$$h_{1A} = 193,07 - 192,85 = +0,22 \text{ м}$$

превышает минимально допустимую величину – 0,20 м.

В результате исправления отметки 1A изменился уклон:

$$i_4 = (193,40 - 193,07) / 12 = +0,028.$$

б) Определяют абсолютную отметку уровня чистого пола первого этажа.

Из чертежей фасадов и разрезов проектируемого здания выбирают условную отметку земли, со знаком «минус» относительно уровня чистого пола принятую за + 0,00 м, и прибавляют к максимальной планировочной отметке земли. Предположим, что условная отметка уровня чистого пола равна – 0,50 м. Тогда абсолютная отметка уровня чистого пола:

$$H_{II} = 193,40 + 0,50 = 193,90 \text{ м}$$

Эту отметку записывают на плане организации рельефа внутри проектируемого здания.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3**  
**АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ВЫНОСА В НАТУРУ**  
**ОСНОВНЫХ ОСЕЙ ЗДАНИЙ С ПРЕДРАСЧЕТОМ ТОЧНОСТИ**  
**РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ РАЗБИВКИ**

**Исходные данные:** координаты пунктов геодезической основы и выносимых в натуру точек (I, II, III и IV – точки пересечения основных осей здания) помещены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Каталог координат исходных пунктов

Наименование пункта	Координаты, м	
	X	Y
пп 1	730,00	1500,00
пп 2	672,60	1560,40
пп 3	680,20	1702,10
пп 4	721,30	1769,80
псс 50	780,00	1520,00
псс 51	780,00	1670,00
псс 52	780,00	1770,00

Таблица 3

Каталог координат выносимых в натуру точек

Номер точки	Вариант А		Вариант В	
	X, м	Y, м	X, м	Y, м
I	765,00	1540,00	770,00	1650,00
II	765,00	1630,00	770,00	1705,00
III	715,00	1630,00	700,00	1705,00
IV	715,00	1540,00	700,00	1650,00

*Примечание:* по номеру варианта изменяем значения ординат определяемых точек:

– в варианте А  $Y_{исх} + (3 N)$  м;

– в варианте В  $Y_{исх} - (3 N)$  м.

Также преподавателем указывается точность разбивочных работ: величины погрешностей построения проектных углов  $m_{\beta}$  и расстояний  $m_S / S$ .

*Последовательность выполнения работы:*

1) Выполним подготовку основы для разбивочного чертежа. Для этого нанесем по координатам точки на ватман (масштаб 1:1000)

2) Выполним аналитический расчет выноса в натуру для всех четырех углов здания, который состоит в вычислении элементов разбивки для точки из решения обратной геодезической задачи.

Для каждой точки выбрать способы разбивки и выполнить аналитический расчет элементов разбивки и точность выноса на местность тремя из ниже перечисленных способов:

– полярным способом ( $l$  и  $\beta$ ) с одного или нескольких исходных пунктов;

– способ прямоугольных координат ( $\Delta X$ ;  $\Delta Y$ );

– прямой угловой засечкой ( $\beta_1$ ;  $\beta_2$ );

– прямой линейно-угловой засечкой ( $l_1$  и  $\beta_2$ );

– однократной линейной засечкой ( $l_1$  и  $l_2$ );

– замкнутого треугольника ( $\beta_1$ ;  $\beta_2$ ;  $\gamma$ );

– створно-линейной засечки ( $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  и т.д.);

– проектного полигона ( $\beta_1$ ;  $\beta_2$ ;  $\beta_3$ ;  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$  и т.д.).

Формулы для расчета точности собственно разбивки разными способами:

– полярных координат 
$$m_{cp} = \sqrt{m_s^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 S^2}; \quad (5)$$

– прямоугольных координат 
$$m_{cp}^2 = m_{\Delta X}^2 + m_{\Delta Y}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \Delta X^2; \quad (6)$$

– прямой угловой засечки 
$$m_{cp} = \frac{m_\beta \cdot b}{\rho \cdot \sin^2 \gamma} \sqrt{\sin^2 \beta_1 + \sin^2 \beta_2} =$$
  

$$= \frac{m_\beta}{\rho \cdot \sin \gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}; \quad (7)$$

– прямая линейно-угловая, ее точность подсчитывается по формуле полярного способа;

– линейной засечки 
$$m_{cp} = \frac{m_s \sqrt{2}}{\sin \gamma}; \quad (8)$$

– замкнутого треугольника, подсчитывается по формуле прямой угловой засечки, но точность будет выше в  $\sqrt{2}$  раз;

– створно-линейного способа 
$$m = \sqrt{m_s^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{фок}}^2}; \quad (9)$$

– проектного полигона, подсчитывается по формуле полярного способа (величина погрешности разбивочных работ увеличивается в  $\sqrt{n}$ , где  $n$  – число применения полярного способа при построении проектного полигона).

После завершения расчетов выполнить сравнительный анализ и выбрать наилучший по точности либо более простой в использовании способ для разбивки конкретной точки.

3) Составить разбивочный чертеж здания.

На разбивочный чертеж наносятся элементы разбивки только для способа дающего наибольшую точность.

Разбивочный чертеж оформить согласно следующим требованиям: показать исходные пункты и выносимые точки закрепления осей здания, указать координаты; габариты здания; разбивочные элементы. Пример разбивочного чертежа см. в приложении 1.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4 ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ПРИ НАБЛЮДЕНИИ ЗА ОСАДКАМИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### Исходные данные:

а) средняя квадратическая погрешность определения осадки  $m_s = 2 - 5$  мм (задается преподавателем);

б) схема нивелирных ходов на объекте выдается преподавателем;

в) число неравноточных превышений по ходам (секциям), указано в табл. 4.

Таблица 4

Число неравноточных превышений по секциям

№ секц.	При длине плеча $D$ , м							
	5	10	15	20	25	30	35	40
1			10		8			20
2	18			15				
3	19	22				2 + n		
4			9		10			
5		15						
6	9	9 + n						2
7	15	15						
8	10 + n	10					5	
9	8	8			5			
10	30			4				
11	21			8		2 + n		
12	40						10	
13	40		6					
14	16	16						
15	18	18						
16		9			2 + n			8
17		15		15				
18		10		10				

Последовательность выполнения работы:

1) Вычисление равноточного числа превышений по каждой секции.

Сначала необходимо выполнить приведение числа превышений к средней длине плеча  $D_{cp} = 20$  м по следующим формулам:

$$m_{D_i} = (0,014 + 0,0014 \cdot D) - \text{для нивелира Н-1};$$

$$\pi_{D_i} = m_{D_i}^2 / m_{20\text{м}}^2. \quad (10)$$

Таблица 5

№ п/п	$D_i, \text{ м}$	$m_{20\text{м}}^2$	$m_{D_i}$	$m_{D_i}^2$	$\pi_{D_i}$
1	5	0.0018	0.021	0.0004	0.2
2	10	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...
8	40	...	...	...	...

Число равноточных превышений по секции определим по формуле:

$$\pi_i = \sum n_{D_i} \cdot \pi_{D_i}, \quad (11)$$

где  $n$  – число неравноточных превышений из исходных данных (см. табл. 4).

Например, для первой секции число равноточных превышений будет равно  $\pi_1 = 10 \cdot \pi_{15\text{м}} + 8 \cdot \pi_{25\text{м}} + 20 \cdot \pi_{40\text{м}} = 71,4$ .

Результаты вычисления числа равноточных превышений можно свести в табл. 6.

Таблица 6

№ секции	1	2	3	...	...	...	...	...	$n$
Число равноточных превышений по секции $\pi_i$	71,4	...							

2) Преобразование системы нивелирных ходов в эквивалентный одиночный ход [26, 30] и вычисление веса по одиночному ходу от исходного репера до слабой точки нивелирной сети ( $\pi_{RpE}$ ). Пример преобразования см. в приложении 2.

3) Вычисление средней квадратической погрешности превышения на 1 км нивелирного хода:

$$\mu = \frac{m_S}{\sqrt{2\pi_{RpE}}}, \quad (12)$$

определение в соответствии с полученным значением класса геометрического нивелирования и рекомендации по методике нивелирования при наблюдении за осадками марок, расположенных на фундаменте сооружений.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5

### ВЫСОКОТОЧНОЕ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ КОРОТКИМ ЛУЧОМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСАДОК СООРУЖЕНИЙ

Цель данной работы: развить у студентов практические навыки в определении превышений между точками методом тригонометрического нивелирования коротким лучом и показать на основе практических и теоретических исследований, что данный метод при определении осадок сооружений не уступает по точности высокоточному геометрическому нивелированию.

Необходимыми инструментами для выполнения работы являются: теодолиты типа ОТ-02, Theo-010, Т-2; рулетки с миллиметровыми делениями длиной 5 – 10 м.

*Последовательность выполнения работы:*

1) Определение средней квадратической погрешности измерения вертикального угла  $m_v$  на коротких расстояниях (2 – 10 м) одним приемом конкретным теодолитом.

Перед началом выполнения работы необходимо привести теодолит в рабочее состояние на пункте наблюдений, определить место нуля (зенита) вертикального круга теодолита и свести его к минимуму.

Так как при измерении превышений теодолитом между высотными марками расстояние от теодолита до марок составляет всего несколько метров, то средние квадратические погрешности измерения вертикального угла одним приемом не будут совпадать для конкретного используемого теодолита со значением, указанным в паспорте прибора. Поэтому каждый студент должен определить эту погрешность, измерив десять раз полными приемами вертикальный угол на одну четко обозначенную цель (марку).

При выполнении этого пункта работы необходимо помнить, что значение средней квадратической погрешности измерения вертикального угла одним приемом будет зависеть не только от выбранного теодолита, расстояния от теодолита до марок, освещенности визирных целей, состояния подсветки поля зрения оптического микрометра и др., но и от личных, индивидуальных особенностей наблюдателя.

В процессе измерений по вертикальному кругу вычисляют место нуля, его среднее значение, отклонения от среднего и среднюю квадратическую погрешность измерения угла наклона по формуле Бесселя:

$$m_v = \sqrt{\sum v^2 / n - 1}.$$

Измерения и вычисления помещают в табл.7.

Таблица 7

№№ прие ма	Круг	Отсчеты по вертикальному кругу			Место нуля (МО) ° ' "	Отклоне ние от среднего
		I ° ' "	II "	Сред. "		
	КЛ	84°09'32",2	31,5	31,8		
1					90°00'41",0	$v_1$
	КП	275°51'50",2	50,0	50,1		
					Среднее МО	$\sum v^2$

2) Определение средних квадратических погрешностей превышения на станции и расстояния, отсчитываемого от точки пересечения оси трубы теодолита с его осью вращения до плоскости, в которой расположены марки.

При наблюдениях за осадками инженерных сооружений обычно задается средняя квадратическая погрешность  $m_S$  получения осадки марки, наиболее удаленной от исходного репера. На основании известной схемы нивелирных ходов определяют среднюю квадратическую погрешность единицы веса превышения. Обычно таким превышением является превышение, полученное на одной станции между двумя соседними высотными точками. В нашем случае за погрешность единицы веса превышения принимается погрешность превышения, полученного на одной станции между двумя соседними высотными марками при измерении на них вертикальных углов одним приемом.

Превышение между соседними марками определяется по формуле:

$$h_{1-2} = l_2 \cdot \sin v_2 - l_1 \cdot \sin v_1, \quad (13)$$

где  $l_1, l_2$  – расстояния, отсчитываемые от точки пересечения оси трубы теодолита с основной осью вращения до марок №1 и №2;

$v_1, v_2$  – углы наклона на эти марки.

При малых углах наклона формула (13) примет вид:

$$h_{1-2} = l_2 \frac{v_2}{\rho} - l_1 \frac{v_1}{\rho}. \quad (14)$$

Из выражения следует, что точность получения превышения зависит от точности измерения углов наклона  $v$  и расстояний  $l$  от теодолита до марки.

После дифференцирования формулы (14) по переменным  $l_1, l_2, v_1, v_2$  и перехода к средним квадратическим погрешностям при условии равно- точности измерения углов и расстояний, а также при  $l_1 = l_2 = l$  и  $v_1 \approx v_2 \approx v$ , получим:

$$m_h^2 = 2m_l^2 (v/\rho)^2 + 2m_v^2 (l/\rho)^2. \quad (15)$$

Применив принцип равных влияний, получим из выражения (15) средние квадратические погрешности измерения расстояния  $m_l$  и измере- ния угла наклона  $m_v$  в зависимости от погрешности единицы веса превы- шения  $m_h$ , то есть:

$$m_l = \frac{m_h \cdot \rho}{2v}; \quad (16)$$

$$m_v = \frac{m_h \cdot \rho}{2l}. \quad (17)$$

На основании выражений (16) и (17) студент должен составить таб- лицы величин  $m_l$  в зависимости от задаваемой  $m_h$  (0,05; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50 мм) для углов наклона до  $5^\circ$  ( $1'$ ,  $2'$ ,  $3'$ ,  $5'$ ,  $10'$ ,  $20'$ ,  $30'$ ,  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $5^\circ$ ) и величин  $m_v$  в зависимости от  $m_h$  в тех же значениях для расстояний  $l = 1, 2, 3, \dots, 10$  м.

Средняя квадратическая погрешность превышения на станции под- считывается для  $m_v$  используемого теодолита и конкретного расстояния от прибора до определяемых точек,  $m_h$  выражают из формулы (17).

### 3) Измерение превышений в замкнутом полигоне.

Для измерения превышений студенты выбирают до пяти высотных марок с углами наклона, не превышающими  $5^\circ$  и с одинаковыми рассто- яниями от теодолита до марок (в плоскости стены). По полученной из пунк- та 1  $m_v$  и расстоянию  $l$  до выбранных марок, пользуясь таблицей вели- чин  $m_v$ , выбирают ошибку  $m_h$  единицы веса превышения. А по таблице величин  $m_l$  по выбранной  $m_h$  и углам наклона  $v$  до выбранных высотных марок определяют необходимую точность измерения расстояния.

В силу того, что превышения между марками измеряются при одной установке инструмента, то после получения превышения между соседними марками (измерения углов наклона на эти марки) изменяют с помощью подь- емных винтов высоту условного горизонта теодолита. Все превышения полу- чают по замкнутому полигону. Например, если выбрано 4 высотных марки, то определяют превышения между марками 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4, 4 и 1, причем между станциями три раза меняют высоту инструмента (после наблюдения

каждой пары марок). Изменение высоты теодолита производится плавным вращением подъемных винтов в одну сторону на один-два оборота.

Контролем измерения вертикальных углов будет служить постоянство значений места нуля (места зенита).

Образец записи измеренных углов наклона и последующих вычислений показан в табл. 8.

После измерения всех вертикальных углов каждым студентом в журнале подсчитываются разности этих углов на каждой станции между задней и передней высотными марками:  $v_3 - v_n$ . А в конце журнала все эти разности суммируют между суммой разностей углов наклона на каждой станции по всему высотному ходу, которая выражается формулой:

$$\rho \sum_{i=1}^n (v_3 - v_n)_i = \frac{\rho}{l} \cdot 3m_h \sqrt{n}, \quad (18)$$

где  $n$  – количество станций в высотном ходе;

$l$  – расстояние от теодолита до высотных марок;

$m_h$  – средняя квадратическая ошибка единицы веса превышения, полученного при измерении вертикальных углов на станции одним полным приемом.

Таблица 8

Образец записи измерений

№ марок и станций	Круг	Отсчеты по вертикальному кругу			Место нуля (МО)	Угол наклона $V$ и $v_3 - v_n$	Расстояние $l$ , мм	$H$ , $h$ , мм
		I	II	Сред.				
	КЛ	84°09'32",2	31,5	31,8				
4					90°00'41",0	+5°51'09",2	2439	249,1
	КП	275°51'50",2	50,0	50,1				
IV						-18'42,1"		-13,3
	КЛ	83°50'48",1	49,1	48,6				
5					90°00'39",9	+6°09'51",3	2439	262,4
	КП	276°10'31",0	31,4	31,2				

Если  $\sum_{i=1}^m (v_3 - v_n)_i$  окажется меньше допустимой, то производят вычисление условных высот марок  $H_i$  по формуле:

$$H_i = l \cdot \frac{V_i}{\rho}, \quad (19)$$

разница которых между высотными марками на каждой станции наблюдений есть превышение  $h$  между этими марками.

Как известно, сумма превышений в замкнутом высотном ходе не должна превышать величины  $\Delta_{\text{опр}} f_h$ , то есть:

$$\Delta_{\text{опр}} f_h = 3m_h \sqrt{n}, \quad (20)$$

что соответствует допустимой невязке в ходе в угловой мере, полученной по формуле 17.

Практическая же сумма превышений  $\sum h$  должна соответствовать сумме в угловой мере, что является контролем при вычислении сумм превышений [32].

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6 РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКИ ОДНОГО ПУНКТА ПО ТРЕМ ИСХОДНЫМ

**Исходные данные:** координаты трех исходных пунктов; измеренные способом «круговых приемов» горизонтальные направления, используя которые вычисляют необходимые для решения засечки углы  $\beta_i$ . Каждому студенту задаются преподавателем по три пункта из табл. 9.

Таблица 9

Исходные данные

№ пункта	Наименование пункта	Измеренное направление	Координаты, м	
			X	Y
1	Никитино	0°00'00"	6755,21	8102,43
2	Демидово	37 45 18	4999,83	9000,29
3	Дубровка	99 36 47	3005,74	8624,38
4	Новый	120 25 29	1911,02	8877,76
5	Филатово	188 45 07	1362,67	6098,80
6	Соть	235 12 48	3313,77	6026,85
7	Булавки	287 35 40	4648,85	5800,34
8	Рыбхоз	302 32 17	5868,56	5317,45
9	Смирново	336 04 45	6553,38	6827,15

*Задание:* определить координаты пункта  $P$  одним из трех способов.

*Последовательность выполнения работы:*

1) Решение обратной угловой засечки по формулам Деламбра и Гаусса.

Определим дирекционный угол главного (среднего) направления засечки  $P-2$  и дирекционные углы направлений  $P-1$  и  $P-3$ , используя формулу Деламбра:

$$\text{tg}\alpha_2 = \frac{(Y_3 - Y_2) \text{ctg}\beta_2 + (Y_1 - Y_2) \text{ctg}\beta_1 - (X_3 - X_1)}{(X_3 - X_2) \text{ctg}\beta_2 + (X_1 - X_2) \text{ctg}\beta_1 + (Y_3 - Y_1)}. \quad (21)$$

Координаты определяемого пункта  $P$  вычислить по формулам Гаусса с контролями:

$$X_P = \frac{X_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 - X_2 \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 + (Y_2 - Y_1)}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2};$$

$$Y_P = Y_1 + (X_P - X_1) \cdot \operatorname{tg} \alpha_1; \quad Y_P = Y_3 + (X_P - X_3) \cdot \operatorname{tg} \alpha_3; \quad (22)$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 - \beta_1 \pm 180^\circ; \quad \alpha_3 = \alpha_2 + \beta_2 \pm 180^\circ.$$

Таблица 10

Вычисление координат пункта  $P$

Номера пунктов	Координаты, м	
	X	Y
1		
2		
3		

Полевые измерения:	
Обозначения	Вычисленные величины
$Y_3 - Y_2$	
$X_3 - X_2$	
$\operatorname{ctg} \beta_2$	
$Y_3 - Y_1$	
$Y_1 - Y_2$	
$X_1 - X_2$	
$\operatorname{ctg} \beta_1$	
$X_3 - X_1$	
$\operatorname{tg} \alpha_2$	
$\alpha_2$	
$\alpha_1 = \alpha_2 - \beta_1$	
$\operatorname{tg} \alpha_1$	
$X_P$	
$Y_P$	
$\alpha_3 = \alpha_2 + \beta_2$	
$\operatorname{tg} \alpha_3$	

Контроль:  $Y_P$  вычислить от пунктов 1 и 3  
 $\operatorname{tg} \alpha_2 =$  (по вычисленным координатам)

2) Решение обратной угловой засечки с использованием формул Пранис – Праневича.

Сначала определим дирекционный угол главного (среднего) направления засечки  $P-2$  и дирекционные углы направлений  $P-1$  и  $P-3$ , используя формулу (20).

Координаты определяемого пункта вычислим по формулам Пранис – Праневича:

$$X_P = X_2 + \Delta X_P; \quad Y_P = Y_2 + \Delta Y_P;$$

$$\Delta X_P = \frac{N}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_2}; \quad \Delta Y_P = \Delta X_P \cdot \operatorname{tg} \alpha_2; \quad (23)$$

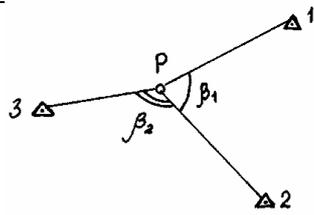
$$N = (Y_2 - Y_3) (\operatorname{ctg} \beta_2 - \operatorname{tg} \alpha_2) - (X_2 - X_3) (1 + \operatorname{ctg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2),$$

а для контроля  $N$  вычислить по формуле:

$$N = (Y_1 - Y_2) (\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{tg} \alpha_2) - (X_2 - X_1) (1 - \operatorname{ctg} \beta_1 \operatorname{tg} \alpha_2). \quad (24)$$

Таблица 11

Вычисление координат пункта  $P$

Номера пунктов	Координаты, м		
	X	Y	
1			
2			
3			
Полевые измерения:			
Обозначения		Вычисленные величины	
$Y_3 - Y_2$			
$X_2 - X_3$			
$\operatorname{ctg} \beta_2$			
$Y_3 - Y_1$			
$Y_1 - Y_2$			
$X_1 - X_2$			
$\operatorname{ctg} \beta_1$			
$X_3 - X_1$			
$\operatorname{tg} \alpha_2$			
$\alpha_2$			
$(Y_2 - Y_3) (\operatorname{ctg} \beta_2 - \operatorname{tg} \alpha_2)$			
$1 + \operatorname{ctg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2$			
$(X_2 - X_3) (1 + \operatorname{ctg} \beta_2 \operatorname{tg} \alpha_2)$			
$N$			
$1 + \operatorname{tg} \alpha_2^2$			
$\Delta X_P$			
$\Delta Y_P$			
$X_P = X_2 + \Delta X_P$			
$Y_P = Y_2 + \Delta Y_P$			
Контроль: $\operatorname{tg} \alpha_2 =$		(по вычисленным координатам)	

3) Решение обратной угловой засечки по формулам Ансермета.

Сначала из решения обратной геодезической задачи найдем дирекционные углы направлений  $\alpha_{12}$ ;  $\alpha_{13}$ ;  $\alpha_{23}$  и им обратные;

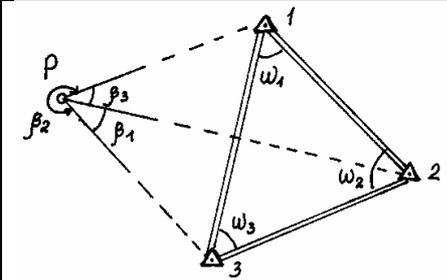
Затем вычислим значения углов  $\varpi_1$ ;  $\varpi_2$ ;  $\varpi_3$ , как разность соответствующих дирекционных углов (см. схему)

Координаты точки P вычислим по формулам Ансермета

$$X_P = \frac{X_1 P_1 + X_2 P_2 + X_3 P_3}{P_1 + P_2 + P_3}; Y_P = \frac{Y_1 P_1 + Y_2 P_2 + Y_3 P_3}{P_1 + P_2 + P_3}; P_i = \frac{1}{\text{ctg} \varpi_i - \text{ctg} \beta_i}. \quad (25)$$

Таблица 12

Вычисление координат пункта P

Номера пунктов	Координаты, м		
	X	Y	
1			
2			
3			
Полевые измерения:			
Обозначения	Вычисленные величины	Обозначения	Вычисленные величины
$\alpha_{12}$		$\text{ctg} \beta_1$	
$\alpha_{23}$		$\text{ctg} \beta_2$	
$\alpha_{13}$		$\text{ctg} \beta_3$	
$\varpi_1$		$P_1$	
$\varpi_2$		$P_2$	
$\varpi_3$		$P_3$	
$\text{ctg} \varpi_1$		$X_P$	
$\text{ctg} \varpi_2$		$Y_P$	
$\text{ctg} \varpi_3$			
$\text{tg} \alpha_2 =$	(по вычисленным координатам)		

При вычислениях у значений функций удерживаем восемь значащих цифр, углы – до 0,01", приращения координат и координаты определяемой точки – до 0,01 м.

Выполнив вычисления, студентам рекомендуется проанализировать способы решения обратной угловой засечки [19], охарактеризовать их достоинства и недостатки.

## ЧЕТВЕРТЫЙ КУРС, ВОСЬМОЙ СЕМЕСТР

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7 СОСТАВЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РЕКИ

Продольный профиль реки составляется с целью разбивки реки на бьефы, то есть для проектирования по реке каскада ГЭС и вычисления кривой подпора.

Составлению продольного профиля реки предшествуют полевые геодезические работы, связанные с созданием высотного профиля для нивелирования уровней воды, сгущением существующей сети водомерных постов и организацией наблюдений на них, собственно нивелированием уровней воды, промерами глубин реки по оси водотока.

При нивелировании уровней воды в реке ее разбивают на участки, на границах которых, а также в характерных перегибах профиля реки устраивают водомерные посты (в/п). На в/п ведут систематические наблюдения за уровнями воды и составляют график в/п, на котором указывают колебания уровня воды во времени и высоту уровня на каждый день. На характерных точках реки между в/п располагают точки однодневной связи (ТОС) уровней воды. Отметки на ТОС передают на каждом участке в одну и ту же дату. Одновременно с нивелированием кольев ТОС выполняют промеры глубин по фарватеру, определение отметок бровок берегов.

Систематические наблюдения уровней воды на в/п позволяют приводить высоты уровней, полученные на отдельных участках, к высотам уровней на одну дату для всей реки, поэтому принято называть

- а) рабочим уровнем – уровень воды в реке в момент нивелирования;
- б) приведенным срезочным уровнем – уровень воды, приведенный к одному моменту времени для всей реки.

**Исходные данные:** несколько участков реки (Приложение 3) и дата приведения уровня воды (задаются преподавателем).

*Последовательность выполнения работы:*

- 1) Дать подробное описание полевых работ для составления продольного профиля реки, изучив теоретический материал раздела 5.2.
- 2) Вычислить высоты уровней воды в реке, приведенные на заданную дату, падения и уклоны водной поверхности.

Для приведения уровней в/п на заданную дату нужно к отметке нуля графика  $H_0$  прибавить среднесуточные превышения уровней воды на эту дату (см. прил. 4).

Поправки в рабочие отметки ТОС на приведенную дату за неравномерность изменений уровней в реке получают пропорционально либо рас-

стояниям, либо изменениям рабочих уровней. Вычисления сводим в таблицу (см. прил. 5).

Падения и уклоны водной поверхности вычисляют по отметкам приведенных уровней и расстояниями между смежными в/п и ТОС.

В представленной таблице приведены исходные данные и результаты вычислений для участков реки 2, 3 и 4 на дату 09.09.

3) Составить продольный профиль реки, пользуясь исходными и вычисленными отметками.

На продольном профиле строят графики: дна, берегов, высшего исторического горизонта (ВИГ), рабочего и приведенного уровней воды в реке. Профиль вычерчивают на листе миллиметровой бумаги в туши в масштабах: горизонтальный – 1:2000000, вертикальный – 1:200. Пример продольного профиля реки см. прил. 6. Можно составить профиль на компьютере, используя программный комплекс Excel.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ВОДОХРАНИЛИЩА

Водохранилища на реках играют важные народнохозяйственные задачи: получение дешевой электроэнергии, орошение засушливых районов, обеспечение судоходства, водоснабжения промышленных предприятий и населенных пунктов и др. Поэтому важным элементом водно-хозяйственного расчета является определение объемов водохранилища. Объем воды в водохранилищах определяется по топографическим картам.

**Исходными данными** для выполнения данной лабораторной работы служит топографическая карта территории затопления (водохранилища) масштаба 1:10000 или 1:25000 с сечением рельефа 2,5 или 5 м (карта выдается преподавателем).

Необходимо выполнить:

- вычисление объема водохранилища приближенным методом;
- вычисление объема водохранилища уточненным методом;
- оценку точности определения объема водохранилища.

*Последовательность выполнения работы:*

1) Известно, что объем водохранилища определяется с использованием площадей затопления. Поэтому для выполнения работы и определения площадей затопления по топографическим картам должны быть произведены поверки планиметра и определение его цены деления. Для определения цены деления планиметра необходимо выполнить несколько обводов (4 – 6) фигуры известной площади, например квадрата 10×10 см.

Таблица 14

## Определение цены деления планиметра

Отсчеты по ролику		Разность отсчетов		Средняя разность	Площадь Р, км <sup>2</sup>	Цена деления планиметра С для М 1:25000
прямой ход	обратный ход	прямой ход	обратный ход			
5536	4857					
6548	3841	1012	1016	1013,5	6,25	0,006167
7563	2830	1015	1011			

2) Площади затопления по выданной карте с обводом всех горизонталей, попадающих в зону затопления. Для контроля получения значений площадей обводку горизонталей производим дважды: по ходу и против часовой стрелки.

По величинам измеренных площадей определяем объем  $dV$ , содержащийся в слое, заключенном между двумя смежными горизонталями:

$$dV = \frac{F_1 + F_2}{2} h, \quad (26)$$

где  $F_1$  и  $F_2$  – площади затопления, ограниченные смежными горизонталями;  $h$  – высота сечения рельефа.

Объем всего водохранилища  $V$  находится последовательным суммированием объемов призм  $dV$  по формуле:

$$V = \sum_{i=1}^n dV_i. \quad (27)$$

Вычисленную площадь выражаем в км<sup>2</sup>, а объем – в млн м<sup>3</sup> с удержанием второго знака после запятой.

Таблица 15

## Определение площадей затопления и объема водохранилища приближенным способом

Отсчеты по планиметру		Разность отсчетов		Средняя разность (площадь в делениях)	$F_2$ , км <sup>2</sup>	$(F_1+F_2)/2$ , км <sup>2</sup>	$dV$ , млн м <sup>3</sup>
прямой ход	обратный ход	прямой ход	обратный ход				
2134	5862	817	812	814,5	5,023		
2951	5050	643	637	640	3,947	4,485	22,43
3594	4413	494	489	491,5	3,031	3,489	17,45
4088	3924	335	331	333	2,054	2,5425	12,71
4423	3593	320	317	318,5	1,964	2,009	10,05
4743	3276	231	228	229,5	1,415	1,6895	8,45
4974	3048	181	179	180	1,11	1,2625	6,31
5155	2869	129	128	128,5	0,792	0,951	4,76
5284	2741	90	89	89,5	0,552	0,672	3,36
5374	2652	54	53	53,5	0,33	0,441	2,21
5428	2599	25	24	24,5	0,151	0,2405	1,2
5453	2575						88,93

3) В уточненном способе определения объема водохранилища используем значения площадей, полученных ранее, и находим функциональную зависимость  $F = f(H)$ , значения которой при  $H = H_1, H_2, H_3, \dots, H_n$  возможно меньше отличались бы от измеренных значений площадей  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ . Поэтому необходимо построить график зависимости между высотами  $H_i$  сечений горизонталями  $i$  и соответствующими им измеренными площадями  $F_i$ . Полученную ломаную линию необходимо выровнять по наиболее близкой к ней теоретической кривой. При выравнивании будем применять функциональную зависимость в виде параболы  $n$ -й степени:

$$F = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3 + \dots + a_nH^n. \quad (28)$$

Для нахождения неизвестных коэффициентов  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$  применяем метод наименьших квадратов.

Подставляя в уравнение (28) высоты  $H_i$ , которым соответствуют значения измеренных площадей  $F_i$ , получаем уравнения поправок:

$$F = a_0 + a_1H_i + a_2H_i^2 + a_3H_i^3 + \dots + a_nH_i^n - F_i = v_i. \quad (29)$$

Системе уравнений (29) будет соответствовать система нормальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} [v] &= 0, \\ [Hv] &= 0, \\ [H^2v] &= 0, \\ \dots\dots\dots, \\ [H^nv] &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (30)$$

Следует отметить, что в практических случаях параболы 3-го порядка встречаются очень редко и дают практически несущественное уменьшение суммы квадратов уклонений  $[vv]$  от найденной теоретической кривой. Поэтому при выборе функции  $f(H)$  ограничимся параболой третьего порядка.

Сначала решаем два уравнения системы (30) и определяем уравнение прямой:

$$F = a_0 + a_1H. \quad (31)$$

и среднюю квадратическую погрешность площадей  $F_i$  определяем по их уклонениям от прямой:

$$m_{np} = \sqrt{\frac{[vv]_{np}}{n-2}}, \quad (32)$$

где  $n$  – число уравнений поправок.

Решение осуществляем матричным способом с использованием программного комплекса MATLAB.

Матрица  $a$  – коэффициенты условных уравнений,  $l$  – площади горизонталей с обратным знаком.

Например,

$$a := \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ 1 & 4 \\ 1 & 5 \\ 1 & 6 \\ 1 & 7 \\ 1 & 8 \\ 1 & 9 \\ 1 & 10 \\ 1 & 11 \end{pmatrix}; l := \begin{pmatrix} -0,151 \\ -0,33 \\ -0,552 \\ -0,792 \\ -1,11 \\ -1,415 \\ -1,964 \\ -2,054 \\ -3,031 \\ -3,947 \\ -5,023 \end{pmatrix}; n := a^T \cdot a; n = \begin{pmatrix} 11 & 66 \\ 66 & 506 \end{pmatrix}; b := a^T \cdot l; b = \begin{pmatrix} -20,369 \\ -171,857 \end{pmatrix};$$

$$x := -n^{-1} \cdot b \quad x = \begin{pmatrix} -0,856 \\ 0,451 \end{pmatrix}; \quad v := a \cdot x + l; \quad f := v^T \cdot v \quad f = (2,249);$$

В результате вычислений мы получили матрицу  $x$ , которая и содержит коэффициенты  $a_0$  и  $a_1$ , матрицу поправок  $v$  и сумму квадратов поправок  $-f = [v v]$ .

$$F_{np} = -0,856 + 0,451H.$$

По формуле (32) получили, что  $m_{np} = 0,5 \text{ км}^2$ .

Теперь составим уравнение квадратной параболы:

$$F = a_0 + a_1H + a_2H^2. \quad (33)$$

$$a1 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 \\ 1 & 3 & 9 \\ 1 & 4 & 16 \\ 1 & 5 & 25 \\ 1 & 6 & 36 \\ 1 & 7 & 49 \\ 1 & 8 & 64 \\ 1 & 9 & 81 \\ 1 & 10 & 100 \\ 1 & 11 & 121 \end{pmatrix}; \quad n1 := -a1^T \cdot a1; \quad n1 = \begin{pmatrix} -11 & -66 & -506 \\ -66 & -506 & -4,356 \times 10^3 \\ -506 & -4,356 \times 10^3 & -3,997 \times 10^4 \end{pmatrix};$$

$$b1 := a1^T \cdot l; \quad b1 = \begin{pmatrix} -20,369 \\ -171,857 \\ -1,573 \times 10^3 \end{pmatrix}; \quad x1 := n1^{-1} \cdot b1; \quad x1 = \begin{pmatrix} 0,38 \\ -0,119 \\ 0,048 \end{pmatrix};$$

$$v1 := a1 \cdot x1 + l; \quad f := v1^T \cdot v1; \quad f1 = (0,309).$$

Коэффициенты параболы второго порядка находятся в матрице  $x1$ , поправки – в матрице  $v1$ ,  $f1$  – сумма квадратов поправок. А уравнение квадратной параболы получено следующее:

$$F_{кв} = 0,380 - 0,119H + 0,048H^2.$$

Находим среднюю квадратическую погрешность площадей по уклонам от квадратной параболы по формуле:

$$m_{кв} = \sqrt{\frac{[vv]_{кв}}{n-3}}, \quad (34)$$

она будет равна  $m_{кв} = 0,2 \text{ км}^2$ .

Так как  $m_{кв} < m_{нр}$  проведем еще исследование кубической параболы:

$$F = a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3. \quad (35)$$

$$a2 := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 4 & 8 \\ 1 & 3 & 9 & 27 \\ 1 & 4 & 16 & 64 \\ 1 & 5 & 25 & 125 \\ 1 & 6 & 36 & 216 \\ 1 & 7 & 49 & 343 \\ 1 & 8 & 64 & 512 \\ 1 & 9 & 81 & 729 \\ 1 & 10 & 100 & 1000 \\ 1 & 11 & 121 & 1331 \end{pmatrix};$$

$$n2 := a2^T \cdot a2; \quad n2 = \begin{pmatrix} 11 & 66 & 506 & 4,356 \times 10^3 \\ 66 & 506 & 4,356 \times 10^3 & 3,997 \times 10^4 \\ 506 & 4,356 \times 10^3 & 3,997 \times 10^4 & 3,819 \times 10^5 \\ 4,356 \times 10^3 & 3,997 \times 10^4 & 3,819 \times 10^5 & 3,75 \times 10^6 \end{pmatrix};$$

$$b2 := a2^T \cdot l; \quad b2 = \begin{pmatrix} -20,369 \\ -171,857 \\ -1,573 \times 10^3 \\ -1,508 \times 10^4 \end{pmatrix}; \quad x2 := (-n2)^{-1} \cdot b2; \quad x2 = \begin{pmatrix} -0,234 \\ 0,388 \\ -0,054 \\ 5,621 \times 10^{-3} \end{pmatrix};$$

$$v2 := a2 \cdot x2 + l; \quad f2 := v2^T \cdot v2; \quad f2 = (0,114).$$

Уравнение кубической параболы получили следующее:

$$F_{куб} = -0,234 + 0,388H - 0,054H^2 + 0,005621H^3.$$

Находим среднюю квадратическую погрешность измеренных площадей по отклонениям от кубической параболы по формуле:

$$m_{\text{куб}} = \sqrt{\frac{[vv]_{\text{куб}}}{n-4}}, \quad (36)$$

она будет равна  $m_{\text{куб}} = 0,13 \text{ км}^2$ .

В результате  $m_{\text{куб}} < m_{\text{кв}}$ , значит лучше для определяемой площади подходит кубическая парабола.

На этом подбор функции завершим, хотя вполне возможно, что существует функция большего порядка, отклонения от которой будут меньше. В дальнейших расчетах в качестве функции  $f(H)$  используем кубическую параболу.

Находим объем водохранилища путем интегрирования найденного выражения по переменной  $H$ . Для кубической параболы имеем следующее выражение:

$$\begin{aligned} V' &= \int_0^{H_{\text{НПУ}}} (a_0 + a_1H + a_2H^2 + a_3H^3) dH = \\ &= a_0H_{\text{НПУ}} + \frac{1}{2}a_1H_{\text{НПУ}}^2 + \frac{1}{3}a_2H_{\text{НПУ}}^3 + \frac{1}{4}a_3H_{\text{НПУ}}^4 \end{aligned} \quad (37)$$

Нам необходимо найти объем водохранилища для высот  $H_i$  сечений горизонталями топокарты масштаба 1:10000. При составлении уравнений ошибок и нормальных уравнений для удобства вычислений были использованы высоты, приведенные к натуральному ряду чисел. Поэтому из вычисленных объемов следует вычесть объем призмы, полученный для аргумента  $H = 1$ . Затем полученные объемы увеличиваем в  $h$  раз, где  $h$  – высота сечения рельефа топокарты масштаба 1:25000.

Принимая  $H_{\text{НПУ}} = 11$ , находим  $V'$  из формулы (37):  $V' = 17,516$ .

Аналогично находим объем водосливной призмы  $V'$  при  $H = 1$  –  $V'_{H=1} = -0,057$

Окончательное значение объема водохранилища:

$$V = (V' - V'_{H=1})h = 87,86 \text{ млн м}^3.$$

4) Для оценки точности измеренных площадей необходимо вычислить ошибку площади, ограниченной горизонталью на топокарте масштаба 1:25000, если средняя квадратическая погрешность  $m_h$  высоты  $h$  точки, определенной по горизонталям, составляет  $1/3h$ . Затем следует показать, как эта погрешность влияет на вычисление объема водохранилища.

Погрешность  $M_F$  в площади  $F$ , ограниченной горизонталью, может быть вычислена по формуле:

$$M_F = 2 \frac{M_h}{h} F_g \left( 1 - \sqrt{\frac{F_h}{F_g}} \right), \quad (38)$$

где  $\frac{M_h}{h} = \frac{K}{\sqrt{K_1 K_2}} \frac{1}{\sqrt[4]{F_g}}$  – относительная погрешность в положении всей горизонтали;

$K$  – коэффициент, зависящий от масштаба карты и от высоты сечения рельефа;

$K_1$  – коэффициент, указывающий на отношение длины эллипса к длине окружности, ограничивающих площадь водохранилища, эквивалентную площади, ограниченной данной горизонталью;

$K_2$  – коэффициент, характеризующий извилистость горизонтали, вычисляемый путем отношений длин горизонталей между двумя точками к длинам соответствующих прямых, соединяющих эти точки;

$F_h, F_g$  – площади, ограниченные двумя соседними самыми большими горизонталями.

Для карты масштаба 1:25000 высотой сечения 2 – 5 м примем  $K = 1$ .

$$\text{Коэффициент } K_1 = \frac{S_z}{S_o} = \frac{\pi \cdot [1,5(a+b) - \sqrt{a \cdot b}]}{3,54 \sqrt{F_g}}, \text{ где } a \text{ и } b \text{ соответст-}$$

венно большая и малая полуоси эллипса, ограничивающего площадь затопления. Например –  $K_1 = 1,2$ .

Тогда  $M_h/h = 0,535$ , а погрешность площади определенной планиметром составит  $M_F = 4,441 \text{ км}^2$ .

Погрешность  $M_F$  также находим, дифференцируя выражение (35) и перейдя к средним квадратическим погрешностям, подставив в него коэффициенты из матрицы  $x_2$ :

$$M_F^2 = M_h^2 (0,388 - 0,054H^2 + 0,00561H^4), \quad (39)$$

$$M_h = 0,535h = 0,0027; \quad M_F = 4,21.$$

Погрешность в объеме  $M_v$  в зависимости от  $M_h$  всей горизонтали можно найти их выражения:

$$M_v = \int_{H_i}^{H_i+M_h} f(h) dH = 0,031 \text{ млн м}^3. \quad (40)$$

Далее находим максимальную погрешность при линейном интерполировании площадей затопления по карте масштаба 1:25000 между двумя смежными горизонталями. Предельная ошибка в площади при линейном интерполировании получается при средней высоте для двух смежных горизонталей. Зная функциональную зависимость  $F = f(H)$  и высоту сечения рельефа  $h$ , предельную ошибку  $\Delta F_{пред}$  при линейном интерполировании определяют по формуле:

$$\Delta F_{пред} = \frac{f''(H)h^2}{8}, \quad (41)$$

где  $f''(H)$  – вторая производная от функции  $f(H)$ . Для нашей функции при  $h = 5$  м  $\Delta F_{пред} = 1,52$  км<sup>2</sup>.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОЕКТА ОСНОВНЫХ ОСЕЙ ГИДРОУЗЛА К ПЕРЕНЕСЕНИЮ НА МЕСТНОСТЬ

Аналитическая подготовка проекта гидроузла для выноса его на местность заключается в следующем. По крупномасштабной карте, на которой составлен проект, определяют графические координаты главных точек осей сооружения. По графическим координатам решают обратные геодезические задачи и находят расстояния и дирекционные углы между главными точками оси, а затем по вычисленным дирекционным углам определяют углы пересечения осей.

Вычисленные значения длин линий и углов пересечения осей сравнивают с данными, принятыми при составлении проекта. Если расхождение длин линий больше 1,6 м при проектировании по карте масштаба 1:2000 или 0,8 м при проектировании по карте масштаба 1:1000, а углы больше  $2 - 3'$ , устанавливают причину этих расхождений и устраняют ее.

По полученному из решения обратной геодезической задачи дирекционному углу одной из сторон оси и длинам линий, принятым при составлении проекта, вычисляют координаты всех главных точек основных осей сооружений, которые и переносят на местность.

Исходными данными для выполнения работы служат: схема основных осей гидроузла с главными точками; координаты главных точек осей, снятые с карты масштаба 1:2000; условия проекта.

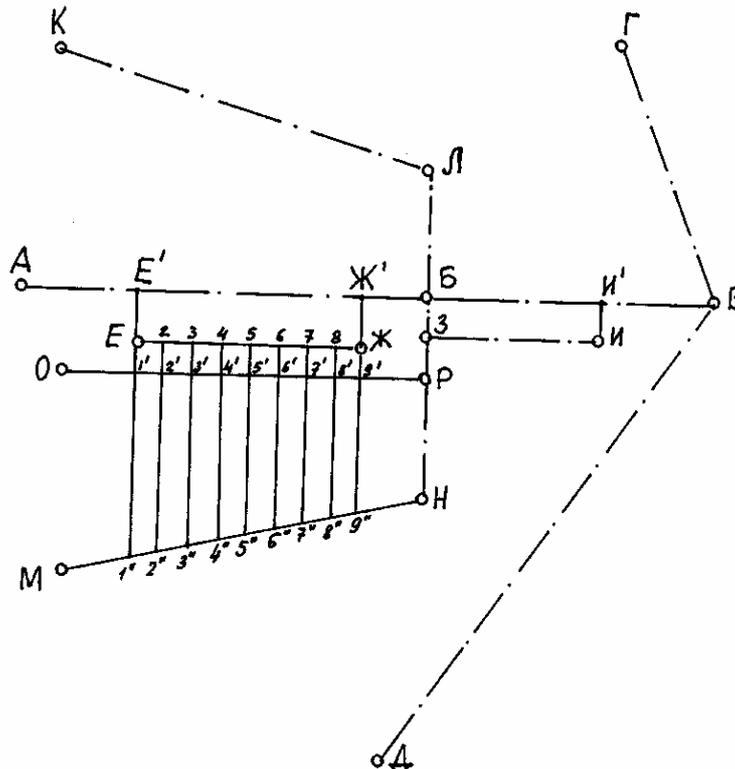


Рис 5.Схема основных осей гидроузла: АБ – ось станционной плотины;  
 БВ – ось водосливной плотины; ВГ – ось верхового пути судоподъемника;  
 ЕЖ – продольная ось агрегатов ГЭС; ЗИ – ось бычков водосливной плотины;  
 КЛ – ось верховой перемычки; МН – ось низовой перемычки; ОР – ось эстакады;  
 ЛН – межплотинная ось; 1-1'', 2-2'', ....., 9-9'' – поперечные оси агрегатов ГЭС.

Таблица 16

Исходные данные

Название точек	Координаты, м	
	X	Y
А	4578,20	2436,30
Г	4651,40	3568,40
Д	3048,20	2761,80
К	4922,50	2641,50
М	3967,70	2360,00

По условиям проекта: АВ = 1130 м, ЕЕ' = ЖЖ' = 120 м, АБ = 720 м, АЕ' = 230 м, ЕЖ = 400 м, ЗБ = ИИ' = 72 м, БЛ = 343 м, БН = 370 м, БР = 180 м, ВГ = 425 м, ВД = 1000 м, ЗИ = 320 м, ОР = 650м,  $\alpha_{AB} = 110^\circ + 2'(n - 1)$ .

*Последовательность выполнения работы:*

1) Вычисление координат точек, лежащих на оси плотины. Все вычисления в данной лабораторной работе рассмотрим на конкретном примере.

Таблица 17

Название пункта	S, м	Дирекционный угол	X, м	Y, м
А	230	105°32′	4578,20	2436,30
Е'	400		4516,61	2657,90
Ж'	90		4409,49	3043,29
Б	320		4385,38	3130,00
И'	90		4299,69	3438,31
В			4275,59	3525,03

2) Вычисление координат точек, лежащих на верхней и нижней перемычках.

Таблица 18

Название пункта	S, м	Дирекционный угол	X, м	Y, м
Л	343	15°32′	4715,86	3221,86
Б	72	195°32′	4385,38	3130,00
З	108		4316,01	3110,72
Р	190		4211,96	3081,80
Н			4028,90	3030,92

3) Перевычисление координат точек Г и Д.

Из решения обратной геодезической задачи по координатам точки В и исходным координатам точек В и Г находим дирекционные углы по осям верхового и низового путей судоприемников  $\alpha_{BG} = 6^\circ 34' 58,95''$ ;  $\alpha_{BD} = 211^\circ 52' 28,77''$ . Затем по длинам осей из условий проекта перевычисляют координаты ( $X_2 = 4651,10$  м;  $Y_2 = 3568,37$  м;  $X_0 = 3048,49$  м;  $Y_0 = 2761,98$  м).

4) Определение координат точек И, О, Е, Ж.

Таблица 19

Обозначения	Исх	З	Р	Е'	Ж'
	Опр	И	О	Е	Ж
$X_i$ , м	4316,01		4211,96	4516,61	4409,49
$Y_i$ , м	3110,72		3081,80	2657,90	3043,29
$S_{ik}$ , м	320		650	120	120
$\alpha_{ik}$	105°32′		285°32′	195°32′	195°32′
$X_k$ , м	4230,31		4386,03	4400,99	4293,87
$Y_k$ , м	3419,03		2455,54	2625,76	3011,15

5) Определение координат точек, лежащих на оси эстакады.

Таблица 20

Обозначения	S, м	Дирекционный угол	X, м	Y, м	
Е (1)	50	105°32'	4400,99	2625,76	
2			4387,60	2673,93	
3			50	4374,21	2722,10
4			50	4360,82	2770,27
5			50	4347,43	2818,44
6	50	105°32'	4334,04	2866,61	
7	50		4320,65	2914,78	
8	50		4307,26	2962,95	
Ж (9)	50		4293,87	3011,12	
О	160		4386,030	2455,540	
1'	50		4343,182	2609,696	
2'			4329,792	2657,870	
3'			4316,402	2706,044	
4'			4303,012	2754,218	
5'			4289,622	2802,392	
6'			4276,232	2850,566	
7'			4262,842	2898,740	
8'			4249,452	2946,914	
9'			4236,062	2995,088	
Р	90		4211,960	3081,801	

М	149,725	84°47'17,05"	3967,700	2360,000
1"	53,467		3981,301	2509,106
2"	53,467		3986,158	2562,352
3"	53,467		3991,015	2615,598
4"	53,467		3995,872	2668,844
5"	53,467		4000,729	2722,090
6"	53,467		4005,586	2775,336
7"	53,467		4010,443	2828,582
8"	53,467		4015,300	2881,828
	53,467			
9"	96,240		4020,157	2935,074
Н			4028,899	3030,916

Сумма:  $S_{MH} = 673,701$

Дирекционный угол  $\alpha_{MH} = 84^\circ 47' 17,05''$  и расстояние  $S_{MH} = 673,701$  м найдены из решения обратной геодезической задачи.

## РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА 1 СОСТАВЛЕНИЕ И ВЫЧЕРЧИВАНИЕ РАЗБИВОЧНОГО ЧЕРТЕЖА ОСНОВНЫХ ОСЕЙ ГИДРОУЗЛА

При выполнении расчетно-графической работы будем использовать результаты вычислений лабораторной работы 9.

После вычисления координат точек закрепления основных осей составляется разбивочный чертеж, на основании которого будут в дальнейшем выносить в натуру оси гидротехнических сооружений. Рабочий чертеж составляется в масштабе 1:10000, на нем показывают все вычисленные элементы: длины осей, дирекционные направления, углы поворота осей. На рабочем чертеже должен быть показан вынос проектных точек на местность с

привязкой к пунктам планового обоснования. В качестве пунктов планового обоснования могут быть пункты гидротехнической триангуляции, полигонометрии, сетей сгущения. Выносимые точки основных осей должны находиться в удобном месте и наиболее близком расстоянии по отношению к пунктам планового обоснования. Нанесем по вычисленным координатам все точки на план (можно использовать лист миллиметровой бумаги).

Запроектируем сеть гидротехнической триангуляции из шести пунктов, по три на каждом берегу реки, причем одна сторона сети совпадает с осью плотины. При необходимости сгущение можно выполнить ходами полигонометрии. Графически определим координаты пунктов сети триангуляции и поместим их в табл. 21.

Таблица 21

Координаты пунктов гидротехнической триангуляции

№ пункта	X, м	Y, м
I	4620	2270
II	5110	2780
III	4920	3660
IV	4220	3720
V	3670	3290
VI	3920	2300

Для выноса проектных точек можно использовать створно-линейный, полярный способ или прямую угловую засечку. Студенту предлагается вычислить элементы выноса для четырех точек закрепления основных осей гидроузла и нанести их значения на разбивочный чертеж (см. прил. 7).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10 АНАЛИТИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА К ПЕРЕНЕСЕНИЮ ПЛАНА ТОННЕЛЯ В НАТУРУ

Цель работы: ознакомиться с основным комплексом вычислительных работ, который должен выполнить геодезист при аналитической подготовке к перенесению проекта тоннеля в натуру.

Геометрическая схема трассы тоннеля представлена на рис.6.5 (в конспекте лекций).

**Исходные данные:**

- 1) угол поворота трассы  $\theta$  задается преподавателем в соответствии с номером варианта (см. табл. 22);
- 2) радиус кривой  $R=800$  м;
- 3) параметр переходной кривой  $c=24000$ ;
- 4) длина переходной кривой  $L=30,000$  м;
- 5) скорость движения поезда  $v=70$  км/ч;
- 6) расстояние между осями рельсов  $a=1,200$  м;
- 7) высота центра вагона над головками рельсов  $b=1,850$  м;
- 8) дирекционный угол прямолинейного участка трассы  $\alpha_{0-BV} = 78^{\circ}15'$ ;
- 9) координаты начального пикета на левом пути  $X_{0,Л} = 6045,852$  м;  
 $Y_{0,Л} = 15211,925$  м;
- 10) пикетаж начала кривой по правому пути ПК НККп = ПК12 + 71,543 м;
- 11) расстояние между осями правого и левого путей на прямом участке  $D = 25,4$  м.

Таблица 22

№ варианта	Лабораторные работы			№ варианта	Лабораторные работы		
	№ 10	№ 11			№ 10	№ 11	
	Угол поворота трассы $\theta$ ° ' "	Длина тоннеля $L$ , км	Расстояние между стволами шахт $l$ , км		Угол поворота трассы $\theta$ ° ' "	Длина тоннеля $L$ , км	Расстояние между стволами шахт $l$ , км
1	13 00 33,9	5,8	1,5	14	13 01 38,8	7,7	1,6
2	13 00 38,7	6,3	1,3	15	13 01 44,5	12,3	2,7
3	13 00 43,8	8,2	1,9	16	13 01 48,4	9,9	1,9
4	13 00 45,9	11,0	2,3	17	13 01 53,9	3,9	0,9
5	13 00 53,6	7,9	1,8	18	13 01 58,8	4,8	1,1
6	13 00 58,9	6,5	1,2	19	13 02 03,5	7,8	1,5
7	13 01 03,8	10,2	2,5	20	13 02 09,9	5,4	1,2
8	13 01 08,6	4,6	1,0	21	13 02 14,5	8,0	1,6
9	13 01 13,4	8,6	1,3	22	13 02 19,8	10,8	2,4
10	13 01 18,8	9,1	1,5	23	13 02 25,5	6,7	1,2
11	13 01 24,5	4,0	0,9	24	13 02 30,1	7,6	1,4
12	13 01 28,8	8,1	1,6	25	13 02 35,5	5,9	1,3
13	13 01 33,6	6,8	1,3	26	13 02 39,3	9,8	1,7

*Последовательность выполнения работы:*

1. Вычисление длины неправильного пикета:

$$a' = a_1 + a_2 = 2D \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = 5,790 \text{ м.}$$

2. Вычисление значений основных элементов круговой кривой: тангенса  $T$  и длины круговой кривой  $K$ :

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = 800 \cdot \operatorname{tg} \frac{13^{\circ}00'14.1''}{2} = 91,176 \text{ м.}$$

$$K = \frac{R\theta}{\rho} = 800 \frac{13^{\circ}00'14.1''}{57^{\circ}17'45''} = 181,569 \text{ м.}$$

3. Вычисление пикетажных значений начал и концов круговых кривых выполним в столбик

$$\begin{array}{r} \text{ПК ККК}_{\Pi} = \text{ПК НКК}_{\Pi} + K \\ \text{ПК12+71,543} \\ \underline{\quad 1 \quad 81,569} \\ \text{ПК14+53,112} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{ПК НКК}_{\text{Л}} = \text{ПК НКК}_{\Pi} + a/2 \\ \text{К12+71,543} \\ \underline{\quad 2,895} \\ \text{ПК12+74,438} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{ПК ККК}_{\text{Л}} = \text{ПК НКК}_{\text{Л}} + K - a' \\ \text{ПК12+74,438} \\ \quad 1 \quad 81,569 \\ \underline{\quad 5,790} \\ \text{ПК14+50,217} \end{array}$$

4. Вычисление координат точек трассы, лежащих на прямолинейных участках левого пути

Таблица 23

№ точки	Дирекционный угол, $\alpha$			Расстояние $S$ , м	Координаты, м	
	°	'	''		X	Y
ПК 10					6045,852	15211,925
	78	15	0	100,000		
ПК 11					6066,216	15309,830
	78	15	0	100,000		
ПК 12					6086,580	15407,734
	78	15	0	74,438		
НКК <sub>Л</sub>					6101,739	15480,612
	78	15	0	91,176		
ВУ					6120,306	15569,878
	91	15	14,1	91,176		
ККК <sub>Л</sub>					6118,311	15661,032
	91	15	14,1	49,783		
ПК 15					6117,222	15710,803
	91	15	14,1	100,000		
ПК 16					6115,033	15810,779

5. Вычисление координат 13 и 14 пикетов, расположенных на круговой кривой разбивочной оси левого пути

а) по центральным углам:

– вычислим длины кривых

$$K_1 = \text{ПК}13 - \text{ПК НКК}_L = 1300 - 1274,438 = 25,562 \text{ м};$$

$$K_{\text{НП}} = 100 + a' = 100 + 5,790 = 105,790 \text{ м};$$

$$K_2 = \text{ПК ККК}_L - \text{ПК}14 = 1450,217 - 1400 = 50,217 \text{ м};$$

– определим центральные углы по формуле  $\gamma_i = \frac{K_i}{R} \rho$

$$\gamma_1 = 1^{\circ}49'50,7''; \gamma_{\text{НП}} = 7^{\circ}34'35,9''; \gamma_2 = 3^{\circ}35'47,5''$$

контроль:  $\gamma_1 + \gamma_{\text{НП}} + \gamma_2 = \theta$ ;

– вычислим координаты центра кривой, используя координаты начала круговой кривой на левом пути (см. табл. 23):

$$X_c = 5318,483 \text{ м}; Y_c = 15643,526 \text{ м};$$

– используя центральные углы вычислим дирекционные углы направлений от центра кривой на пикеты 13 и 14, лежащие на кривой:

$$\alpha_{c-13} = 350^{\circ}04'50,7''; \alpha_{c-14} = 357^{\circ}39'26,6''; \alpha_{c-\text{ККК}_L} = 1^{\circ}15'14,1'' \text{ (контроль);}$$

– зная дирекционные углы и радиус круговой кривой, получим координаты пикетов 13 и 14.

$$X_{13} = 6106,544 \text{ м}; Y_{13} = 15505,718 \text{ м}; X_{14} = 6117,834 \text{ м}; Y_{14} = 15610,826 \text{ м};$$

б) по хордам:

– вычисляются длины хорд и углы между ними

$$x_i = K_i - \frac{K_i^3}{24R^2} : x_1 = 25,561 \text{ м}; x_{\text{НП}} = 105,713 \text{ м}; x_2 = 50,209 \text{ м};$$

$$\varphi_{\text{НКК}_L} = 179^{\circ}05'04,6''; \varphi_{13} = 175^{\circ}17'46,7'';$$

$$\varphi_{14} = 174^{\circ}24'48,3''; \varphi_{\text{ККК}_L} = 178^{\circ}12'06,2'';$$

– вычисляются координаты пикетов 13 и 14 и сравниваются их с полученными через центральные углы.

Таблица 24

№ точки	Дирекционные углы, $\alpha$			Расстояния S, м	Координаты, м	
	°	'	''		X	Y
I	2	3	4	5	6	7
	78	15	0,0			
НКК <sub>L</sub>					6101,739	15480,612
	79	09	55,4	25,561		

1	2	3	4	5	6	7
ПК13					6106,544	15505,718
	83	52	8,7	105,713		
ПК14					6117,834	15610,826
	89	27	20,3	50,209		
КККЛ					6118,311	15661,032
	91	15	14,1			

6. Вычисление координат начал переходных кривых (см. рис. 6.6):

– определим расстояние  $l_1 = \frac{L}{2} - \frac{L^5}{60C^2}$  (например,  $l_1 = 15,001$  м);

– координаты начал переходных кривых вычислим соответственно от начала и конца круговой кривой

$$X_{НПК1} = 6098,684 \text{ м}; Y_{НПК1} = 15655,926 \text{ м};$$

$$X_{НПК2} = 6117,983 \text{ м}; Y_{НПК2} = 15676,029 \text{ м};$$

7. Вычисление пикетажных значений начал и концов переходных кривых выполним по формулам:

$$\text{ПК НПК}_1 = \text{ПК НКК}_Л - l_1; \text{ПК КПК}_1 = \text{ПК НПК}_1 + L;$$

$$\text{ПК НПК}_2 = \text{ПК ККК}_Л + l_1; \text{ПК КПК}_2 = \text{ПК НПК}_2 - L;$$

Получим

$$\text{ПК НПК}_1 = \text{ПК12} + 59,437 \text{ м}; \text{ПК КПК}_1 = \text{ПК12} + 89,437 \text{ м};$$

$$\text{ПК НПК}_2 = \text{ПК14} + 65,218 \text{ м}; \text{ПК КПК}_2 = \text{ПК14} + 35,218 \text{ м}.$$

8. Вычисление смещений оси  $p$  и оси тоннеля  $p+q$  от разбивочной оси.

Смещение оси пути  $p$  от разбивочной оси вычисляется по формуле:

$$p = \frac{L^3}{24C} = 0,047 \text{ м}.$$

Смещение оси тоннеля  $q$  по отношению к оси пути вследствие наклона вагона на закруглениях от завышения  $h$  наружного рельса равно:

$$q = \frac{b}{a} h = 0,093 \text{ м}.$$

Смещение оси тоннеля от разбивочной оси равно:

$$p + q = 0,140 \text{ м}.$$

9. Вычисление координат концов переходных кривых на оси пути (см. рис.6.6):

а) через центральный угол

– вычислим вспомогательный центральный угол:

$$\varphi = \frac{L^2}{2C} \rho = 1^\circ 04' 27,5'';$$

тогда  $\theta_T = \theta - 2\varphi = 10^\circ 51' 19,2'';$

– дирекционные углы вычислим, используя дирекционные углы от центра кривой на начало и конец круговой кривой и вспомогательный центральный угол  $\varphi$ :

$$\alpha_{y-KPK_1} = 349^\circ 19' 27,5''; \alpha_{y-KPK_2} = 0^\circ 10' 46,6'';$$

– зная радиус оси пути  $R_{II} = R - p = 800 - 0,047 = 799,953$  м и координаты начал переходных кривых, вычисляем координаты концов переходных кривых:

$$X_{KPK_1} = 6104,610 \text{ м}; Y_{KPK_1} = 15495,334 \text{ м};$$

$$X_{KPK_2} = 6118,452 \text{ м}; Y_{KPK_2} = 15646,033 \text{ м};$$

б) через величины  $x_l$  и  $y_l$ :

$$x_l = L - \frac{L^5}{40C^2}; \quad y_l = \frac{L^3}{6C}.$$

Значения координат концов переходных кривых, полученные через  $x_l$  и  $y_l$ , должны совпадать с вычисленными через центральный угол.

10. Вычисление координат концов переходных кривых на оси тоннеля вычислим через центральный угол, используя радиус:

$$R_{II} = R - (p + q) = 799,860 \text{ м},$$

тогда получим:

$$X_{KPK_1} = 6104,518 \text{ м}; Y_{KPK_1} = 15495,351 \text{ м};$$

$$X_{KPK_2} = 6118,359 \text{ м}; Y_{KPK_2} = 15646,033 \text{ м}.$$

11. Вычисление длины круговой кривой по оси тоннеля:

$$K_T = \frac{\theta_T \cdot R_T}{\rho} = 151,542 \text{ м}.$$

12. Вычисление координат секущих (см. рис.6.7 и 6.8).

а) вычисление приблизительной длины секущей ( $b_0$  примем равным 6 см):

$$C_{np} = 4\sqrt{R \cdot b_0} = 27,713 \text{ м};$$

б) определение приближенного количества секущих:

$$m = \frac{K_T}{C_{np}} + 0,3 = 6;$$

в) определение длин дуг полной секущей  $K_C$ , неполной секущей  $K_{HC}$  и хорды  $K_X$ :

$$K_C = \frac{K_T}{m - 0,3} = 26,586 \text{ м}; K_{HC} = 0,85K_C = 22,598 \text{ м}; K_X = 0,7K_C = 18,610 \text{ м}.$$

Выполним контроли:

$$n \cdot K_C + 2K_{HC} = K_T; \quad (n + 1) \cdot K_C + K_X = K_T,$$

где  $n = m - 2$ .

г) вычисление центральных углов полной секущей  $\gamma_C$  и неполной секущей  $\gamma_{HC}$ :

$$\gamma_C = \frac{K_C}{R_T} \rho = 1^\circ 54' 16,0''; \quad \gamma_{HC} = \frac{K_{HC}}{R_T} \rho = 1^\circ 37' 07,6''; \quad \gamma_X = \frac{K_X}{R_T} \rho = 1^\circ 19' 59,2''.$$

Проконтролируем вычисления по формулам:

$$\gamma_X = 0,7\gamma_C; \quad \theta_T = (n+1) \cdot \gamma_C + \gamma_X = n \cdot \gamma_C + 2\gamma_{HC}.$$

д) вычисление длины полной и неполной секущих:

$$C = K_C + \frac{K_C^3}{48R_T^2} = 26,587 \text{ м}; \quad C_H = K_{HC} + \frac{K_C^3}{288R_T^2} = 22,599 \text{ м}.$$

е) вычисление координат концов секущих через центр кривой

Таблица 25

№ точки	Дирекционный угол			Расстояние $R_T$ , м	Координаты, м	
	°	'	''		X	Y
КПК1						
	350	56	35,1	799,860		
1С					6108,390	15517,615
	352	50	51,1	799,860		
2С					6112,139	15543,935
	354	45	7,1	799,860		
3С					6115,010	15570,364
	356	39	23,1	799,860		
4С					6117,001	15596,875
	358	33	39,1	799,860		
5С					6118,111	15623,437
	360	10	46,7	799,860		
КПК2						

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11 РАСЧЕТ ТРЕБУЕМОЙ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ НА НЕСБОЙКУ ТОННЕЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

С учетом особой ответственности работ по созданию геодезического обоснования для сооружений тоннелей важное значение имеет расчет необходимой точности измерений на различных стадиях создания геодезического обоснования.

**Цель работы:** научиться делать расчет необходимой точности измерений на всех стадиях создания геодезического обоснования.

**Исходные данные:** допустимая погрешность планового геодезического обоснования на несбойку тоннеля метрополитена  $\tau_1 = 50$  мм; высотного обоснования  $\tau_2 = 25$  мм; длина тоннеля  $L$  и средняя длина отрезков тоннеля между смежными стволами шахт задается по номеру варианта (см. табл. 22).

**Содержание работы:** исходя из заданных погрешностей планового и высотного геодезического обоснования на поверхности и под землей, которые можно допустить на несбойку тоннелей метрополитена, необходимо рассчитать требуемую точность измерений в тоннельной триангуляции; основной полигонометрии; ориентирования подземной полигонометрии; высотного обоснования.

Рассмотрим расчет точности геодезического обоснования при проектировании тоннелей метрополитена на примере:  $L = 7,9$  км и  $l = 2,0$  км.

#### *1. Тоннельная триангуляция.*

Вычислим среднюю квадратическую погрешность определения взаимного расположения пунктов, находящихся на концах тоннеля, в поперечном направлении к оси (для криволинейного тоннеля):

$$q_u = \frac{0,45\tau_1}{\sqrt{2}} \sqrt{L/l} = 31,6 \text{ мм.}$$

Рассчитаем эквивалентную длину:

$$L_{\text{экв}} = \sqrt{L \cdot l} = 4,0 \text{ км.}$$

Из табл. 6.1 по эквивалентной длине выбираем разряд тоннельной триангуляции и величину средней квадратической погрешности измерения угла. Для нашего случая: III разряд –  $m_{\beta} = 1,5''$ .

Рассчитаем количество промежуточных сторон  $k$  в сети тоннельной триангуляции, выразив из формулы конечной точки ряда триангуляции

$$\frac{k^2 + k + 3}{k}$$

$$m_q = L_{\text{экв}} \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\frac{2}{15} \frac{k^2 + k + 3}{k}}. \quad (42)$$

Положим в формулу  $m_q = 31,6$  мм,  $L_{\text{экв}} = 4,0$  км,  $m_{\beta} = 1,5''$ . Тогда получим  $k = 7$ .

Следовательно, схема сети тоннельной триангуляции будет иметь 7 промежуточных сторон в полной диагонали ряда триангуляции (изобразите его на рисунке).

### 2. Основная полигонометрия.

При совместном влиянии погрешностей измерений в триангуляции и полигонометрии допустимая величина поперечного смещения вытянутого полигонометрического хода составит;

$$q_u = \frac{0,45\tau_1}{\sqrt{2}} = 15,9 \text{ мм.}$$

Поперечный сдвиг конечной точки вытянутого полигонометрического хода в 3,8 раза больше величины ожидаемого поперечного смещения средней точки уравненного хода, то есть:

$$m_u = 3,8q_u = 60,4 \text{ мм.}$$

Рассчитаем среднюю квадратическую погрешность измерения углов в полигонометрическом ходе по формуле:

$$1,2\tau_1 = \frac{m_\beta}{\rho} [S] \sqrt{\frac{n+3}{12}}. \quad (43)$$

Приняв  $[S] = L_{\text{экр}} = 4,0 \text{ км}$ ;  $n = \frac{[S]}{S} = \frac{4000}{320} = 13$  при  $150\text{м} \leq S \leq 500\text{м}$ , получим  $m_\beta = 2,6''$  (в полигонометрии на поверхности  $m_\beta \leq 3''$ ).

Рассчитаем необходимую точность линейных измерений:

$$0,45\tau_1 = m_S \sqrt{n} = 15,8 \text{ мм.}$$

### 3. Ориентирование.

Рассчитаем влияние погрешности ориентирования первой линии вытянутого хода подземной полигонометрии на допустимый поперечный сдвиг конца хода по формуле и рекомендуем способ ориентирования:

$$m_0 = \frac{0,45\tau_1}{l_1} \rho = \frac{0,45 \cdot 50}{1000000} 206265 = 4,6'',$$

где  $l_1 = l/2$ .

### 4. Подземная полигонометрия.

Расчет точности угловых измерений в ходах подземной полигонометрии следует производить исходя из допустимого поперечного сдвига, который не должен превышать  $0,45\tau_1$ .

В этом случае средняя квадратическая погрешность измерения углов может быть определена из формулы:

$$m_q = 0,45\tau_1 = \frac{m_\beta}{\rho} l_1 \sqrt{\frac{n+1,5}{3}}. \quad (44)$$

Примем  $n = l_1 / S = 1000 / 150 = 7$  при  $50 \text{ м} \leq S \leq 150 \text{ м}$ , получим  $m_\beta = 2,8''$   $m_\beta = 2,6''$  (в подземной полигонометрии  $m_\beta \leq 5''$ ).

Следовательно, средняя квадратическая погрешность измерения углов в подземной полигонометрии не должна превышать  $2,8''$ .

Выполним расчет точности измерения линий в подземной полигонометрии исходя из формулы:

$$m_S \sqrt{n} = \frac{0,45\tau_1}{\sqrt{2}}.$$

Тогда для нашего случая получим  $m_S = 6,0$  мм.

То есть длины линий в подземной полигонометрии следует измерять с точностью не хуже 6 мм.

#### 5. Высотное обоснование.

В общем случае влияние погрешностей высотного обоснования на несбойку тоннелей можно выразить так:

$$\tau_2 = \sqrt{q_{h_1}^2 + q_{h_2}^2 + q_{h_3}^2 + q_{h_4}^2 + q_{h_5}^2}.$$

Приняв, среднюю квадратическую погрешность передачи отметки с поверхности в подземные выработки при строительстве тоннелей равной 5 мм, а погрешность  $m_h$  в нивелирном ходе  $m_h = \mu\sqrt{l}$  получим:

$$\tau_2^2 = 2\mu^2 l + 50. \quad (45)$$

Если предельная погрешность высотного обоснования  $\tau_2 = 25$  мм, то получим погрешность единицы веса (в данном случае это будет погрешность на 1 км хода):

$$\mu = \frac{17}{\sqrt{l}} = 12,0 \text{ мм}.$$

Следовательно, для обеспечения сбойки по высоте вполне достаточно проложить на поверхности и под землей нивелирные ходы IV класса согласно инструкции по нивелированию I, II, III, IV классов.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12**  
**УРАВНОВЕШИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ**  
**ДЛЯ ОРИЕНТИРОВАНИЯ СПОСОБОМ**  
**СОЕДИНИТЕЛЬНОГО ТРЕУГОЛЬНИКА**

**Цель работы:** изучить процесс передачи координат в подземные выработки способом соединительного треугольника, освоить методику уравновешивания и последовательность вычислений.

**Исходные данные:**

а) схема соединительных треугольников на поверхности и в шахте с указанием принятых обозначений (см. рис.6.10);

б) координаты пункта тоннельной триангуляции

$$X_A = 3952,197 \text{ м}; \quad Y_A = 1975,648 \text{ м};$$

в) исходный дирекционный угол  $\alpha_{A-T_1} = 284^\circ 06' 25''$ ;

г) длина стороны подземной полигонометрии  $S_{A_1M_1} = 47,352 \text{ м}$ ;

д) результаты измерений представлены в табл. 26 (длины сторон соединительного треугольника даны в метрах).

По номеру варианта изменяем длины сторон соединительных треугольников  $a$  и  $a_1$  по формулам:

$$a_N(a_{1N}) = a_{исх} + 0,0004 \cdot N - \text{для вариантов } 1 - 30;$$

$$a_N(a_{1N}) = a_{исх} - 0,0004 \cdot (N - 30) - \text{для вариантов } 31 - 60;$$

Также изменяем значения всех углов  $\alpha, \alpha_1, \omega, \omega_1$ , представленных в табл. 26 по формулам:

$$\alpha(\alpha_1, \omega, \omega_1)_N = \text{исх.значение} + 0,2'' \cdot N - \text{для вариантов } 1 - 30;$$

$$\alpha(\alpha_1, \omega, \omega_1)_N = \text{исх.значение} - 0,2'' \cdot (N - 30) - \text{для вариантов } 31 - 60.$$

Таблица 26

**Исходные данные**

Элементы верхнего треуголь- ника	Значения измеренных величин		Элементы нижнего треуголь- ника	Значения измеренных величин	
	Положение отвесов			Положение отвесов	
	первое	второе		первое	второе
$a$	7,2880	7,2870 м	$a_1$	7,2890	7,2880
$b$	8,2077	8,2067	$b_1$	9,2538	9,2528
$c$	15,4900	15,4890	$c_1$	16,5354	16,5344
$\alpha$	$1^\circ 22' 15,0''$	$1^\circ 25' 10,0''$	$\alpha_1$	$1^\circ 32' 33,0''$	$1^\circ 30' 07,0''$
$\omega$	$170^\circ 51' 18,0''$	$170^\circ 45' 03,0''$	$\omega_1$	$268^\circ 11' 31,0'$	$268^\circ 08' 26,0''$

Последовательность выполнения работы:

1. Контроль полевых изменений в величинах  $\omega$ ,  $\omega_1$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_1$  (проверка сходимости полученных в результате измерений углов с теоретическими значениями) выполним по формулам:

$$\Delta\omega_{теор} = \frac{15\text{мм}}{b(\text{мм})} \rho; \quad \Delta\alpha_{теор} = \frac{15\text{мм}}{b(\text{мм})} \rho - \frac{15\text{мм}}{c(\text{мм})} \rho;$$

$$\Delta\omega_{1теор} = \frac{15\text{мм}}{c_1(\text{мм})} \rho; \quad \Delta\alpha_{1теор} = \frac{15\text{мм}}{b_1(\text{мм})} \rho - \frac{15\text{мм}}{c_1(\text{мм})} \rho$$

а) например, для верхнего соединительного треугольника получим

Таблица 27

Обозначение	Значения углов			
	°	'	"	
$\Delta\omega_{теор}$	0	6	16,96	
$\Delta\omega_{факт}$	0	6	15,00	$< \Delta\omega_{теор}$
$\Delta\alpha_{теор}$	0	2	57,22	
$\Delta\alpha_{факт}$	0	2	55,00	$< \Delta\alpha_{теор}$

б) для нижнего соединительного треугольника получим

Таблица 28

Обозначение	Значения углов			
	°	'	"	
$\Delta\omega_{1теор}$	0	3	07,11	
$\Delta\omega_{1факт}$	0	3	05,00	$< \Delta\omega_{теор}$
$\Delta\alpha_{1теор}$	0	2	27,23	
$\Delta\alpha_{1факт}$	0	2	26,00	$< \Delta\alpha_{теор}$

2. Уравновешивание соединительных треугольников путем вычисления поправок в длины сторон и окончательное решение соединительных треугольников будем выполнять в табл. 29.

Таблица 29

Обозначения	Верхний соединительный треугольник		Обозначения	Нижний соединительный треугольник	
	2	3		5	6
$\beta$	1° 32' 37,19"	1° 35' 54,28"	$\beta_1$	1° 57' 29,17"	1° 54' 24,07"
1	2	3	4	5	6
$f_s$	0,0043	0,0029	$f_s$	0,0034	0,0028
(a)	-0,0014	-0,0009	(a <sub>1</sub> )	-0,0011	-0,0009
(b)	-0,0014	-0,0010	(b <sub>1</sub> )	-0,0011	-0,0009

1	2	3	4	5	6
(с)	0,0015	0,0010	(с <sub>1</sub> )	0,0012	0,0010
<i>a исп</i>	7,2902	7,2896	<i>a<sub>1 исп</sub></i>	7,2915	7,2907
<i>b исп</i>	8,2063	8,2057	<i>b<sub>1 исп</sub></i>	9,2527	9,2519
<i>c исп</i>	15,4914	15,4900	<i>c<sub>1 исп</sub></i>	16,5365	16,5353
$\alpha$ <i>исх</i>	1° 22' 16,8"	1° 25' 11,8"	$\alpha_1$ <i>исх</i>	1° 32' 34,8"	1° 30' 08,80"
$\beta$ <i>перевыч</i>	1° 32' 37,31"	1° 35' 54,37"	$\beta_1$ <i>перевыч</i>	1° 57' 29,40"	1° 54' 24,25"
$\gamma$ <i>выч</i>	177°05' 05,89"	176°58' 53,83"	$\gamma_1$ <i>выч</i>	176°29' 55,80"	176°35'26,95"
$\Sigma$	180° 00' 00,0"	180° 00' 00,0"	$\Sigma$	180° 00' 00,0"	180° 00' 00,0"

Так как угол  $\alpha$  в вытянутом соединительном треугольнике измеряют с максимальной точностью, то погрешность измерения острого угла очень мало влияет на величину невязки. Поэтому уравнивание производят путем введения поправок только в измеренные стороны соединительного треугольника. С этой целью по измеренным значениям угла  $\alpha$  и сторонам треугольника  $a$  и  $b$  вычисляют приближенное значение угла  $\beta$ , затем вычисляют сумму проекций сторон  $a$  и  $b$  на сторону  $c$  и сравнивают эту сумму с измеренным значением стороны  $c$ . Затем вычисляют невязку:

$$f_s = b \cdot \cos \alpha + a \cdot \cos \beta - c_{изм} \quad (46)$$

и поправки в стороны  $(a) = -\frac{f_s}{3}$ ;  $(b) = -\frac{f_s}{3}$ ;  $(c) = +\frac{f_s}{3}$ , причем остальные

углы соединительного треугольника находят по теореме синусов:

$$\sin \beta = \frac{b}{a} \sin \alpha; \quad \sin \gamma = \frac{c}{a} \sin \alpha.$$

Сумма углов в каждом соединительном треугольнике, вычисленных по уравновешенным сторонам, может отличаться от 180° не более чем на 0,3".

3. Вычисление дирекционных углов плоскости отвесов и линии подземной полигонометрии.

Вычисление дирекционных углов направлений, необходимых для передачи координат в подземную выработку, ведут с учетом исправленных углов  $\gamma$  и  $\beta_1$ . Все формулы для вычисления запишем на основе рис. 6.10:

$$\alpha_{A-O_1} = \alpha_{A-T_1} + \varpi; \quad \alpha_{O_1-O_2} = \alpha_{A-O_1} + 180 - \gamma;$$

$$\alpha_{O_1-A_1} = \alpha_{O_1-O_2} - \beta_1; \quad \alpha_{A_1-M_1} = \alpha_{O_1-A_1} - 180 + \varpi_1.$$

Вычисление дирекционных углов выполним в табл. 30.

Таблица 30

Обозначение	Положение отвесов	
	первое	второе
$\alpha_{A-T_1}$	284°06'25,00"	284°06'25,00"
$\alpha_{A-O_1}$	94°57'44,80"	94°51'29,80"
$\alpha_{O_1-O_2}$	97°52'38,91"	97°52'35,97"
$\alpha_{O_1-A_1}$	95°55'08,51"	95°58'11,72"
$\alpha_{A_1-M_1}$	184°06'37,71"	184°06'35,92"
$(\alpha_{A_1-M_1})_{cp}$	184°06'36,82"	
Отклонение от среднего	+0,89"	-0,90"

Отклонения дирекционных углов линии подземной полигонометрии от среднего значения допускается не более 18".

4. Вычисление координат точки подземной полигонометрии выполним по формулам прямой геодезической задачи, используя координаты точки  $A$ , значения длин сторон верхнего треугольника  $b$ , нижнего –  $c_1$ , стороны подземной полигонометрии и вычисленные дирекционные углы (см. табл. 30).

Таблица 31

Положение отвеса	№ точки	Дирекционный угол	Расстояние $S$ , м	Координаты, м	
				X	Y
	$A$			3952,197	1975,648
		94°57'44,80"	8,2063		
	$O_1$			3951,487	1983,823
I		95°55'08,51"	16,5365		
	$A_1$			3949,782	2000,271
		184°06'37,71"	47,352		
	$M_1$			3902,552	1996,877
	$A$			3952,197	1975,648
		94°51'29,80"	8,2057		
	$O_1$			3951,502	1983,824
II		95°58'11,72"	16,5353		
	$A_1$			3949,782	2000,270
		184°06'35,92"	47,352		
	$M_1$			3902,552	1996,876

Отклонения координат точки подземной полигонометрии от средних значений допускается не более 4 мм.

#### 5. Подсчет ожидаемой погрешности ориентирования.

Средняя квадратическая погрешность ориентирования способом соединительного треугольника определяется формулой:

$$M_0 = \sqrt{m_{исх}^2 + \frac{(m_0)_S^2 + (m_0)_\beta^2 + (m_0)_{случ}^2}{3} + (m_0)_{сист}^2}, \quad (47)$$

где

$$(m_0)_S^2 = \left( tg^2 \alpha \cdot \rho^2 \frac{a^2 + b^2}{a^4} + tg^2 \alpha_1 \cdot \rho^2 \frac{a_1^2 + b_1^2}{a_1^4} \right) \cdot m_S^2; \quad (48)$$

$$(m_0)_\beta^2 = 2 \cdot m^2 \cdot \left( 1 + \frac{b}{a} + \frac{b^2}{a^2} \right) + 2 \cdot m_1^2 \cdot \left( 1 + \frac{b_1}{a_1} + \frac{b_1^2}{a_1^2} \right); \quad (49)$$

$m$  – средняя квадратическая погрешность измеренного направления на поверхности (3"),

$m_1$  – средняя квадратическая погрешность измеренного направления в подземных выработках (5"),

$(m_0)_{случ}$  – случайная часть отклонения отвесов от вертикали (5"),

$(m_0)_{сист}$  – систематическая часть отклонения отвеса (6"),

$(m_\alpha)_{исх}$  – средняя квадратическая погрешность исходного дирекционного направления (3").

Приняв среднюю квадратическую погрешность измерения расстояния  $m_S = 2$  мм, подсчитаем точность ориентирования подземного планового обоснования

$$(m_0)_\beta = 15,03"; \quad (m_0)_S = 0,89";$$

тогда  $M_0 = 11,8"$ .

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Учебным планом по дисциплине предполагается в восьмом семестре выполнение курсового проекта на тему: *«Геодезическое обеспечение строительства промышленных сооружений»*.

Курсовой проект является результатом проработки студентами одного из наиболее важных разделов курса прикладная геодезия – «Инженерно-геодезические работы при строительстве промышленных сооружений».

*Цель работы:* развить у студентов навыки самостоятельного проектирования инженерно-геодезических работ и закрепить теоретические знания.

Курсовым проектом предусматривается разработка разделов, связанных как с построением геодезической разбивочной основы на строительной площадке и геодезическими разбивочными работами, так и с геодезическим обеспечением строительно-монтажных работ.

*Исходные материалы к проекту:* топографическая карта масштаба 1:10000; генеральный план промышленного предприятия; исходные геодезические пункты и средняя квадратическая погрешность планируемой точки сооружения *M*.

## Содержание проекта

Введение.

1. Общие сведения об объекте.

1.1. Характеристика промышленного предприятия и размещение объектов строительства.

1.2. Описание топографии строительной площадки.

1.3. Топографо-геодезическая изученность и обеспеченность территории строительства.

2. Геодезическая разбивочная основа на строительной площадке.

2.1. Назначение и точность строительной сетки. Метод создания.

2.2. Проектирование строительной сетки.

2.3. Предварительная разбивка строительной сетки и вынос в натуру ее главных осей.

2.4. Проектирование планового обоснования для определения фактических координат пунктов строительной сетки и его расчет точности.

2.5. Редуцирование пунктов сетки. Окончательное закрепление пунктов. Контрольные измерения.

2.6. Высотная сеть на строительной площадке.

3. Разбивка промышленных сооружений в плане.

3.1. Геодезическая подготовка для перенесения проекта сооружений в натуру. Составление разбивочного чертежа здания.

3.2. Разбивка и закрепление на местности главных и основных осей сооружений.

3.3. Проектирование и построение обноски. Составление разбивочного чертежа обноски. Закрепление осей.

3.4. Разбивочные работы при сооружении котлованов.

3.5. Разбивочные работы при сооружении фундаментов. Составление исполнительных схем фундаментов.

3.6. Разбивка коммуникаций на строительной площадке.

4. Геодезическое обеспечение возведения надземной части зданий и сооружений.

### Рекомендации по выполнению курсового проекта

**Во введении** студент должен охарактеризовать значимость геодезических работ при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

**В разделе 1.1** необходимо дать характеристику промышленного предприятия в соответствии с генеральным планом, пользуясь [21]. Рассматриваются здания и сооружения, входящие в комплекс промышленного сооружения, определяется площадь предприятия, характеризуются подъездные пути и т.д.

Строительная сетка проектируется в соответствии с расположением зданий и сооружений на генплане, стороны сетки должны быть параллельны основным осям зданий. Согласно исходным данным, на карте студент самостоятельно определяет участок для размещения запроектированной строительной сетки (прил. 9).

**В разделе 1.2** необходимо описать топографию строительной площадки. Кратко дается оценка участка под строительство с позиции условий производства геодезических работ; площадь участка, подлежащая освоению; анализируется характер ситуации и рельефа; ожидаемые условия выполнения триангуляционных и полигонометрических работ (видимость, заселенность, застроенность и др.); характеризуется гидрография, транспорт, имеющиеся населенные пункты и т.д. Делается вывод о пригодности участка на основе требований, предъявляемых по выбору мест для строительства площадных сооружений.

**В разделе 1.3** характеризуется топографо-геодезическая изученность и обеспеченность территории строительства.

Обеспеченность территории должны быть оценена с учетом дальнейшего создания строительной сетки как основы для перенесения промышленных сооружений в натуру.

Охарактеризовать видимость между исходными пунктами (построить профили видимости). Рассмотреть сначала триангуляционные пункты, затем полигонометрические [2, 29].

Пункты триангуляции: их число и расположение на участке, класс, центр закрепления, высота и конструкция надземных знаков (сигналов, пирамид), система координат и высот. Пункты полигонометрии характеризуются точно также.

Сделать схематические рисунки сигналов, пирамид, центров.

Привести информацию об исходных пунктах государственной геодезической сети.

Таблица 1.1

Каталог координат и высот исходных пунктов

Название пункта	Класс сети	Высота знака, м	Координаты, м		Отметка $H$ , м	Высота знака, м
			$X$	$Y$		

Также необходимо рекомендовать метод съемки для составления исполнительного генерального плана промышленной площадки, масштаб, высота сечения рельефа (обосновать).

**В разделе 2.1** необходимо рассмотреть назначение и точность строительной сетки, методы создания [3, 6, 10].

Строительная сетка – это наиболее распространенный и удобный вид геодезической основы для переноса проекта промышленного сооружения в натуру. Создаваемое на промышленной площадке плановое геодезическое обоснование по густоте пунктов должно соответствовать масштабу предстоящей съемки; а по точности наиболее крупному масштабу съемки на стадии рабочего проектирования (1:500). Студентам необходимо изложить требования к точности геодезических строительных сеток [2, 3, 6].

Заданную величину  $M$  следует принять как среднюю квадратическую погрешность в положении слабого пункта съёмочного обоснования по отношению к исходным геодезическим пунктам.

При создании строительной сетки должен быть рекомендован метод редуцирования, рассмотреть основные этапы этого метода.

**В разделе 2.2** нужно подробно рассмотреть проектирование строительной сетки. Проектирование строительной сетки студенту следует начать на генеральном плане промышленного предприятия. Стороны строительной сетки должны быть расположены параллельно главным и основным осям зданий. Пункты строительной сетки размещают таким образом, чтобы между ними была прямая видимость и возможность измерять рас-

стояния мерными приборами при выносе в натуру осей зданий от запроектированных пунктов строительной сетки. Кроме того, выбор формы строительной сетки зависит от характера рельефа строительной площадки. Поэтому, после того как сетка на генплане уже запроектирована, ее следует перенести на выбранный участок карты масштаба 1:10000. В отдельных случаях допускается совмещение пунктов сетки с исходными пунктами (лучше – по контуру сетки). Причем надо стремиться к тому, чтобы площадка была равной, уклоны на ней были небольшими, не было заболоченных участков, родников, крупных рек, населенным пунктам, магистральных автомобильных и железнодорожных дорог.

Длины сторон сетки выбирают кратными 10 метрам. Нумерацию пунктов строительной сетки производят слева направо, сверху вниз по отношению к голове генплана промышленного предприятия (прил. 8).

Дать характеристику запроектированной строительной сетки: количество пунктов, форма фигур, длины сторон, видимость по сторонам сетки.

Проектирование строительной сетки завершается вычислением координат ее вершин в условной системе координат. За начало условной системы координат лучше принять угловой пункт, расположенный на юго-западе. Направление осей  $A$  и  $B$  условной системы координат выбирают так, чтобы все условные координаты были положительными.

Затем производится перерасчет координат из условной системы координат в геодезическую:

$$\begin{aligned} X_i &= X_o + A \cos \theta - B \sin \theta \\ Y_i &= Y_o + A \sin \theta + B \cos \theta, \end{aligned}$$

где  $X_o, Y_o$  – геодезические координаты начала условной системы координат определенные пол карте;

$\theta$  – угол разворота условной оси  $A$  относительно северного направления координатной сетки.

Таблица 2.1

Каталог координат пунктов строительной сетки

Название пункта	Условные координаты, м		Геодезические координаты, м	
	$A$	$B$	$X$	$Y$
1	400	0	6064932,512	4312549,235

**Раздел 2.3** посвящен предварительной разбивке сетки. Вынос в натуру строительной сетки начинается с разбивки главных осей, то есть двух взаимно перпендикулярных направлений. Каждая из этих осей должна быть закреплена на местности двумя-тремя пунктами. В качестве главных осей могут быть два направления по периметру строительной сетки или

посередине, либо одна ось по периметру, а другая посередине – это зависит от конфигурации строительной сетки и количества пунктов. Вынос в натуру пунктов закрепления осей производят полярным способом или прямой угловой засечкой от пунктов геодезической основы [3, 6]. Необходимо составить схему и нанести на нее угловые и линейные элементы привязки для каждого пункта, закрепляющего главные оси сетки. Вычисление элементов разбивки выполняют по формулам обратной геодезической задачи. Для предварительной разбивки высокой точности не требуется (точность линейных измерений  $1/2000 - 1/3000$ , а угловых –  $0,5 - 1'$ ). Но при выборе приборов и расчете ожидаемой погрешности выноса точек закрепления главных осей строительной сетки прежде всего следует исходить из удаленности этих точек от исходных пунктов.

Далее нужно рассмотреть последовательность предварительной разбивки сетки от главных осей на примере своей строительной сетки створно-линейным способом.

После окончания предварительной разбивки обязательно контролируют местоположение угловых пунктов.

В этом подразделе необходимо рекомендовать приборы для предварительной разбивки сетки, конструкцию временных знаков для закрепления предварительно разбитых пунктов сетки.

При разработке **раздела 2.4** студент самостоятельно выбирает вид планового обоснования для получения фактических координат предварительно разбитой строительной сетки.

Предлагается несколько вариантов планового обоснования для определения фактических координат сетки:

1. Свободная линейно-угловая сеть из прямоугольников – строительная сетка, в которой измерены все углы и все стороны. В качестве исходных пунктов при расчете точности принимают пункты закрепления главных осей.

2. Система ходов светодальномерной полигонометрии с узловыми точками. В качестве исходных пунктов при расчете точности принимаются пункты государственной геодезической сети, на которые опираются полигонометрические хода.

3. Четырехугольники без диагоналей (способ И. В. Зубрицкого). В этом случае по периметру строительной сетки прокладывают полигонометрию, а внутренние точки определяют способом Зубрицкого.

4. По периметру строительной сетки полигонометрия, а внутренние точки определяют различными засечками (линейной, прямой угловой, засечками проф. Дурнева).

Студент выбирает вид планового обоснования и изображает его на схеме, дает подробное описание.

Например, приведем схему планового обоснования в виде системы ходов полигонометрии.

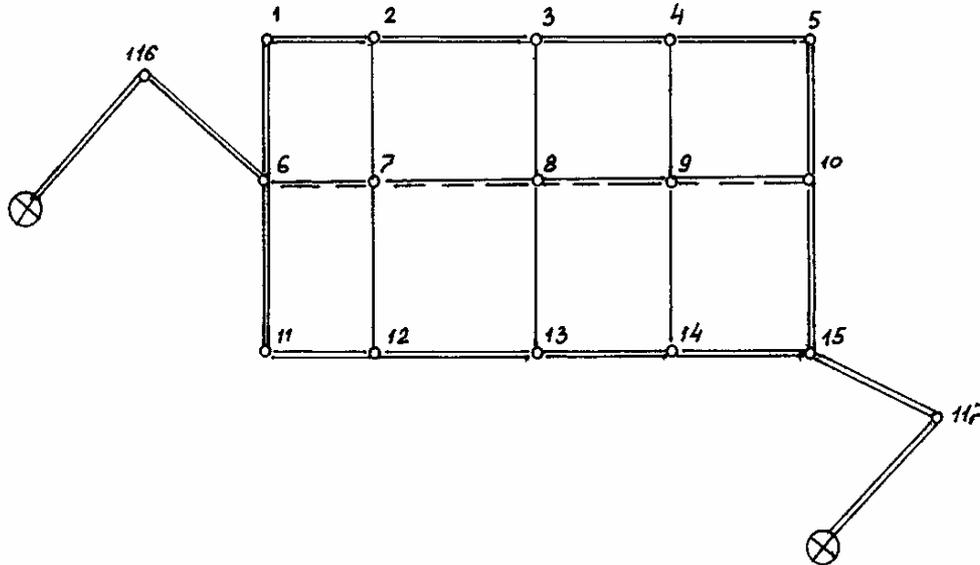


Рис. 1. Схема плановой сети в виде системы полигонометрических ходов с узловыми точками

Далее производится расчет точности планового обоснования и рекомендуются геодезические приборы для выполнения измерений.

Расчет точности планового обоснования можно выполнить приближенным способом (по формулам В. Г. Конусова) или строгим способом (на ПЭВМ по программе В. И. Мицкевича «OZENKA»).

Исходной величиной для расчета точности угловых и линейных измерений служит средняя квадратическая погрешность определения на местности планируемой точки сооружения. Она вычисляется по формуле:

$$M = \sqrt{m^2 + m_0^2},$$

где  $m$  – средняя квадратическая погрешность разбивки точки сооружения относительно ближайшего пункта строительной сетки;

$m_0$  – средняя квадратическая погрешность определения этого пункта сетки относительно ее начального пункта (или пунктов государственной геодезической сети).

Для расчетов примем  $m = m_0$ .

По заданному значению  $M$  студент определяет  $m_0 = M/\sqrt{2}$ .

Строительная сетка должна быть построена так, чтобы погрешность ее любого пункта относительно начального пункта не превышала величины  $m_0$ .

Составление информации для вычислений по программе «OZENKA» выполним по методическим указаниям [34]. При этом необходимо помнить, что для линейно-угловой сети, составляя информация о связях по сторонам, должны быть перечислены все стороны строительной сетки, а для ходов полигонометрии – только стороны хода (от исходных пунктов по периметру сетки или по диагональным ходам).

Для осуществления расчетов, необходимо задать параметр дальности ( $m_s$  в миллиметрах) и среднюю квадратическую погрешность угловых измерений ( $m_\beta$  в секундах).

В результате вычислений получим: средние квадратические погрешности положения всех пунктов относительно начального  $M_i$ . Если полученные значения меньше величины  $m_0$ , то вычисления принимают за окончательные и записывают следующие значения: 1)  $m_s$ ; 2)  $m_\beta$ ; 3)  $M_i$  для пункта, являющегося самым слабым; 4)  $m_e$  слабой стороны; 5)  $m_e/e$  для слабой стороны; 6)  $m_a$  слабой стороны; 7) среднюю квадратическую погрешность взаимного положения пунктов.

При вычислениях важно, чтобы величина погрешности положения слабого пункта  $M_{cl}$  была как можно ближе к значению  $m_0$  и погрешность взаимного положения пунктов не превышала в относительной мере 1/10000.

Если же  $M_{cl} > m_0$ , тогда необходимо изменить исходные параметры для счета  $m_s$  и  $m_\beta$ , т.е. ужесточить требования (лучше для угловых измерений).

Расчет точности планового обоснования строительной сетки в виде линейно-угловой сети или системы ходов полигонометрии с узловыми точками выполняем по программе «OZENKA» и анализируем полученные результаты: точность измерения углов, относительную погрешность слабой стороны и погрешность взаимного положения пунктов.

Если же для определения координат внутренних пунктов строительной сетки используются способ четырехугольников без диагоналей или различные засечки, то сначала по программе «OZENKA» выполняют расчет точности ходов полигонометрии по периметру строительной сетки, а заполняющих по формулам.

Из теории этого способа четырехугольников без диагоналей известно, что если в четырехугольнике изменены две смежные стороны и все четыре угла, то длина других сторон могут быть вычислены. Для определения координат заполняющих пунктов целесообразно создавать сплошную сеть четырехугольников.

При наличии измеренных сторон по периметру площадки (ход первого порядка) в такой сети необходимо будет измерить лишь все углы, их измеряют способом круговых приемов.

Если четырехугольники близки к квадратам, то положение слабой стороны  $M_1 N_1$  по ряду I – I (см. рис. 2) можно вычислить по формуле:

$$\left( \frac{m_{M_1 N_1}}{M_1 N_1} \right)^2 = (m_b / b)^2 + n \left( \frac{m''}{\rho''} \right)^2$$

где  $m_b / b$  – относительная ошибка базисной стороны (из расчета точности хода первого порядка);

$n$  – ряд удаления от измеренных сторон.

Задавшись некоторым значением погрешности измерения угла  $m''$  вычисляют относительную погрешность  $\frac{m_{M_1 N_1}}{M_1 N_1}$  по первому ряду ( $n = 1$ ).

Определив эту ошибку, принимают ее за исходную погрешность базиса для вычислений по ряду II – II ( $n = 2$ ) и так последовательно доходят до самой слабой стороны, для данного примера –  $M_3 N_3$  ( $n = 3$ ). Если полученная относительная погрешность этой стороны (расположенной дальше

всех от сторон по периметру)  $\frac{m_{M_3 N_3}}{M_2 N_2} \leq \frac{m_{l_0}}{l_0}$ , то точность измерения углов

выбрана правильно, а в противном случае расчеты повторяют, взяв меньшее значение  $m''$ .

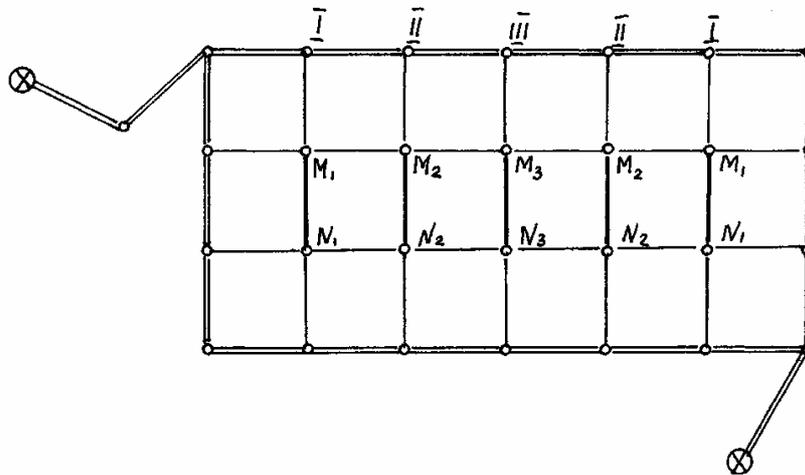


Рис. 2. Четырехугольники без диагоналей И. В. Зубрицкого

Таким образом, предрасчитанными величинами будут являться  $m_b$  и  $m_s / s$  слабой стороны, по которым и можно сделать вывод о точности строительной сетки, сравнив с величинами из раздела 2.1. и о принадлежности запроектированной сети по точности полигонометрии 1 или 2 разряда, сравнив вычисленные величины с техническими характеристиками полигонометрии.

В конце раздела следует рекомендовать методику измерения углов и линий (метод центрирования инструмента и марок, число приемов при измерении углов и линий, марку теодолита и тип светодальномера или тахеометра [22], способ измерения углов, метод уравнивания).

**В разделе 2.5** рассматривается процесс редуцирования пунктов строительной сетки.

По вычисленным (фактическим) координатам предварительно закрепленных пунктов строительной сетки и их проектным координатам должны быть вычислены угловые и линейные элементы редукции из решения обратной геодезической задачи.

Необходимо привести формулы для расчета элементов редуцирования, схематический чертеж редуцирования для одного из пунктов и дать описание процесса полевого редуцирования пунктов сетки, конструкции постоянных знаков закрепления пунктов строительной сетки, методику контрольных измерений, а также вычислить допустимые отклонения в длинах сторон сетки и в прямых углах.

При расчетах необходимо исходить из значения средней квадратической погрешности стороны сетки  $m_{lo}$ , а соответствующий допуск на отклонение прямых углов от  $90^\circ$  можно найти так:

- средняя квадратическая погрешность направления  $m_H = \frac{m_{e_0}}{e_0} \rho''$ ;
- средняя квадратическая погрешность угла  $m_\beta = m_H \sqrt{2}$ ;
- предельная погрешность прямого угла  $\Delta_\beta = 2m_\beta$ ;
- средняя квадратическая погрешность стороны  $m_S = \frac{m_\beta}{\rho} S$ .

**В разделе 2.6** проектируется высотная опорная сеть на строительной площадке.

Главная строительная основа должна обеспечить создание на строительной площадке рабочей высотной основы для разбивочных работ со средней квадратической погрешностью ее знаков не более 10 мм и возможность наблюдений за деформациями со средней квадратической погрешностью 2 – 5 мм в зависимости от объектов промышленного строительства. С требуемой точностью высотного обоснования можно ознакомиться по учебникам [3, 6, 10].

Основные требования, предъявляемые к пунктам высотного обоснования – это их устойчивость. Реперы должны располагаться равномерно по строительной площадке.

Нивелирную сеть можно разделить на основную и дополнительную. Сеть основного нивелирования должна быть совмещена с центрами пунктов строительной сетки. На схеме строительной сетки нивелирную сеть изображают волнистой линией зеленого цвета (рис. 3).

При монтаже стальных конструкций и технологического оборудования и технологического оборудования определение высот реперов должно быть произведено с точностью 1 – 2 мм. Поэтому высотной основой для таких монтажных работ может служить геометрическое нивелирование III класса.

В зависимости от условий проекта и площади стройплощадки пункты строительной сетки обеспечивают отметками из геометрического нивелирования IV класса либо по периметру прокладывают хода III класса, а внутри – IV класса.

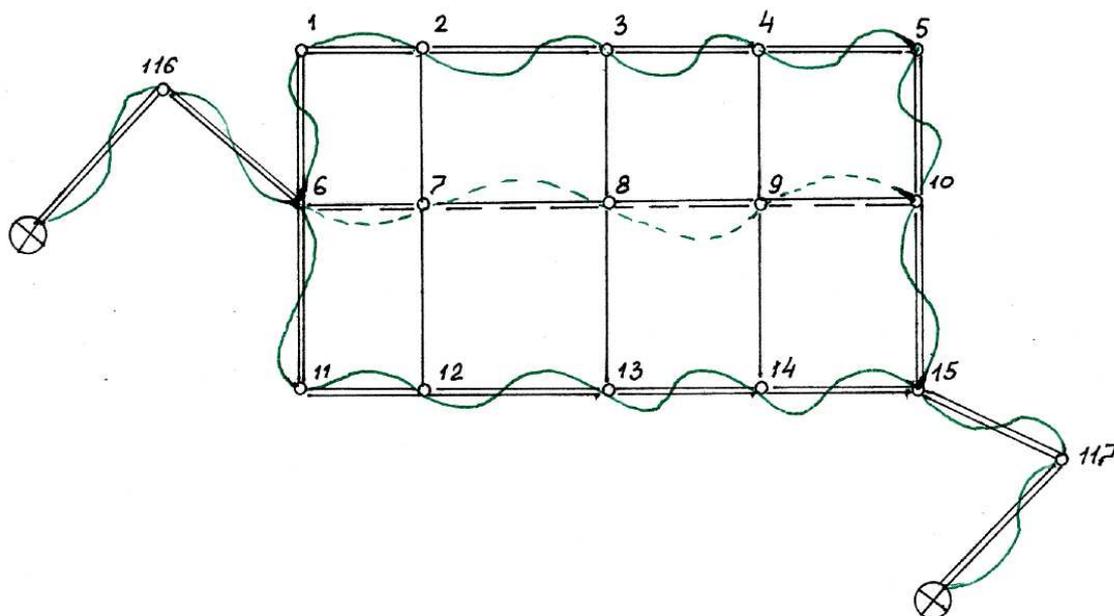


Рис. 3. Схема высотного обоснования

Дополнительную нивелирную сеть на строительной площадке разбивают для того, чтобы создать такую густоту пунктов, при которой на любую точку строительства можно передать отметку при одной постановке нивелира (нивелирование IV класса или техническое). Необходимо составить схему высотной основы строительной площадки, выбрать типы грунтовых реперов (если необходимо).

В разделе «Разбивка промышленных сооружений в плане» на примере одного здания рассматриваются разбивочные работы при строительстве,

геодезическое обеспечение нулевого цикла, составляются разбивочные чертежи здания, обноска и линий коммуникаций.

**Раздел 3.1** посвящен геодезической подготовке перенесения проекта здания (сооружения) в натуру.

Для перенесения проекта сооружения в натуру производят его геодезическую подготовку, которая зависит от способа проектирования сооружения: аналитического, графо-аналитического или графического.

Студент должен еще раз ознакомиться с этим материалом по учебникам [3, 6, 16, 24].

Исходя из генерального плана промышленного предприятия, преподаватель предлагает студенту один из наиболее сложных объектов (здание, корпус, сооружение и др.) предприятия, для которого и будет производиться аналитический расчет координат пересечения главных и основных осей этого здания. С учетом проектных координат пересечения осей здания и пунктов строительной сетки, выполняется расчет элементов разбивки здания способом прямоугольных координат (обосновать необходимость применения этого способа). Затем студент составляет разбивочный чертеж здания на листе формата А4 или А3 (масштаб выбирается студентом). Пример разбивочного чертежа здания приводится на рис.100 в учебнике [3] и в прил. 10. Точность угловых и линейных измерений разбивки рассчитывается, исходя из требуемой точности разбивки сооружения ( $m_{разб}$ ), для способа прямоугольных координат по формуле:

$$m_{пр.к.}^2 = m_{с.р.}^2 + m_{исх.}^2 + m_{р.ц.}^2 + m_{ф.}^2,$$

$$m_{с.р.}^2 = m_{\Delta X}^2 + m_{\Delta Y}^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \Delta x^2,$$

причем из формулы видно, что большее приращение следует откладывать по створу стороны сетки, а меньшее – по перпендикуляру. В этом случае влияние погрешности построения прямого угла будет меньшим.

Необходимо найти относительную ошибку  $1/T$  линейных измерений и угловых измерений  $m_{\beta}$  при выносе проекта в натуру и рекомендовать приборы (расчет можно сделать на примере наиболее удаленной разбивочной точки).

На разбивку остается следующая часть от заданной погрешности  $M$  планируемой точки сооружения:

$$m_{с.р.} = \sqrt{M^2 - m_0^2 - m_{исх.}^2 - m_{р.ц.}^2 - m_{ф.}^2}$$

Исходя из погрешности собственно разбивки, рассчитаем точность угловых и линейных измерений при выносе здания на местность способом прямоугольных координат:

$$m_{\beta}^2 = \rho^2 \frac{m_{c.p.}^2}{2 \cdot \Delta x^2},$$

в знаменателе должно стоять приращение, которое откладывают по перпендикуляру, т.е. может быть и  $\Delta y$ :

$$\frac{1}{T} = \frac{m_{c.p.}}{\sqrt{2(\Delta x^2 + \Delta y^2)}}.$$

Затем, исходя из точности выбранных средств измерений, вычисляют погрешности разбивки углов зданий.

**В разделе 3.2** необходимо рассмотреть разбивку и закрепление на местности главных и основных осей сооружений.

Определение в натуре главных и основных сетей зданий и сооружений относится к основным геодезическим разбивочным работам.

На основе разбивочного чертежа нужно изложить последовательность выполнения полевых измерений при выносе в натуре здания способом прямоугольных координат с помощью приборов, рекомендованных в разделе 3.1.

Далее необходимо описать процесс закрепления главных и основных осей зданий и сооружений. Число постоянных знаков, закрепляющих главные и основные и основные оси зданий и сооружений, зависит от целого ряда фактов и с учетом класса зданий и сооружений не должно быть менее указанных в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Класс зданий и сооружений	Минимальное число осевых знаков	
	продольные	поперечные
I	6	3
II	5	3
III	4	2
IV	3	2

Студент должен рекомендовать конструкцию осевых знаков.

**Раздел 3.3** посвящен проектированию и использованию обноски.

Для обеспечения высокой точности разбивки внутренних осей сооружения (цеха, установки) по периметру выбранного ранее здания необходимо построить обноску [3, 6, 13, 16].

Начать изложение данного вопроса нужно с требований, предъявляемых к обноске, затем выбрать вид обноски.

На основании генерального плана должен быть составлен разбивочный чертеж обноски, на котором указывают все расстояния между осями, габаритные размеры здания и знаки закрепления основных и других наиболее важных для конкретного объекта осей. Пример разбивочного чертежа сплошной обноски приводится на рис. 106 в [3], а створной – в прил. 11. По составленному чертежу необходимо описать последовательность переноса основных осей на обноску, рекомендовать инструменты для угловых и линейных измерений, как в процессе выноса осей, так и в процессе контрольных измерений, выбрать конструкцию знаков закрепления осей на обноске и за ее пределами, рекомендовать методы переноса осей внутрь здания [1, 6, 13].

**В разделе 3.4** рассматриваются разбивочные работы при сооружении котлованов.

Первым этапом детальных разбивочных работ является разбивка котлованов под фундаменты зданий и сооружений.

Студент должен выбрать в зависимости от конструктивных особенностей промышленного здания и инженерно-геологической характеристики основания сооружения тип фундамента (ленточный, свайный, монолитный или отдельные фундаменты по колонны) и с учетом этого наметить комплекс геодезических работ.

В общем случае при устройстве котлованов выполняют следующие геодезические работы: проверку геодезических данных на рабочих чертежах проекта; разбивку и закрепление в натуре контуров котлована; нивелирование дневной поверхности в пределах контура котлована; передачу разбивочных осей и высотных отметок на дно котлована; периодические исполнительные съемки для подсчета объемов земляных масс; окончательную плановую и высотную съемку открытого котлована [1, 6, 16, 27]. Причем допуски на каждый вид работ дают со ссылками на соответствующий нормативный документ (СНиП). Исполнительная схема котлована представлена в прил. 12.

**В разделе 3.5** должны быть представлены разбивочные работы при сооружении фундаментов.

Сооружение фундаментов – одна из ответственных операций от которой зависит качество последующих строительных и монтажных работ. Ошибки в закладке фундамента неизбежно нарушат устойчивость всего

здания. Поэтому необходимо соблюдать установленную точность разбивки в плане и по высоте.

Следует помнить, что монтаж сборных железобетонных ленточных фундаментов производят с помощью башенных кранов, поэтому необходимо соблюдать допуски при строительстве подкрановых путей для башенных кранов. Разбивка фундаментов колонн каркасных сооружений выполняется под каждую колонну отдельно. Сооружение монолитных фундаментов начинают с разбивки опалубки корытообразной формы. Разбивка фундаментов под металлические колонны включает в себя установку анкерных болтов с помощью специальных кондукторов. Разбивку свайных фундаментов начинают с выноса в натуру мест погружения свай свайного поля.

Для изложения этого раздела студенту необходимо, на основе знаний по дисциплине «Технология строительного производства», описать геодезические разбивочные работы при возведении фундаментов [1, 9, 25].

После завершения строительства фундамента выполняют исполнительную плановую и высотную съемку и составляют исполнительную схему, на которой показывают положение проектных осей фундамента, величины отклонения фактических осей (в миллиметрах) в местах их пересечения, фактические отметки верхнего обреза фундамента.

Студенту необходимо составить исполнительную схему (фрагмент схемы) выбранного им ранее фундамента с указанием на ней условных величин отклонений от проекта (в соответствии с допусками). Пример исполнительной схемы свайного поля находится в прил. 13.

**Раздел 3.6** посвящен рассмотрению комплекса работ при проектировании, разбивке коммуникаций на строительной площадке и контроле положения готовой коммуникации.

Для выноса в натуру трасс инженерных коммуникаций необходимо иметь разбивочный чертеж, который составляют на основе генерального плана и продольных профилей. На чертеж наносят ближайшие пункты строительной сетки и относительно них определяют положение разбиваемого участка коммуникаций с углами поворота, пикетами, колодцами. На углах поворота должны быть указаны координаты, а между колодцами – расстояния. Необходимо помнить, что колодцы устанавливаются на поворотах трассы, в местах ответвлений отводов к отдельным потребителям.

В плане линии подземных коммуникаций разбивают с относительной ошибкой порядка 1:2000, а по высоте наиболее точно устанавливаются

самотечные трубопроводы, проектные отметки лотков, которых в соседних колодцах задают с ошибкой порядка 3 – 5 мм. Поэтому перед выносом в натуру оси трассы, если необходимо, прокладывают теодолитный ход определенной длины с нужным числом поворотных пунктов (особенно при утрате пунктов строительной сетки) и нивелирный ход по трассе, с привязкой к реперам нивелирования II и III классов и по всем реперам, находящимся вблизи нивелирного хода.

Студент должен рассмотреть комплекс работ на примере конкретной подземной коммуникации (водопровода, газопровода, теплотрассы или др.) и составить разбивочную схему участка трассы коммуникаций с подводом ее к ранее выбранному зданию и указанием всех необходимых элементов. Пример разбивочного чертежа представлен на рис. 113 в [3] и в прил. 14.

Причем дать описание разбивки коммуникации на основе составленного чертежа, рассмотреть геодезическое обеспечение земляных работ и дать рекомендации по исполнительной съемке готовой коммуникации (точность, характеристика элементов подлежащих съемке на основе нормативных документов).

В последнем разделе **«Геодезическое обеспечение возведения надземной части зданий и сооружений»** студенту предлагается рассмотреть состав работ при строительстве какого-либо типа здания.

4.1. Геодезические работы при монтаже каркасных зданий.

4.2. Геодезические работы при монтаже бескаркасных зданий.

4.3. Геодезические работы при строительстве кирпичных зданий.

4.4. Геодезические работы при возведении панельных зданий.

4.5. Геодезические работы при возведении зданий и сооружений в скользящей опалубке

4.6. Геодезические работы при строительстве башенных сооружений.

Студенту предлагается самостоятельно изложить один из предложенных вопросов, пользуясь литературой [1, 6, 13, 23, 27], а также используя статьи журнала «Геодезия и картография» и других технических изданий (обязательно указать их в списке литературы).

**В заключении** студент делает выводы по результатам выполненного проектирования, анализируя выбранные методы, способы, методики, средства измерений (их преимущества); характеризует полученные навыки, приобретенные во время выполнения данного курсового проекта.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по изучению дисциплины  
студентами заочной формы обучения

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

### Название тем, их содержание, объем в часах лекционных занятий

№ п/п	Название темы	Содержание	Объем в часах
1	2	3	4
<b>Пятый курс, девятый семестр</b>			
1.	Введение	Предмет и задачи прикладной геодезии. Этапы и состав геодезических работ в строительстве. Основные нормативные документы.	1
2.	Геодезические разбивочные работы	Содержание разбивочных работ. Геометрическая основа проекта. Геодезическая подготовка проекта. Общий порядок разбивки сооружения. Элементы геодезических разбивочных работ: построение на местности проектных углов, длин линий, отметок, линий и плоскостей проектного уклона, створа. Теория и точность основных способов разбивочных работ: полярных и прямоугольных координат; угловой, линейной и створной засечек; замкнутого треугольника; створно-линейного способа; проектного полигона; бокового нивелирования. Точность разбивочных работ. Класс точности сооружений.	1  2  2
3.	Геодезическое обеспечение строительно-монтажных работ	Общие сведения. Требования к точности монтажа. Последовательность строительно-монтажных работ и геодезические измерения им сопутствующие. Способы плановой, высотной установки и выверки строительных конструкций и технологического оборудования. Способы установки и контроль вертикальности конструкций при их монтаже.	2
<b>Всего лекций за седьмой семестр:</b>			<b>12</b>
<b>Шестой курс, одиннадцатый семестр</b>			
4.	Наблюдения за деформациями инженерных сооружений	Виды деформаций и причины их вызывающие. Назначение, организация, точность и периодичность наблюдений. Геодезические методы наблюдений за осадками сооружений. Наблюдения за кренами сооружений, требования к их точности. Наблюдения за оползневыми процессами в плане и по высоте.	2
5.	Геодезические работы при строительстве тоннелей и подземных сооружений	Виды тоннелей, способы их проектирования и сооружения. Габариты приближений. Схема геодезического обоснования тоннеля. Аналитических расчет трассы тоннеля. Ориентирование подземной основы различными способами. Передача высот в подземные выработки.	

1	2	3	4
6.	Геодезические работы в период эксплуатации инженерных сооружений	Состав и содержание инженерно-геодезических работ при эксплуатации инженерных сооружений. Техническое обследование зданий и сооружений. Методы створных измерений. Геодезические работы при устройстве и эксплуатации подкрановых путей. Плановая и высотная съемка подкрановых конструкций.	2
7.	Геодезические работы при планировке и застройке городов	Проекты планировки городов. Состав генерального плана. Ситуационный план района строительства. Планы горизонтальной и вертикальной планировки, вынесение их в натуру. Разбивка осей улиц и красных линий.	2
8.	Исполнительные геодезические съемки	Назначение и точность исполнительных съемок. Геодезическая основа. Методы плановых и высотных съемок скрытых сооружений. Контрольные съемки смонтированных конструкций и агрегатов оборудования. Исполнительная документация.	2
9.	Высокоточные геодезические измерения при строительстве и эксплуатации прецизионных сооружений	Виды прецизионных сооружений и требования к точности их установки в проектное положение. Состав и содержание инженерно-геодезических работ при их проектировании, строительстве и выверках в период эксплуатации. Особенности создания плановой и высотной основы, наблюдений за деформациями.	2
<b>Всего лекций за одиннадцатый семестр:</b>			<b>12</b>

**Итого по курсу: 24 часа**

### Лабораторные занятия, их содержание, объем в часах

№ п/п	Наименование	Объем в часах
1	2	3
1.	Проектирование наклонной площадки.	4
2.	Высотная привязка проектируемого здания к рельефу местности.	2
3.	Аналитический расчет выноса в натуру основных осей зданий с предрасчетом точности различных способов разбивки.	6
4.	Определение нестворностей различными способами.	4
5.	Высокоточное тригонометрическое нивелирование коротким лучом.	4
6.	Составление проекта вертикальной планировки части городской территории.	4

**Всего: 24 часа**

## КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

### Контрольная работа № 1

Задание на выполнение контрольной работы № 1 выдается в восьмом семестре, а ее защита предполагается в девятом семестре.

#### **Содержание контрольной работы:**

1. Изучение теоретического материала по теме «Геодезические работы при строительстве гидротехнических сооружений» (см. раздел 5 конспекта лекций).

2. Составление продольного профиля реки. Подробные указания для выполнения этого задания даются в лабораторном практикуме (см. лабораторную работу 7).

3. Аналитическая подготовка проекта осей гидроузла к перенесению на местность. Данное задание предполагает вычисление координат точек основных осей, элементов их выноса на местность от запроектированного планового обоснования и вычерчивание плана осей гидроузла. Рекомендации к выполнению этого задания приводятся в лабораторном практикуме (см. лабораторную работу 9 и расчетно-графическую работу 1).

### Контрольная работа № 2

Задание на выполнение контрольной работы № 2 выдается в девятом семестре, а ее защита предполагается в десятом семестре.

#### *Содержание контрольной работы:*

1. Расчет требуемой точности геодезического обоснования на несбойку тоннелей метрополитена.

Для выполнения этого задания студенту необходимо ознакомиться с материалом раздела 6.2 конспекта лекций.

Методические указания к выполнению задания приведены в лабораторном практикуме (см. лабораторную работу 11).

2. Уравновешивание результатов измерений для ориентирования способом соединительного треугольника.

Для выполнения этого задания студенту необходимо ознакомиться с материалом раздела 6.6 конспекта лекций.

Методические указания к выполнению задания приведены в лабораторном практикуме (см. лабораторную работу 12).

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**  
**на тему:**  
**«Геодезическое обеспечение строительства**  
**промышленных сооружений»**

Согласно учебного плана по дисциплине «Прикладная геодезия» предполагается курсовой проект, задание на выполнение которого выдается в десятом семестре, а его защита состоится в одиннадцатом семестре.

*Содержание курсового проекта:*

Введение.

1. Общие сведения об объекте.
  2. Геодезическая разбивочная основа на строительной площадке.
  3. Разбивка промышленных сооружений в плане.
  4. Геодезическое обеспечение возведения надземной части зданий и сооружений.
  5. Проект наблюдений за осадками фундаментов зданий и сооружений.
    - 5.1. Требования, предъявляемые к точности наблюдений за осадками.
    - 5.2. Схема размещения исходных реперов и осадочных марок.
    - 5.3. Предрасчет точности наблюдений за осадками.
- Заключение.  
Литература.  
Приложения.

Подробные рекомендации к выполнению курсового проекта даны в соответствующем разделе учебно-методического комплекса. Поэтому рассмотрим только рекомендации к выполнению пятого раздела, который студентами очной формы не выполняется.

Раздел 5 посвящен вопросам проектирования наблюдений за деформациями инженерных сооружений. Студенту необходимо на примере одного здания запроектировать комплекс работ для наблюдений за осадками фундаментов.

В разделе 5.1 необходимо изложить требования к точности определения осадок фундаментов в зависимости от типа фундамента и грунтов, находящихся в его основании. При строительстве промышленных сооружений требуемая точность наблюдений за осадками установок технологического оборудования, зданий, сооружений и их оснований зависит от технологического процесса и может находиться в пределах от 0,5 до 5 мм.

Необходимо изложить требования к точности определения осадок согласно нормативных документов [26, 32].

В разделе 5.2 студент должен, исходя из выбранной точности наблюдений за осадками, рекомендовать: конструкцию исходных реперов и

осадочных марок; определить места закладки исходных реперов (критерием здесь является удаленность репера от объекта наблюдений и его сохранность в процессе строительства); разместить осадочные марки по фундаменту здания в зависимости от конструкции здания и типа фундамента; составить схему размещения реперов и осадочных марок (см. рис. 4.3 конспекта лекций) и запроектировать систему нивелирных ходов (см. рис. 4.7 конспекта лекций).

В разделе 5.3 необходимо сделать расчет точности наблюдений за осадками.

По запроектированной схеме нивелирных ходов подсчитывают количество равноточных превышений  $\pi_i$  (штативов), исходя из расстояния между соседними осадочными марками. Для того чтобы определить число штативов  $\pi_{RE}$  от репера до слабоопределяемой осадочной марки  $E$  необходимо способом эквивалентной замены развернуть систему ходов в вытянутый одиночный ход [26] и вычислить среднюю квадратическую погрешность единицы веса  $\mu$  превышения по формуле:

$$\mu \leq \frac{m_S}{\sqrt{2 \cdot \pi_{RE}}}$$

По найденной  $\mu$  студент определяет класс геометрического нивелирования, пользуясь данными табл. 5.1. В качестве погрешности единицы веса при наблюдениях за осадками методом геометрического нивелирования принимают среднюю квадратическую погрешность превышения на станции  $m_h$ .

Таблица 5.1

Высокоточное геометрическое нивелирование	I класс	II класс	III класс	IV класс
$m_h$ до 0,1 мм	$0,1 \leq m_h \leq 0,2$	$m_h \leq 0,5$	$m_h \leq 1,0$	$m_h \leq 3,0$

В зависимости от вычисленной погрешности превышения выбирают класс нивелирования и дают описание методики геометрического нивелирования соответствующего класса, подбирают средства измерений [15, 18, 22]. Далее следует привести необходимые рекомендации, требования и допуски [18], соблюдение которых в процессе нивелирования на конкретном объекте позволит уверенно обеспечить предвычисленную  $\mu$ .

В качестве итогового контроля знаний по дисциплине учебным планом предусмотрены два экзамена: в девятом и одиннадцатом семестрах.

**Экзамен** может проводиться традиционно (в экзаменационном билете 3 вопроса) или в виде теста (студенту предлагается 50 – 60 вопросов). Тест содержит задания открытой и закрытой формы, причем задания закрытой формы могут иметь один или несколько правильных ответов.

Материалы, обеспечивающие проведение  
текущего и итогового контроля качества  
усвоения знаний студентами  
очной формы обучения

## 4 КУРС, СЕДЬМОЙ СЕМЕСТР

Учебным планом специальности 1-56 02 01 «Геодезия» (специализация «Прикладная геодезия») в седьмом семестре запланированы *два контрольных опроса* (в письменной форме), в качестве итогового контроля – *экзамен*.

**Первый опрос** на тему: «Элементы и способы разбивочных работ» по материалу разделов 2.2 и 2.3 (см. конспект лекций).

Каждому студенту предлагается один вопрос, при ответе на который он должен осветить следующие позиции:

- назначение способа или содержание элемента разбивочных работ;
- геометрическая схема;
- точность способа или построения проектного элемента разбивочных работ;
- формулы для расчетов;
- последовательность разбивки на местности;
- геодезические приборы и приспособления.

**Второй опрос** на тему: «Способы установки и выверки строительных конструкций и технологического оборудования в плане, по высоте и вертикали» по материалу разделов 3.1 – 3.5 (см. конспект лекций).

Каждому студенту предлагается ответить на 11 вопросов из предложенного перечня вопросов на данную тему (охватывается весь материал по изученной теме). Преподавателем подготовлено несколько вариантов заданий.

### **Приблизительный перечень вопросов для подготовки к опросу**

1. Какие Вам известны способы плановой установки конструкций и оборудования?
2. Чем может быть задано положение оси при монтаже?
3. Какие приспособления используются в струнном способе?
4. Источники ошибок струнного способа? Его точность?
5. Какие приборы и приспособления используются в струнно-оптическом способе?
6. Источники ошибок струнно-оптического способа?

7. Что такое систематическая ошибка за фазу в струнно-оптическом способе?
8. Что служит монтажной осью в оптическом способе?
9. Какие оптические приборы применяют для плановой установки конструкций оптическим способом?
10. Источники ошибок способа оптического визирования?
11. Какие способы могут применяться для выверки прямолинейности?
12. Для каких целей применяется коллиматорный способ?
13. Из чего состоит коллиматорная система?
14. Зависит ли точность определения смещения коллиматорным способом от расстояния до наблюдаемых точек?
15. Какая длина створа допускается в коллиматорном способе и почему?
16. Сфера применения способа автоколлимации?
17. Какие существуют серийно выпускаемые автоколлимационные приборы?
18. Что в качестве отражателя может использоваться в автоколлимационных системах?
19. Недостаток автоколлимационного способа?
20. На каком физическом явлении основан дифракционный способ?
21. Что мы видим в поле зрения при использовании дифракционного способа?
22. Сколько щелей и каковы их размеры у спектральной марки?
23. Какие источники ошибок наиболее ощутимы для дифракционного способа?
24. Точность дифракционного способа?
25. Благодаря каким приборам широкое применение получил дифракционный способ?
26. Какие лазерные приборы могут быть использованы для установки конструкций и оборудования в проектное положение?
27. Какие способы используются для высотной установки?
28. Какие способы используются для выверки высотного положения конструкций и оборудования?
29. Геометрическое нивелирование какой точности используется для предварительной установки конструкций по высоте?
30. Какие средства измерений необходимы для высотной установки геометрическим нивелированием III и IV класса?

31. Какое по точности геометрическое нивелирование применяется при высотной установке технологического оборудования?
32. Какова точность геометрического нивелирования при высотной установке технологического оборудования и чем она достигается?
33. Какие приборы и приспособления относят к микронивелирам?
34. Составные части микронивелира?
35. Каково назначение микронивелиров?
36. Диапазон измерения превышений микронивелиром?
37. Приборная точность микронивелира? (пример)
38. Каково назначение гидронивелирования?
39. Какие существуют разновидности гидронивелирования?
40. Принцип гидромеханического нивелирования?
41. Диапазон измерения превышений гидромеханическим нивелированием?
42. Точность гидромеханического нивелирования?
43. Сфера применения гидромеханического нивелирования?
44. Какое свойство жидкости лежит в основе гидростатического нивелирования?
45. Какие нивелиры гидростатического типа широко известны?
46. Источники ошибок гидростатического нивелирования?
47. Для каких целей применяется индикаторный способ?
48. Какие способы применяются для установки конструкций по вертикали?
49. Какие способы используются для контроля вертикальности?
50. Какие приборы используются в способе наклонного визирования?
51. Источники ошибок способа наклонного визирования?
52. От чего в большей степени зависит точность способа наклонного визирования?
53. Для каких целей используется способ оптической вертикали?
54. Источники ошибок способа оптической вертикали и его точность?
55. Какие приборы вертикального проектирования Вам известны?
56. Для каких целей может быть использован способ бокового нивелирования?
57. Какие приборы и приспособления применяют в способе бокового нивелирования?
58. Источники ошибок бокового нивелирования?

59. В какой последовательности ведется установка конструкций по вертикали способом бокового нивелирования?

60. В какой последовательности ведется выверка вертикальности конструкций способом бокового нивелирования?

**Оценивание ответов преподавателем:** 6 ответов (55 %) – 4 балла; 7 ответов (65 %) – 5 баллов; 8 ответов (75 %) – 6 баллов; 9 ответов (80 %) – 7 баллов; 10 ответов (90 %) – 8 баллов; 11 ответов (100 %) – 9 баллов.

Если студент за опрос получил 7 и более баллов, то он имеет повышающий балл, который учитывается преподавателем на экзамене.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену за седьмой семестр**

1. Этапы геодезических работ в строительстве.
2. Основные принципы и содержание разбивочных работ. Оси сооружений.
3. Геодезическая подготовка проекта и общий порядок разбивки сооружения.
4. Вынесение в натуру проектных длин линий и углов.
5. Вынесение в натуру проектных высот и уклонов.
6. Разбивка основных осей способом полярных координат.
7. Разбивка основных осей способом прямоугольных координат.
8. Разбивка основных осей способом прямой угловой засечки и замкнутого треугольника.
9. Применение способа проектного полигона, линейной засечки.
10. Составление разбивочных чертежей (геодезическое обоснование – строительная сетка).
11. Составление разбивочных чертежей (геодезическое обоснование – полигонометрические или теодолитные хода).
12. Вынесение в натуру новых зданий от существующей застройки.
13. Вынос в натуру сравнительно протяженной линии.
14. Точность детальной разбивки. Детальная разбивка строительных осей (створной засечкой и створно-линейным способом).
15. Проектирование и построение обноски.
16. Основные требования, предъявляемые к обноске.

17. Построение на обноске осевой разбивочной основы.
18. Закрепление главных и основных осей сооружений.
19. Состав геодезических работ в строительстве. Точность геодезических работ в строительстве.
20. Общие принципы геодезического обеспечения монтажа.
21. Требование к точности геодезического обеспечения монтажных работ. Закрепление исходной разбивочной основы и монтажных осей.
22. Способы плановой установки и выверки конструкций и оборудования (струнный, струнно-оптический, оптический способы).
23. Способы выверки прямолинейности (коллиматорный, автоколлимационный, дифракционный и лучевой способы).
24. Способы высотной установки и выверки конструкций и оборудования по высоте (геометрического нивелирования, микро nivelирование, гидронивелирование, индикаторный способ).
25. Способы установки и выверки конструкций и оборудования по вертикали (способ отвесов, автоколлимации, проектирования наклонным лучом, оптической вертикали, бокового нивелирования).
26. Виды деформаций и причины их вызывающие. Понятия абсолютной, средней и относительной осадок, разности осадок.
27. Горизонтальные и вертикальные смещения. Послойная деформация и симметричный относительный прогиб. Понятия крена и кручения.
28. Назначение и организация наблюдений за деформациями сооружений и их оснований.
29. Геодезические методы определения осадок (геометрическое нивелирование, высокоточное тригонометрическое нивелирование коротким лучом).
30. Размещение нивелирных знаков для наблюдений за осадками и анализ устойчивости реперов.
31. Наблюдения за кренами высотных сооружений (способ координат, горизонтальных углов, вертикального проектирования, высокоточного нивелирования, применение дифференциальных формул, зенитных расстояний, комбинированный и др.).
32. Геодезические методы наблюдений за оползневыми процессами. Осевые и плановые методы. Высотные и пространственные методы.

**Экзамен** может проводиться традиционно (в экзаменационном билете 3 вопроса) или в виде теста (студенту предлагается 50 – 60 вопросов).

Тест содержит задания открытой и закрытой формы, причем задания закрытой формы могут иметь один или несколько правильных ответов. Также могут быть предложены задания творческого характера.

## 4 КУРС, ВОСЬМОЙ СЕМЕСТР

Учебным планом специальности 1-56 02 01 «Геодезия» (специализация «Прикладная геодезия») **в восьмом семестре** запланированы *два контрольных опроса* (в письменной форме), в качестве итогового контроля – экзамен.

**Первый опрос** на тему: «Геодезические работы при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений» по материалу разделов 5.1 – 5.9 (см. конспект лекций).

Каждому студенту предлагается ответить на 10 вопросов из предложенного перечня вопросов на данную тему (охватывается весь материал по изученной теме). Преподавателем подготовлено несколько вариантов заданий.

### **Приблизительный перечень вопросов для подготовки к опросу**

1. Назначение гидротехнических сооружений.
2. Как подразделяют гидротехнические сооружения по характеру воздействия на водный поток?
3. Водоподпорные гидротехнические сооружения.
4. Водопроводящие гидротехнические сооружения.
5. Регуляционные гидротехнические сооружения.
6. Что относится к специальным видам гидротехнических сооружений?
7. Дайте определение гидроузла
8. Составные части гидроузла
9. Какие бывают плотины в зависимости от строительных материалов?
10. Как по конструктивным признакам подразделяют плотины?
11. Охарактеризуйте гравитационные плотины.
12. Охарактеризуйте арочные плотины.
13. Охарактеризуйте арочно-гравитационные плотины.
14. Охарактеризуйте контрфорсные плотины.

15. Какую ГЭС называют приплотинной?
16. Какую ГЭС называют деривационной?
17. Что создает напор на ГЭС?
18. Чему равен напор на равнинных реках?
19. Чему равен напор на горных реках?
20. Как подразделяют каналы по назначению?
21. Какие последствия возникают из-за неправильного проектирования гидротехнических сооружений?
22. Продольный профиль реки (определение)
23. Для чего используется продольный профиль?
24. Какими графиками представлен продольный профиль?
25. Виды геодезических работ, необходимые для составления продольного профиля.
26. Нивелирные работы для составления продольного профиля.
27. Промерные работы для составления продольного профиля.
28. Что такое приведенный срезочный уровень и как получить его отметки?
29. Что такое кривая подпора?
30. Охарактеризуйте движение воды в реке, перегороженной плотиной.
31. Как можно определить площадь затопления?
32. В чем заключается приближенный метод определения объема водохранилища?
33. В чем заключается уточненный метод определения объема водохранилища?
34. С какой целью выносят на местность контур водохранилища?
35. Как на местности определяют горизонталь затопления?
36. В каких случаях для определения горизонтали затопления на местности используют геометрическое нивелирование, а когда тригонометрическое?
37. Какова точность выноса в натуру проектной отметки контура водохранилища?
38. Состав геодезических работ на водохранилищах?
39. Охарактеризуйте съёмочные работы на водохранилищах
40. Какими плановыми построениями представлена разбивочная основа на гидроузлах?
41. Охарактеризуйте сети гидротехнической триангуляции

42. Охарактеризуйте плановую разбивочную сеть гидроузла по ступеням.

43. Для каких целей на гидроузлах создают плановое и высотное обоснование?

44. Охарактеризуйте высотную разбивочную сеть гидроузла по ступеням.

45. Какова точность детальной разбивки осей гидроузла?

46. Какова точность высотной разбивки бетонных сооружений гидроузла?

47. Какие оси являются главными осями гидроузла?

48. Какова последовательность разбивочных работ на гидроузле?

**Оценивание ответов преподавателем:** 5 ответов (50 %) – 4 балла; 6 ответов (60 %) – 5 баллов; 7 ответов (70 %) – 6 баллов; 8 ответов (80 %) – 7 баллов; 9 ответов (90 %) – 8 баллов; 10 ответов (100 %) – 9 баллов.

Если студент за опрос получил 7 и более баллов, то он имеет повышающий балл, который учитывается преподавателем на экзамене.

Второй опрос на тему: «Геодезические работы при проектировании и возведении тоннелей метрополитена» по материалу разделов 6.1 – 6.8 (см. конспект лекций).

Каждому студенту предлагается ответить на 10 вопросов из предложенного перечня вопросов на данную тему (охватывается весь материал по изученной теме). Преподавателем подготовлено несколько вариантов заданий.

### **Приблизительный перечень вопросов для подготовки к опросу**

1. Как по назначению подразделяют тоннели?
2. Какими способами могут быть построены тоннели?
3. Каким способом сооружают тоннели в незастроенной местности?
4. Каким способом сооружают тоннели в горной местности?
5. Каким способом сооружают тоннели метрополитена?
6. Какие механизмы используются при строительстве тоннелей глубокого заложения?
7. Назовите габариты поперечного сечения тоннеля.

8. Что такое габаритный запас?
9. Какова форма поперечных сечений тоннелей?
10. Охарактеризуйте габарит подвижного состава.
11. Охарактеризуйте габарит приближения оборудования.
12. Охарактеризуйте габарит приближения строения.
13. Какие способы применяются при проектировании тоннелей?
14. Охарактеризуйте аналитический способ проектирования тоннелей.
15. Охарактеризуйте геометрический способ проектирования тоннелей.
16. Какими геодезическими построениями представлено плановое обоснование тоннелей на поверхности?
17. Какими геодезическими построениями представлено плановое обоснование тоннелей под землей?
18. Охарактеризуйте тоннельную триангуляцию.
19. Какими геодезическими построениями представлено высотное обоснование тоннелей?
20. Можно ли тоннельную триангуляцию заменить линейно-угловой сетью или полигонометрией?
21. Сколько раз производят измерения в тоннельной триангуляции или тоннельной полигонометрии?
22. Измерения в высотном обосновании тоннелей выполняется один единственный раз или по-другому?
23. Для каких целей необходимо высотное обоснование при строительстве метрополитенов?
24. Почему возникает несбойка при сооружении тоннеля встречными выработками?
25. Что такое несбойка рабочих осей?
26. Чем обусловлена несбойка рабочих осей?
27. Что такое общая несбойка (из-за влияния геодезических работ)?
28. Чем задается (определяется) общая несбойка (из-за влияния геодезических работ)?
29. От чего зависит общая несбойка (из-за влияния геодезических работ)?
30. Какие источники ошибок влияют на сбойку в плане при сооружении тоннеля через стволы шахт?
31. Какие источники ошибок влияют на сбойку в плане при сооружении тоннеля через порталы?

32. Какие источники ошибок влияют на высотную сбойку тоннелей, сооружаемых через стволы шахт?

33. В чем заключается расчет точности измерений при проектировании тоннельной триангуляции?

34. В чем заключается расчет точности измерений при проектировании полигонометрии на поверхности?

35. В чем заключается расчет точности измерений при проектировании подземной полигонометрии?

36. В чем заключается расчет точности ориентирования подземных выработок?

37. В чем заключается расчет точности измерений при проектировании высотного обоснования тоннелей?

38. Имеются ли отличия в выборе исходной точности для предварительных расчетов точности измерений в плановом обосновании для прямолинейных и криволинейных тоннелей (если имеются, то в чем они)?

39. Назовите наиболее простые в осуществлении способы ориентирования подземных выработок?

40. Назовите способы ориентирования подземных выработок, позволяющие обеспечить более высокую точность?

41. Охарактеризуйте магнитное ориентирование подземных выработок (включая точность).

42. Охарактеризуйте ориентирование подземных выработок способом поляризации светового потока (включая точность).

43. Охарактеризуйте ориентирование подземных выработок автоколлимационным способом (включая точность).

44. Охарактеризуйте ориентирование подземных выработок гироскопическим способом (включая точность).

45. Охарактеризуйте ориентирование подземных выработок способом створа двух отвесов (включая точность).

46. Какие способы ориентирования подземных выработок появились благодаря усовершенствованию способа створа двух отвесов?

47. Охарактеризуйте ориентирование подземных выработок способом соединительного треугольника (включая точность)

48. В каком случае ориентирование выполняют путем проложения полигонометрического хода?

49. Назовите способы ориентирования, основанные на физических принципах.

50. Назовите способы ориентирования, основанные на геометрических принципах.

51. Каким образом осуществляется передача отметок с поверхности в подземные выработки?

52. Назовите основные элементы трассы тоннеля в плане.

53. Назовите основные элементы трассы тоннеля в профиле.

54. Охарактеризуйте разбивочную ось тоннеля.

55. Охарактеризуйте ось пути (из-за чего она образуется и ее радиус).

56. Охарактеризуйте ось пути (из-за чего она образуется и ее радиус).

57. Что такое неправильный пикет, из-за чего он появляется?

58. Как при аналитическом расчете трассы тоннеля вычисляют координаты концов переходных кривых?

59. Какие способы применяются для расчета координат пикетов, расположенных на криволинейных участках трассы тоннеля?

60. Какими способами может быть выполнена детальная разбивка круговой кривой на разбивочной оси и оси тоннеля?

**Оценивание ответов преподавателем:** 5 ответов (50 %) – 4 балла; 6 ответов (60 %) – 5 баллов; 7 ответов (70 %) – 6 баллов; 8 ответов (80 %) – 7 баллов; 9 ответов (90 %) – 8 баллов; 10 ответов (100 %) – 9 баллов.

Если студент за опрос получил 7 и более баллов, то он имеет повышающий балл, который учитывается преподавателем на экзамене.

### **Примерный перечень вопросов к экзамену за восьмой семестр**

1. Гидротехнические сооружения. Составные части гидроузла.
2. Виды гидроэлектростанций. Напор, расход воды, мощность ГЭС.
3. Состав геодезических работ выполняемых при изысканиях, проектировании и строительстве гидротехнических сооружений.
4. Составление продольного профиля реки (подготовительные и полевые работы).
5. Составление продольного профиля реки (камеральные работы).
6. Нивелирование уровней воды в реке (водомерные посты, точки односторонней связи, определение глубин).
7. Инженерно-геодезические работы на водохранилищах.
8. Плановая и высотная основа для съемки водохранилища.

9. Кривая подпора.
10. Определение объема водохранилища приближенным способом и уточненным способом.
11. Вынос в натуру проектного контура водохранилища.
12. Плановая и высотная разбивочная сеть гидроузла.
13. Геодезическое обеспечение разбивочных работ на гидроузле.
14. Геодезические разбивки при выполнении бетонных работ.
15. Геодезическое обеспечение монтажных работ (ГЭС).
16. Этапы геодезических работ в строительстве.
17. Нормативная база, обеспечивающая проведение геодезических работ в строительстве.
18. Требования к точности геодезического обеспечения монтажа строительных конструкций и технологического оборудования.
19. Контроль геометрических параметров конструкций.
20. Геодезические работы на нулевом цикле (разбивка и закрепление осей зданий и сооружений; детальная разбивка осей на обноске; разбивка котлованов; передача осей и отметок на дно котлована).
21. Геодезические работы при возведении ленточных фундаментов.
22. Геодезические работы при возведении свайных фундаментов.
23. Геодезические работы при возведении фундаментов «стаканного» типа.
24. Геодезические работы при возведении плитных монолитных и коробчатых фундаментов.
25. Геодезические работы при строительстве бескаркасных зданий.
26. Геодезические работы при строительстве каркасных зданий.
27. Геодезические работы при строительстве каркасно-панельных зданий.
28. Контроль кирпичной кладки
29. Построение разбивочной основы на исходном и монтажных горизонтах.
30. Передача осей и отметок на монтажные горизонты.
31. Виды тоннелей, способы их сооружения.
32. Виды тоннелей, способы их проектирования.
33. Виды габаритов при сооружении тоннелей. Форма поперечных сечений.
34. Плановое геодезическое обоснование тоннеля (на поверхности).
35. Плановое геодезическое обоснование тоннеля (под землей).

36. Высотное обоснование тоннелей.
37. Понятие сбойки встречных подземных выработок.
38. Влияние на сбойку подземных выработок ошибок геодезических измерений.
39. Расчет требуемой точности измерений в тоннельной триангуляции.
40. Расчет требуемой точности измерений в полигонометрии на поверхности и под землей.
41. Расчет требуемой точности ориентирования подземных выработок и высотного обоснования.
42. Трасса тоннеля (оси трассы, пути и тоннеля).
43. Аналитический расчет трассы тоннеля на прямых участках, круговых и переходных кривых.
44. Вычисление координат пикетов и точек кривых через центральные углы.
45. Вычисление координат пикетов и точек кривых способом хорд.
46. Вынесение кривых в натуру по хордам и по секущим.
47. Ориентирование подземных выработок (существующие способы), их точностные характеристики.
48. Ориентирование способом створа двух отвесов.
49. Ориентирование способом соединительного треугольника.
50. Ориентирование способом двух шахт.
51. Гироскопическое ориентирование.
52. Передача отметок в подземные выработки (на разную глубину).

**Экзамен** может проводиться традиционно (в экзаменационном билете 3 вопроса) или в виде теста (студенту предлагается 50 – 60 вопросов). Тест содержит задания открытой и закрытой формы, причем задания закрытой формы могут иметь один или несколько правильных ответов. Также могут быть предложены задания творческого характера.

## СЛОВАРЬ НОВЫХ ТЕРМИНОВ

### А – Б

**Боковое нивелирование** – процесс получения с помощью теодолита и рейки, посредством задания ориентирной (референтной) линии, разности горизонтальных расстояний между точками по какому-либо сечению.

### В

**Возведение** – технологический процесс строгого воссоздания на местности проектного решения относительно зданий и сооружений с помощью выполнения различных строительных работ.

### Г

**Генеральный план** – подробный чертеж проекта строительного объекта с рельефом местности, сооружениями, элементами благоустройства и указанием их расположения. Является исходным документом для детального проектирования и строительства отдельных сооружений объекта.

**Главные оси (оси симметрии)** – две взаимно перпендикулярные линии, относительно которых здание или сооружение располагается симметрично.

### Д

**Детальная высотная разбивка** – комплекс работ, включающий перенесение проектных отметок на конструкции от рабочих реперов монтажного горизонта. Выполняется способом геометрического нивелирования технической точности.

**Детальные разбивочные работы** – процесс разбивки промежуточных осей, параллелей основным осям и ориентирных риск, фиксирующих проектное положение конструкций на монтажном горизонте.

**Деформация** – процесс изменения положения и геометрии сооружения в пространстве, в горизонтальной или вертикальной плоскости.

### Е – З

**Здание** – созданный в результате строительства наземный замкнутый объем, предназначенный для проживания или выполнения производственных процессов.

## И

**Исполнительные съемки** – процесс определения планового и высотного положения окончательно закрепленных разбивочных осей, конструкций и элементов здания. Они завершают каждый этап строительно-монтажных работ и геодезических построений. Выделяют текущие исполнительные съемки – после завершения этапа строительства и окончательную – по завершении строительства в целом.

**Исходный горизонт** – условная плоскость, проходящая по поверхности несущих конструкций подземной части зданий (фундаментов) или перекрытия нулевого цикла (для зданий – уровень «чистого пола»).

## К – М

### **Монтаж**

– **зданий** – основной этап строительства, представляющий собой технологический процесс возведения и установки элементов здания в проектное положение.

– **технологического оборудования** – процесс выноса и установки технологического оборудования в проектное положение в плане, по высоте и по вертикали.

**Монтажные оси** – оси технологического оборудования, которые разбивают и проверяют относительно основных осей. Делят на основные (оси технологических линий, основных агрегатов и машин) и вспомогательные (многоопорных валов, рабочих клетей и др.)

**Монтажный горизонт** – условная плоскость, проходящая по поверхности перекрытия каждого последующего этажа или опорного яруса надземной части здания.

## Н – О

**Обноска** – ряд вкопанных в землю столбов с прибитой к ним обрезной доской толщиной 40 – 50 мм, расположенной перпендикулярно линии основных осей. Бывает сплошной, створной, скамеечной. Кроме деревянной обноски используют инвентарную металлическую обноску, состоящую из металлических стоек и горизонтальных штанг.

**Ориентирные риски** – риски, наносимые на конструкции в виде черты 5 – 10 см. Они фиксируют плановое положение конструкций в продольном и поперечном направлениях.

**Основные оси (габаритные)** – оси, образующие контур здания или сооружения в плане.

**Оценка эксплуатационной надежности** – комплекс работ, выявляющий текущее состояние зданий и сооружений на основе геодезических и не-геодезических методов.

## П

**Проектирование** – комплекс камеральных работ для разработки на основе материалов изысканий набора графических, технических и экономических документов, обосновывающих возможность или целесообразность строительства.

## Р

**Рабочие чертежи** – масштабные изображения составных элементов сооружения, размеров в плане и по высоте частей объекта и геометрических связей между ними. Это технические документы, которые непосредственно используются на строительной площадке при размещении и установке отдельных частей (деталей) сооружения.

**Разбивочные работы** – процесс переноса геодезическими методами проекта на местность (в натуру) с последующим закреплением полученных точек.

**Разбивочные чертежи (схемы)** – графические документы, на которых приводятся расстояния между основными и промежуточными осями сооружения в двух взаимно перпендикулярных направлениях; элементы, необходимые для разбивки объекта в зависимости от способа разбивки; точность выноса и привязки к основе.

## С – Я

**Сооружение** – объемная, плоскостная или линейная строительная конструкция, предназначенная для выполнения производственных процессов различного вида. Подобные объекты обычно называют инженерными сооружениями (дороги, трубопроводы и т.д.).

**Строительная сетка** – вид наиболее часто используемой в строительстве разбивочной основы, как наиболее удобной для определения планового положения точек в прямоугольной системе координат. Представляет собой сетку квадратов или прямоугольников, проектируется на генплане строящегося объекта.

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Геодезическое обеспечение жилищно-гражданского и промышленного строительства / Ф. В. Андреева, Б. Г. Борисенков, В. Г. Бузятков, В. С. Сытник. – М. : Недра, 1988.
2. Климов, О. Д., Калугин, В. В., Писаренко, В. К. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений : учеб. пособие для вузов / О. Д. Климов, В. В. Калугин, В. К. Писаренко. – М. : Недра, 1991.
3. Левчук, Г. П., Новак, В. Е., Конусов, В. Г. Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – М. : Недра, 1981.
4. Левчук, Г. П., Новак, В. Е., Лебедев, Н. Н. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, Н. Н. Лебедев. – М. : Недра, 1983.
5. Лебедев, Н. Н. Практикум по курсу прикладной геодезии / Н. Н. Лебедев. – М. : Недра, 1977.
6. Михелев, Д. Ш. Инженерная геодезия / Д. Ш. Михелев. – М. : Высш. шк., 2001.
7. Хаметов, Т. И. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации зданий, сооружений / Т. И. Хаметов. – М. : Издательство АСВ, 2002.

### Дополнительная

8. Асташенков, Г. Г. Геодезические работы при монтаже крупного промышленного оборудования / Г. Г. Асташенков. – М. : Недра, 1986.
9. Атаев, С. С., Данилов, Н. Н., Прыкин, Б. В. Технология строительного производства / С. С. Атаев, Н. Н. Данилов, Б. В. Прыкин и др. – М. : Стройиздат, 1984.
10. Бронштейн, Г. С., Эфенден, П. С. Инженерно-геодезические разбивочные сети : справочник / Г. С. Бронштейн, П. С. Эфенден. – М. : Недра, 1993.

11. Ганьшин, В. Н. Геодезические работы при реконструкции промышленных предприятий / В. Н. Ганьшин. – М. : Недра, 1990.
12. Ганьшин, В. Н., Репалов, И. М., Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановых путей / В. Н. Ганьшин, И. М. Репалов. – М. : Недра, 1980.
13. Геодезические работы в строительстве / под ред. В. Н. Ганьшина. – М. : Недра, 1984.
14. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. – М. : Недра, 1982.
15. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М. : Недра, 1990.
16. Лысов, Г. Ф. Геодезические работы на строительной площадке / Г. Ф. Лысов. – М. : Недра, 1988.
17. Нестеренок, М. С., Нестеренок, В. Ф., Позняк, А. С. Геодезия / М. С. Нестеренок, В. Ф. Нестеренок, А. С. Позняк. – Мн. : «Университетское», 2001.
18. Пискунов, М. Е. Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений / М. Е. Пискунов. – М. : Недра, 1980.
19. Применение геодезических засечек, их обобщенные схемы и способы машинного решения / П. И. Баран, В. И. Мицкевич, Ю. В. Полищук и др. – М. : Недра, 1986.
20. Руководство по определению кренов инженерных сооружений башенного типа геодезическими методами. – М. : Стройиздат, 1981.
21. Рыгалов, В. А. и др. Генеральные планы промышленных предприятий / В. А. Рыгалов и др. – М. : Стройиздат, 1973.
22. Современные электронные геодезические приборы: информ. обзор / Сост. Д. А. Чиж, С. И. Помелов. – Мн. : «БелНИЦзем», 2005.
23. Справочник по геодезическим работам в строительном производстве / под ред. Ю. В. Полищука. – М. : Недра, 1990.
24. Справочник по общестроительным работам. Геодезические работы в строительстве / под ред. В. Н. Ганьшина. – М. : Стройиздат, 1975.
25. Справочник по общестроительным работам. Основания и фундаменты / под общ. ред. М. И. Смородинова. – М. : Стройиздат, 1974.
26. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / под ред. В. Д. Большакова – М. : Недра, 1980.
27. Сундаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий – М. Недра , 1980.

28. Практикум по инженерной геодезии: учеб. пособие для строительных вузов / под ред. В. Е. Новака. – М. : Недра, 1987.

29. Указания по проектированию и производству геодезических и фотограмметрических работ в строительстве и архитектуре / под ред. А. И. Метелкина. – М. : Издательство АСВ, 2003.

### Перечень методических указаний

30. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Прикладная геодезия», раздел «Геодезические работы на промышленных площадках» и «Вынесение в натуру проектов планировки и застройки городов и населенных пунктов» / сост. И. С. Рабцевич. – Новополоцк : НПИ, 1980.

31. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Прикладная геодезия» по разделу «Геодезические работы при строительстве тоннелей и подземных сооружений» / сост. И. С. Рабцевич. – Новополоцк : НПИ, 1981.

32. Методические указания к выполнению лабораторных работ по курсу «Прикладная геодезия» по разделу «Геодезические работы при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений» / сост. И. С. Рабцевич. – Новополоцк : НПИ, 1983.

33. Методические указания «Определение геометрических параметров резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов при их полном и частичном диагностировании» / сост. Г. А. Шароглазова. – Новополоцк : ПГУ, 2003.

34. Методические указания «Предрасчет точности геодезических сетей на ПЭВМ IBM PS/AT» для студ. спец. 3001 – Новополоцк : ПГУ, 1993.

### Нормативные документы

35. СНБ 1.02.01-96. Инженерные изыскания для строительства. – Мн., 1985.

36. СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Мн., 1999.

37. СНБ 3.01.04-02. Градостроительство. Планировка и застройка населенных пунктов. – Мн., 2002.

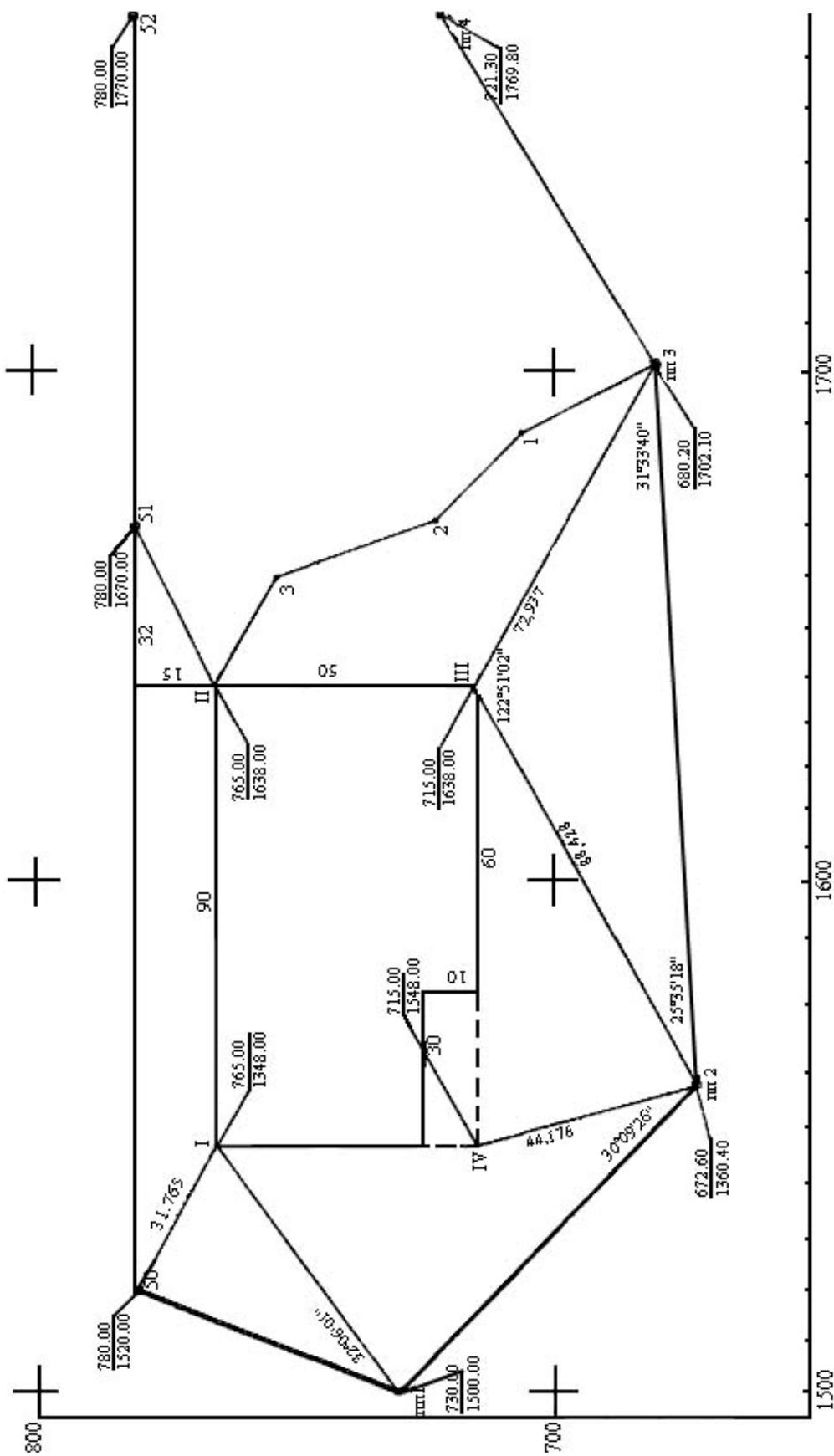
38. СНБ 3.03.02-97. Улицы и дороги городов, поселков и сельских населенных пунктов. – Мн., 1997.
39. СНиП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. – М. : Госстрой, 1985.
40. СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания, фундаменты. – М. : Госстрой, 1987.
41. СНиП 3.03.01-87. Несущие и ограждающие конструкции. – М. : Госстрой, 1987.
42. СНиП 3.05.05.84. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы. – М. : Госстрой, 1984.
43. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. – Мн., 1994.
44. РД-08-95. Положение о системе технического диагностирования сварных вертикальных цилиндрических резервуаров для нефти и нефтепродуктов. – М. : Ростехнадзор России, 1995.
45. ВСН 57-88 (р). Положение по техническому обследованию жилых зданий. – М. : Госстрой, 1988.
46. ГОСТ 21779-82. Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Технологические допуски. – М. : Госстрой, 1982.
47. ГОСТ 26433.2-94 (межгосударственный стандарт). Система обеспечения точности геометрических параметров в строительстве. Правила выполнения измерений параметров зданий и сооружений. – СПб. : ЗНИПИ, 1994.
48. ГОСТ 24846-84. Требования к точности геодезических измерений деформаций. – М. : Госстрой, 1982.
49. ГОСТ 24846-81. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. – М. : Госстрой, 1982.
50. ГОСТ 21.508-93 СПДС. Правила выполнения рабочей документации генеральных планов предприятий, сооружений и жилищно-гражданских объектов. – М., 1993.
51. ОСТ 68-13-99. Стандарт отрасли. Виды и процессы геодезической и картографической деятельности. Термины и определения – Мн. : «БелНИЦзем», 1999.
52. ОСТ 68-13-99. Стандарт отрасли. Измерения геодезические. Термины и определения – Мн. : «БелНИЦзем», 1999.

## Публикации в журналах

53. Губенко, Е. Н., Ким, А. С., Красавцев, М. А. Обобщение геодезических методов определения крена дымовых труб промышленных предприятий // Геодезия и картография. – 1978. – № 10. – С. 39 – 49.
54. Зеленский, А. М. Об определении крена высоких сооружений башенного типа // Геодезия и картография. – 1974. – № 12. – С. 30 – 32.
55. Кала, В. В. Определение крена труб видоизмененным способом горизонтальных углов // Геодезия и картография. – 1983. – № 6. – С. 41 – 42.
56. Ковхаев, Г. А. Передача осей на монтажные горизонты // Геодезия и картография. – 1981. – № 11. – С. 32 – 33.
57. Нестеренок, В. Ф. О точности упрощенных способов определения наклона и крена башенных сооружений // Геодезия и картография. – 1977. – № 8. – С. 31 – 35.
58. Пимшин, Ю. И., Губеладзе, А. Р., Пимшин, И. Ю. Контроль прямолинейности и горизонтальности подкрановых путей // Прикладная геодезия: сб. науч. трудов. – Ростов н/Д : Ростовский государственный строительный университет, 2003. – С. 19 – 30.
59. Радов, С. Г., Стукальский, В. П., Ларченко, В. Г. Комбинированный способ определения крена инженерных сооружений башенного типа // Геодезия и картография. – 1977. – № 12. – С. 35 – 38.
60. Рабцевич, И. С. Разбивочные работы с использованием частных створов // Геодезия и картография. – 1982. – № 10. – С. 29 – 31.
61. Рабцевич, И. С. Дифференциальные формулы определения кренов // Геодезия и картография. – 1982. – № 6. – С. 34 – 35.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Разбивочный чертеж здания

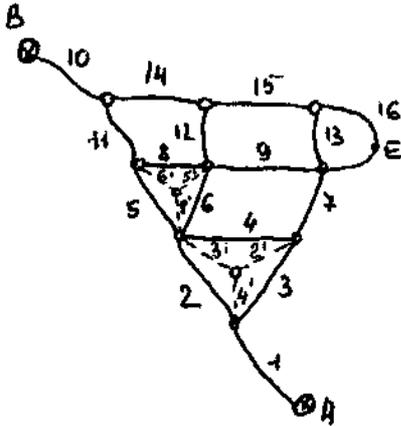


Масштаб

Выполнил \_\_\_\_\_

**Преобразование системы нивелирных ходов  
способом эквивалентной замены**

1) преобразование «из треугольника в трехлучевую звезду»

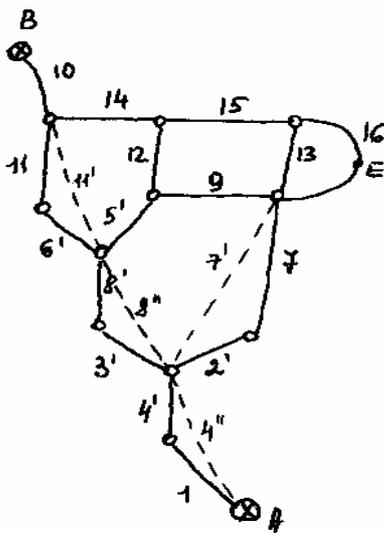


$$\pi'_2 = \frac{\pi_3 \pi_4}{[\pi]}; \quad \pi'_2 = 4,82; \quad \pi'_3 = \frac{\pi_2 \pi_4}{[\pi]}; \quad \pi'_3 = 7,11;$$

$$\pi'_4 = \frac{\pi_2 \pi_3}{[\pi]}; \quad \pi'_4 = 4,64; \quad \pi'_5 = \frac{\pi_6 \pi_8}{[\pi]}; \quad \pi'_5 = 6,59;$$

$$\pi'_6 = \frac{\pi_5 \pi_8}{[\pi]}; \quad \pi'_6 = 2,91; \quad \pi'_8 = \frac{\pi_5 \pi_6}{[\pi]}; \quad \pi'_8 = 2,15.$$

2) преобразование последовательно идущих ходов



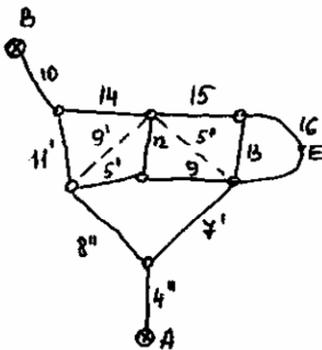
$$\pi'_{11} = \pi_{11} + \pi'_6; \quad \pi'_{11} = 30,41;$$

$$\pi''_8 = \pi_8 + \pi'_3; \quad \pi''_8 = 9,26;$$

$$\pi''_4 = \pi_4 + \pi_1; \quad \pi''_4 = 69,04;$$

$$\pi'_7 = \pi'_2 + \pi_7; \quad \pi'_7 = 13,82.$$

3) преобразование «неполный треугольник»

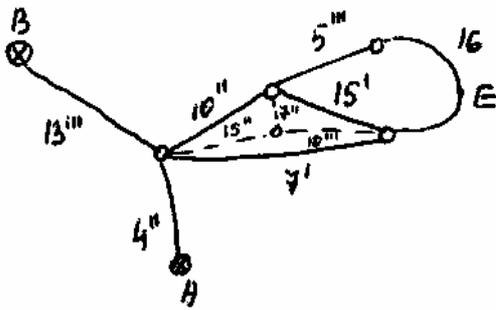


$$\pi'_9 = \frac{\pi'_5 \pi_{12} + \pi_{12} \pi_9 + \pi_9 \pi'_5}{\pi_9}; \quad \pi'_9 = 54,09;$$

$$\pi''_5 = \frac{\pi'_5 \pi_{12} + \pi_{12} \pi_9 + \pi_9 \pi'_5}{\pi'_5}; \quad \pi''_5 = 92,74.$$



7) преобразование «из треугольника в трехлучевую звезду»

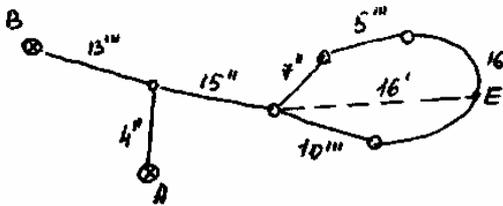


$$\pi''_{15} = \frac{\pi'_7 \pi''_{10}}{[\pi]}; \quad \pi''_{15} = 10,33;$$

$$\pi''_7 = \frac{\pi'_{15} \pi''_{10}}{[\pi]}; \quad \pi''_7 = 7,31;$$

$$\pi'''_{10} = \frac{\pi'_{15} \pi'_7}{[\pi]}; \quad \pi'''_{10} = 1,45.$$

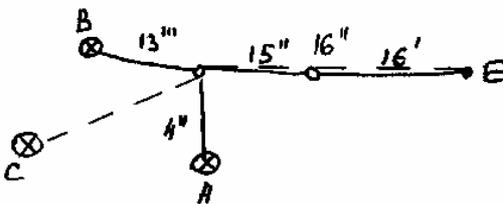
8) преобразование замкнутого хода, если точка  $E$  – слабое место нивелирной сети



$$\pi'_{16} = \frac{1}{4} (\pi''_7 + \pi'''_{10} + \pi_{16} + \pi'''_{10});$$

$$\pi'_{16} = 8,78.$$

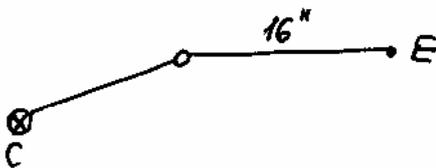
9) преобразование «эквивалентный репер»



$$\pi''_{16} = \pi'''_{15} + \pi'_{16}; \quad \pi''_{16} = 19,11;$$

$$\pi_c = \frac{\pi'''_{13} \pi''_4}{[\pi]}; \quad \pi_c = 33,36.$$

10) вытянутый одиночный ход



$$\pi_{RPE} = \pi_c + \pi''_{16}; \quad \pi_{RPE} = 52,47.$$

Гидрометрические данные для составления продольного профиля реки

№ п/п	Название участка	Расстояния		Рабочие уровни	ВИГ	Отметка дна	Отметки (м)		
		от устья, км	интервал, км				левого	правого	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	В/п Самарово	22	46		21,11	26,65	18,03	27,05	29,78
	ТОС Безьяны	68	47	20. УШ	22,45	-	18,58	27,36	29,84
	ТОС Репеловский	115	20		23,86	-	18,70	29,06	30,00
	Вр.в/п Батово	135			24,29	29,47	19,52	30,94	32,10
2	Вр.в/п Батово	135			24,46	29,47	19,52	30,94	32,10
	ТОС Семейка	166	31		25,24	-	19,99	30,02	31,10
	ТОС Филинское	214	48	17. УШ	26,36	-	21,37	33,91	32,84
	ТОС Суббота	257	43		27,27	-	23,00	35,11	36,91
	В/п. Демьянское	311	54		27,89	35,83	24,06	34,70	37,12
3	В/п. Демьянское	311			27,92	35,83	24,06	34,70	37,12
	ТОС Першино	367	56	16. УШ	30,89	-	25,01	37,69	38,71
	В/п Уват	414	47		33,05	37,29	26,35	38,11	39,23
4	В/п. Уват	414			33,20	37,29	26,35	38,11	39,23
	Вр.в/п Новое	474	60		33,57	38,90	21,00	41,30	43,15
	ТОС Старая Яма	523	49		35,15	-	28,72	42,15	42,00
	ТОС Бранниково	581	58	12. УШ	36,83	-	29,99	44,77	45,84
	В/п Тобольск	631	50		37,07	44,11	32,10	46,73	47,26

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	В/л Тобольск	631			37,63	44,11	32,10	46,73	47,26
	ТОС У.Таменское	692	61		37,78	–	34,15	44,99	46,91
	ТОС Шалошиноково	760	68	1.X	39,88	–	36,80	44,00	45,13
	ТОС Супрунское	784	24		40,50	–	38,30	45,98	47,91
	Вр.В/л Салы	818	34		41,16	46,10	39,12	45,36	48,11
6	Вр.в/л Салы	818			41,12	46,10	39,12	45,36	48,11
	ТОС Курья	885	67		42,66	–	40,54	45,77	48,36
	ТОС Тебенда	941	56	29.IX	43,81	–	40,93	48,92	50,45
	В/л Усть-Ишим	994	53		44,75	50,80	41,58	50,75	55,68
7	В/л Усть-Ишим	994			44,53	50,80	41,58	50,75	55,68
	ТОС Тавинское	1051	57	25.IX	45,56	–	42,58	51,70	54,83
	ТОС Петрово	1094	43		47,77	–	44,05	53,12	55,00
	В/л Тевриз	1132	38		49,98	55,20	46,37	54,02	56,14
8	В/л Тевриз	1132			49,94	55,20	46,37	54,02	56,14
	ТОС Лезское	1201	69	24.IX	50,56	–	48,13	55,82	57,84
	Вр.в/п Иваново	1227	26		51,15	56,97	49,91	57,00	58,13

**Отметки уровней воды по наблюдениям на водомерных постах**

Название в/п Н гр в/п	Самарово (см) 17,22		Батово (м) 0,00		Демянское (см) 23,75		Уват (см) 27,02		Новое время (м) 0,00	
	УШ	IX	УШ	IX	УШ	IX	УШ	IX	УШ	IX
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	488	270	25,08	23,11	481	295	684	484	33,93	31,77
2	498	262	25,19	23,01	493	285	691	436	34,06	31,67
3	510	252	25,40	22,92	499	276	685	424	34,12	31,55
4	500	246	25,33	22,82	490	269	676	419	34,01	34,47
5	490	240	25,16	22,73	479	260	653	412	33,93	31,32
6	481	236	25,00	22,64	480	250	641	404	33,81	31,22
7	476	226	24,87	22,56	471	242	638	396	33,71	31,12
8	461	220	24,80	22,48	460	231	630	389	33,68	31,04
9	450	214	24,75	22,40	452	219	628	381	33,52	30,95
10	439	207	24,74	22,31	440	212	626	373	33,66	30,88
11	435	202	24,69	22,20	436	205	622	368	33,61	30,81
12	427	202	24,65	22,16	432	193	618	362	33,57	30,74
13	423	192	24,63	22,09	429	192	614	355	33,53	30,68
14	422	191	24,56	22,05	425	188	611	350	33,47	30,65
15	417	190	24,55	22,02	421	184	607	349	33,43	30,63
16	411	188	24,52	22,00	417	182	603	346	33,39	30,62
17	406	186	24,46	21,96	414	179	598	344	33,35	30,61
18	399	184	24,38	21,95	410	178	594	344	33,29	30,62
19	394	182	24,34	21,95	405	178	589	341	33,22	30,60
20	389	180	24,29	21,94	399	179	582	339	33,14	30,59
21	381	178	24,24	21,91	394	170	573	331	33,04	30,51
22	371	175	24,16	21,85	388	163	564	327	32,94	30,43
23	363	180	24,09	21,98	382	171	555	338	32,86	30,48
24	353	187	24,01	21,99	373	180	544	345	32,76	30,57
25	343	193	23,85	22,17	363	192	532	348	32,56	30,63
26	334	198	23,78	22,28	355	201	520	350	32,43	30,78
27	324	201	23,63	22,43	343	207	507	371	32,30	30,45
28	312	200	23,54	22,41	332	205	494	370	32,18	30,17
29	302	213	23,43	22,56	325	203	484	376	32,11	30,68
30	393	215	23,33	22,69	314	214	472	380	32,00	30,31
31	283		23,22		304		489		31,90	

Название в/п Н гр в/п	Салы вр. в/п (м)			Усть-Ишим (см)			Тевриз (см)			Иваново (м)		
	УШ	IX	X	VIII	IX	X	IX	X	IX	X	IX	X
Число/ мес.												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	42,13	41,84	41,16	301	158	93	501	454	52,88	51,33		
2	42,21	41,91	41,28	314	143	93	493	453	52,74	51,28		
3	42,40	41,99	41,33	310	127	91	488	450	52,68	51,19		
4	42,25	41,81	41,29	301	113	89	473	446	52,43	51,13		
5	42,01	41,73	41,17	293	101	86	461	442	52,27	51,07		
6	41,86	41,69	41,13	278	93	81	458	438	52,05	51,01		
7	41,77	41,41	41,00	263	88	77	440	434	51,96	50,93		
8	41,53	41,32	41,01	251	81	74	462	431	51,87	50,86		
9	41,48	41,25	40,93	248	78	71	444	427	51,77	50,72		
10	41,33	41,14	40,72	233	75	68	433	423	51,59	50,66		
11	41,52	41,13		217	74	63	434	418	51,35	50,61		
12	41,61	41,12		207	73	78	435	433	51,31	50,92		
13	41,42	41,30		201	73	81	434	449	51,27	50,86		
14	41,12	41,17		194	72	93	434	451	51,25	50,98		
15	41,10	41,11		187	72	97	432	481	51,23	51,17		
16	41,00	41,11		182	73	112	430	492	51,21	51,22		
17	40,98	41,11		178	73	128	429	513	51,19	51,38		
18	40,77	41,11		171	71	124	426	510	51,17	51,29		
19	40,84	41,04		162	69	133	424	521	51,16	51,43		
20	41,02	41,11		151	67	158	424	577	51,16	51,79		
21	41,12	41,04		174	65	160	421	580	51,14	51,83		
22	41,33	41,04		177	63	142	421	539	51,13	51,52		
23	41,42	41,05		182	62	131	424	515	51,13	51,16		
24	41,38	41,05		172	61	101	430	501	51,15	50,96		
25	41,53	41,14		170	61	98	434	498	51,18	50,77		
26	41,68	41,12		169	63	82	444	476	51,21	50,68		
27	41,69	41,12		153	69	77	450	482	51,24	50,94		
28	41,87	41,12		150	76	68	454	463	51,27	50,77		
29	41,72	41,12		157	83	65	455	458	51,29	50,62		
30	41,88	41,12		152	88	52	454	447	51,33	50,55		
31	41,32	41,		156		57		462	51,	50,74		

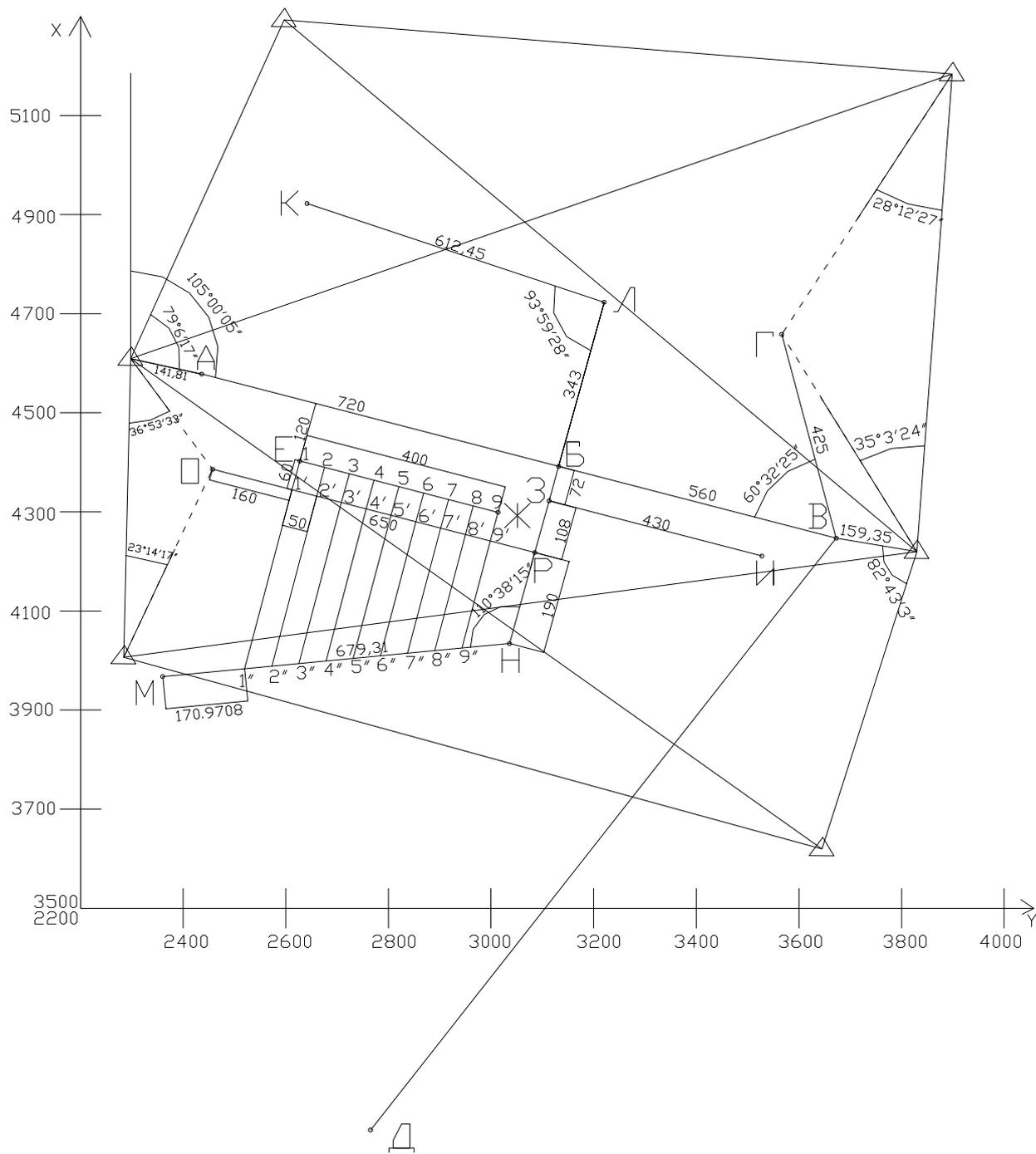
ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Вычисление высот уровней воды в реке, приведенных на заданное число, падений и уклонов водной поверхности

N п/п	Название участка	Расстояние, км		Рабочие уровни		ВИГ, м	Дна, м	Отметки бровок берега, м		Приведенные отметки срезочного уровня на 09.09.		Падение, м	Уклон $i \cdot 10^{-6}$
		От устья реки, км	Интер- вал, км	Дата	Отмет- ки, м			левого	правого	в/п и ТОС	Попра- вка		
2	Вр. в/п. Багово ТОС Семейна ТОС Филинск ТОС Суббота в/п. Демьянск	135	31		24,46	29,47	19,52	30,94	32,10	22,40	-2,06	0,80	26
		166	48	17.08	25,24	-	19,99	30,02	31,10	23,20	-2,04	1,15	24
		214	43		26,36	-	21,37	33,91	32,84	24,35	-2,01	0,93	22
		257	54		27,26	-	23,00	35,11	36,91	25,28	-1,98	0,66	12
		311			27,89	35,83	24,06	34,70	37,12	25,94	-1,95		
3	в/п. Демьянск ТОС Першино в/п. Уват	311	56		27,92	35,83	24,06	34,70	37,12	25,24	-1,98	2,84	51
		367	47	16.08	30,89	-	25,01	37,69	38,71	28,78	-2,11	2,05	44
		414			33,05	37,29	26,35	38,11	39,23	30,83	-2,22		
4	в/п. Уват Вр.в/п Новое ТОС Старая яма ТОС Бранниково в/п Тобольск	414	60		33,20	37,29	26,35	38,11	39,23	30,83	-2,37	0,12	2
		474	49	12.08	33,57	38,90	27,00	41,30	43,15	30,95	-2,62	1,66	34
		523	58		35,15	-	28,72	42,15	42,00	32,61	-2,54	1,77	31
		581	50		36,83	-	29,99	44,77	45,84	34,38	-2,45	0,32	6
		631			37,07	44,11	32,10	46,73	47,26	34,70	-2,37		



Разбивочный чертеж основных осей гидросооружения

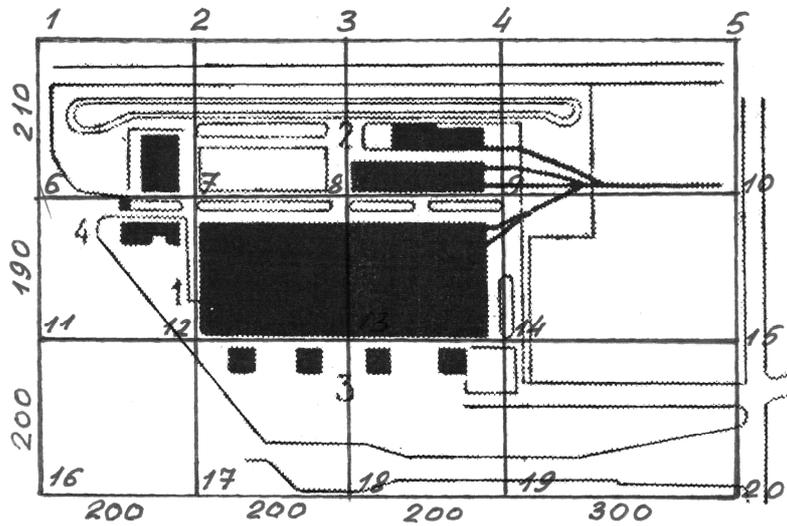


М 1:10000

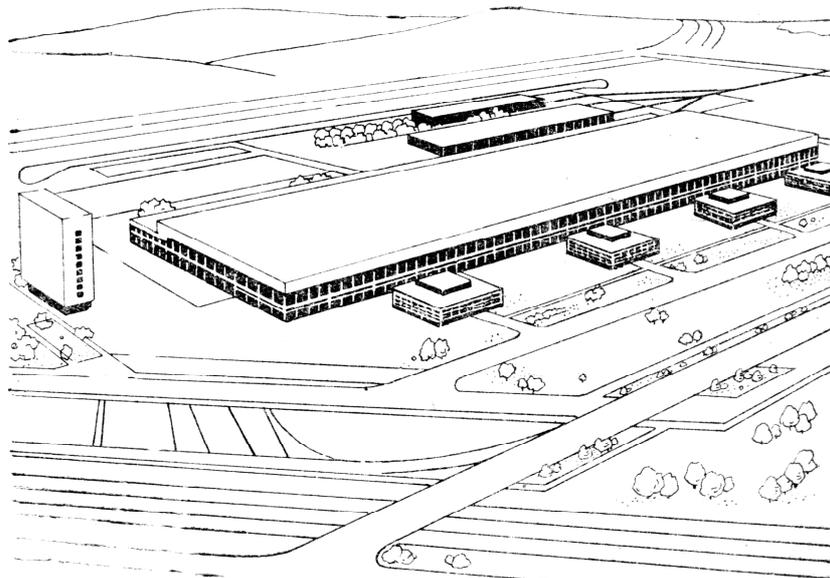
Выполнил: \_\_\_\_\_

Схема строительной сетки на генплане автомобильного завода

а)

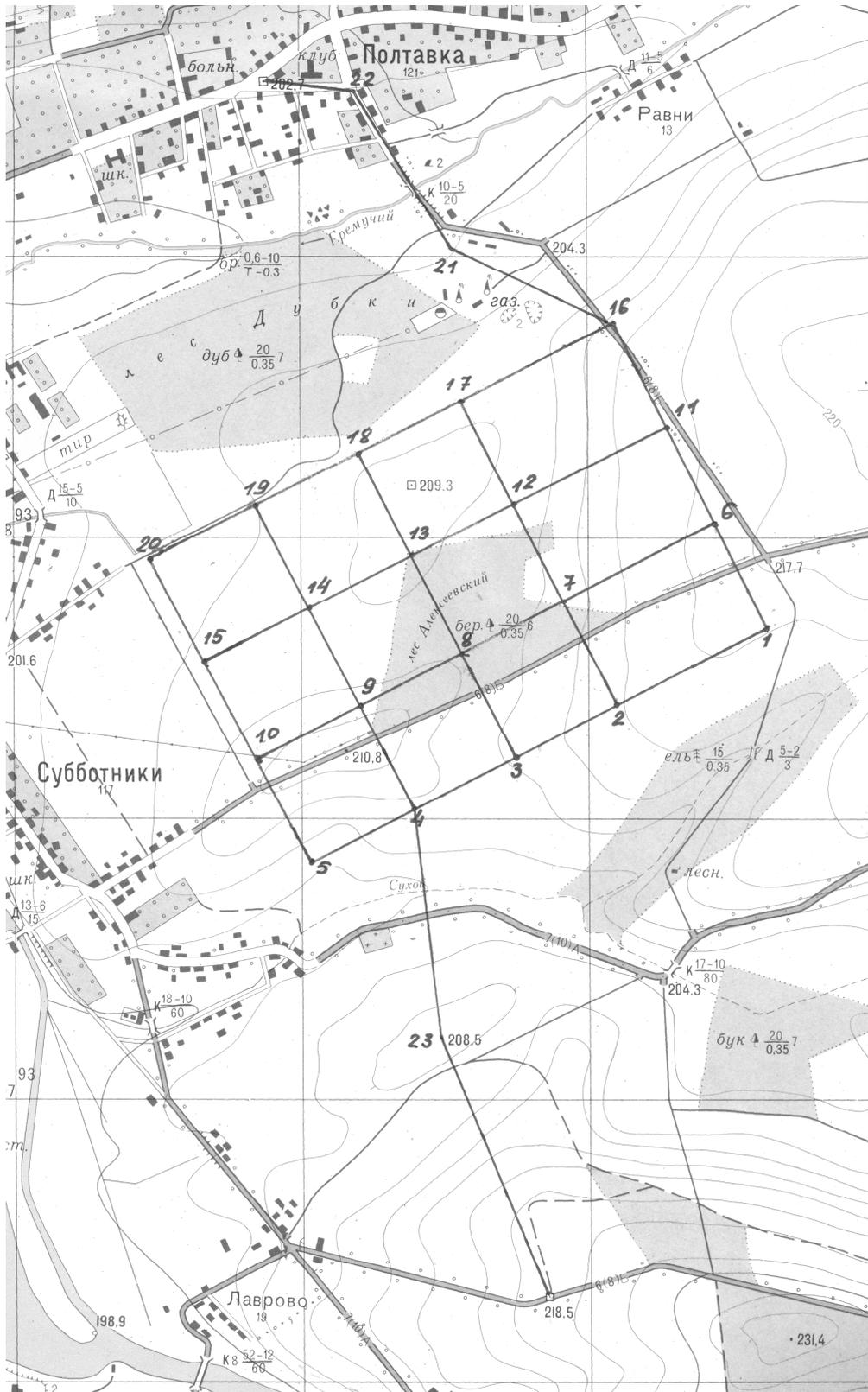


б)



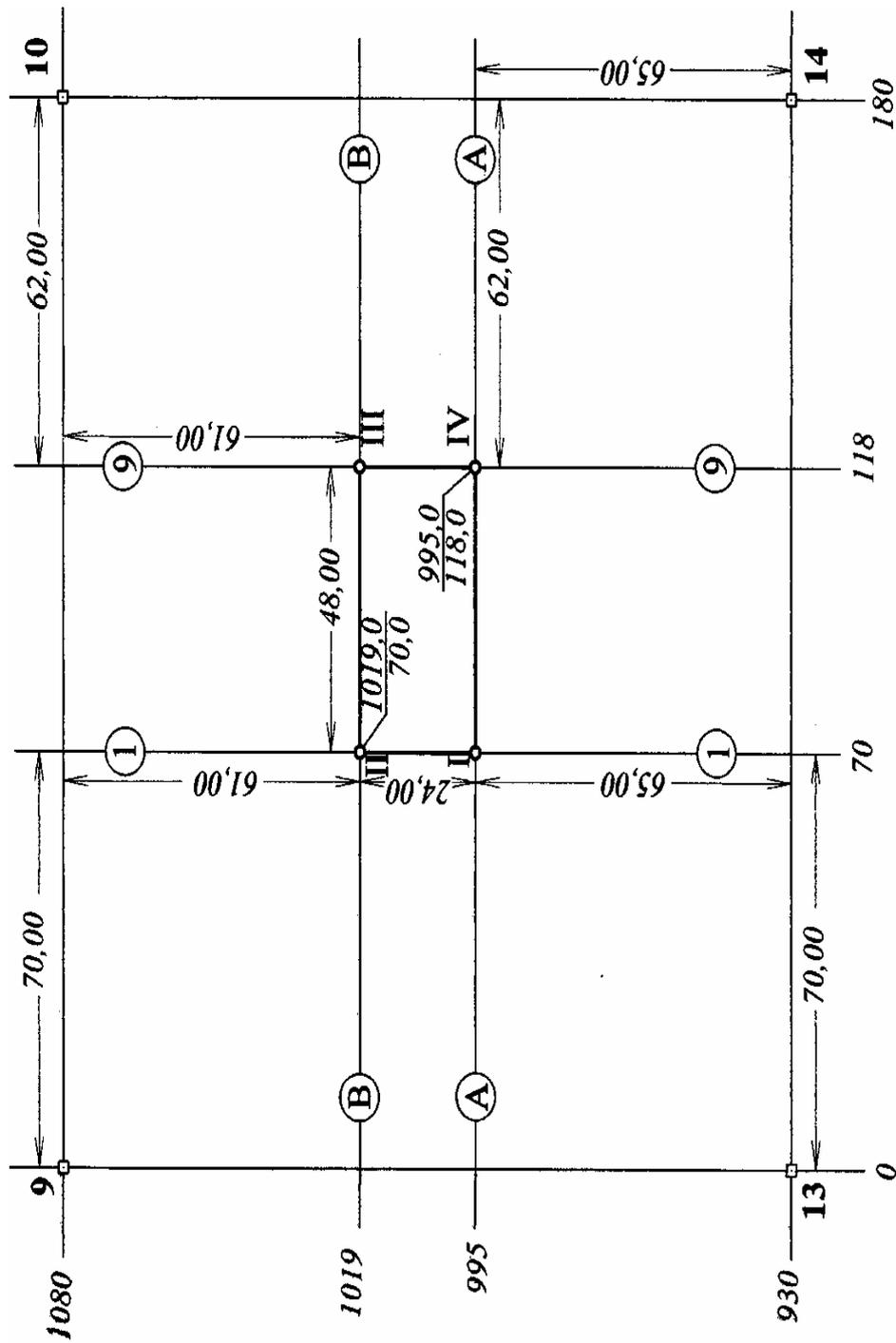
а – генеральный план; б – общий вид; 1 – главный корпус; 2 – склад;  
3 – здания бытовых помещений; 4 – административное здание

Схема планового обоснования на топографической карте



масштаб 1: 10000

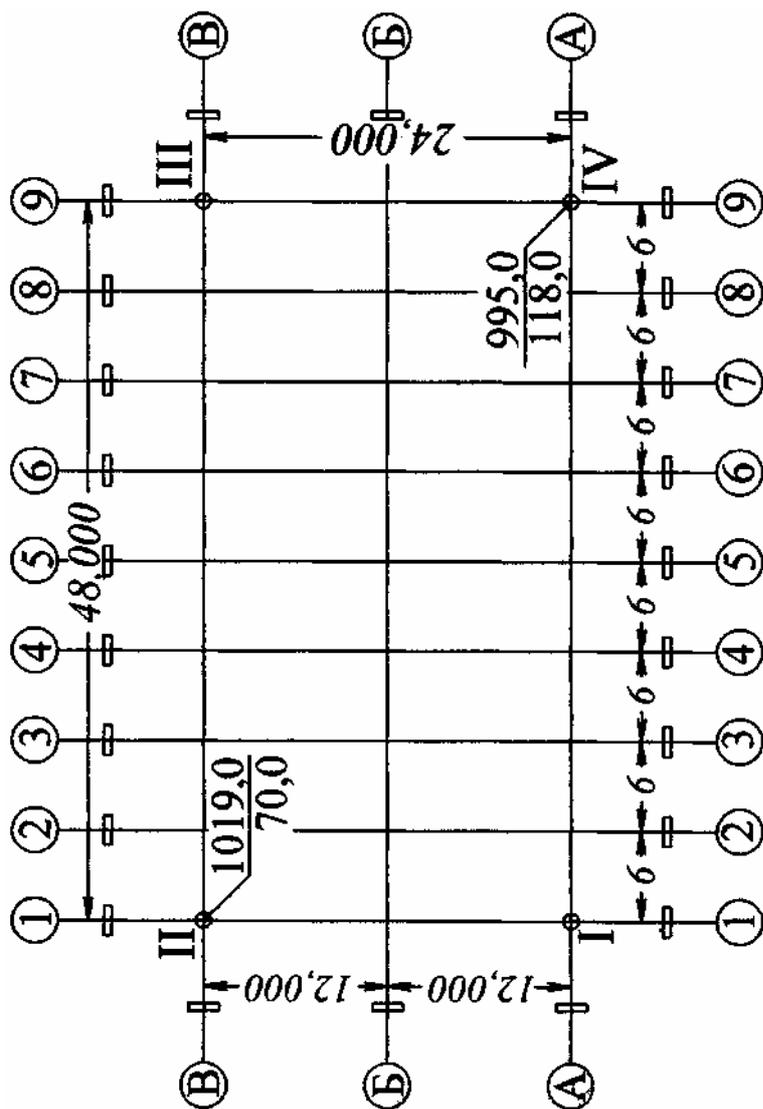
Разбивочный чертеж здания



Масштаб

Выполнил

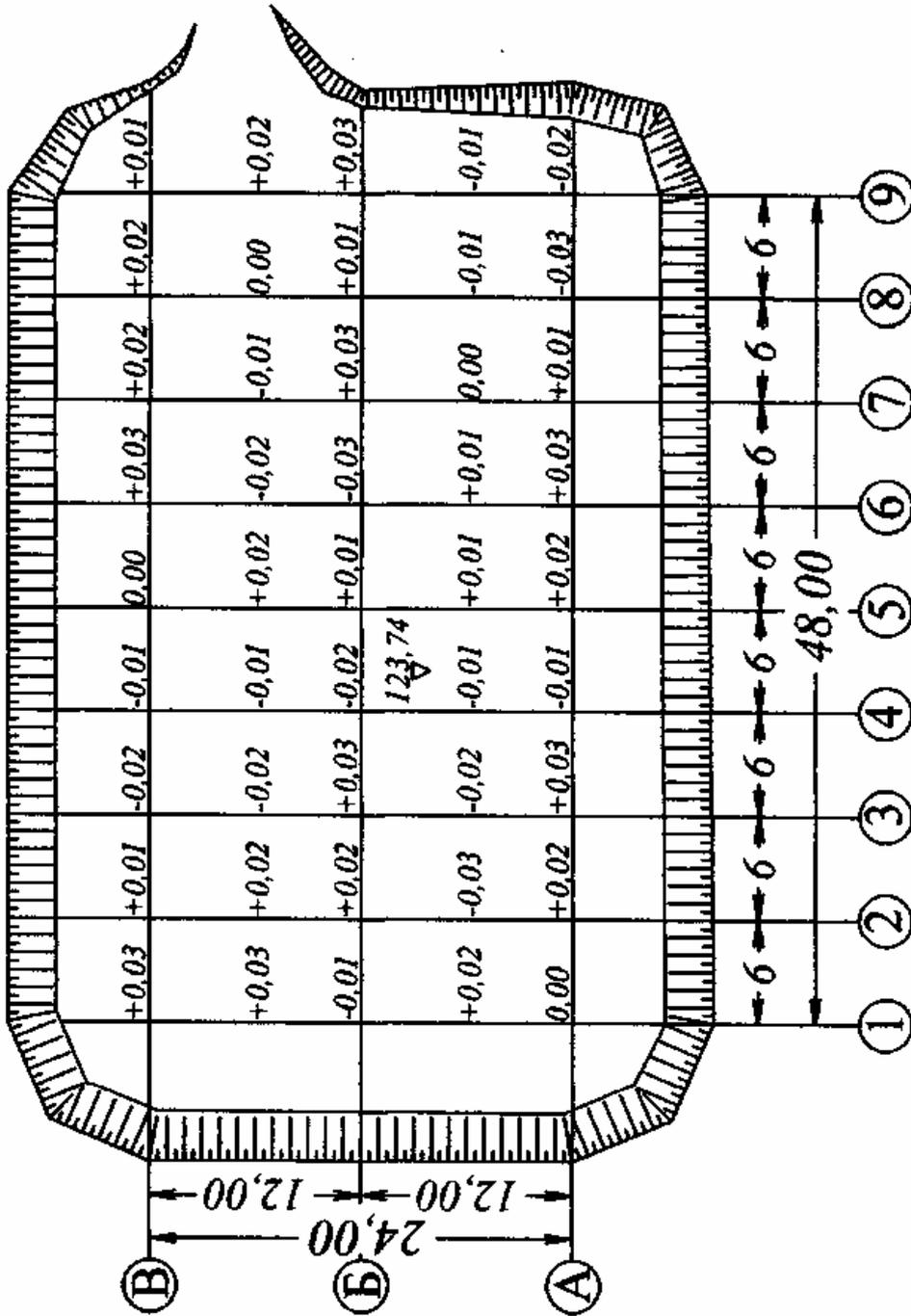
Разбивочный чертеж створной обноски



Масштаб

Выполнил \_\_\_\_\_

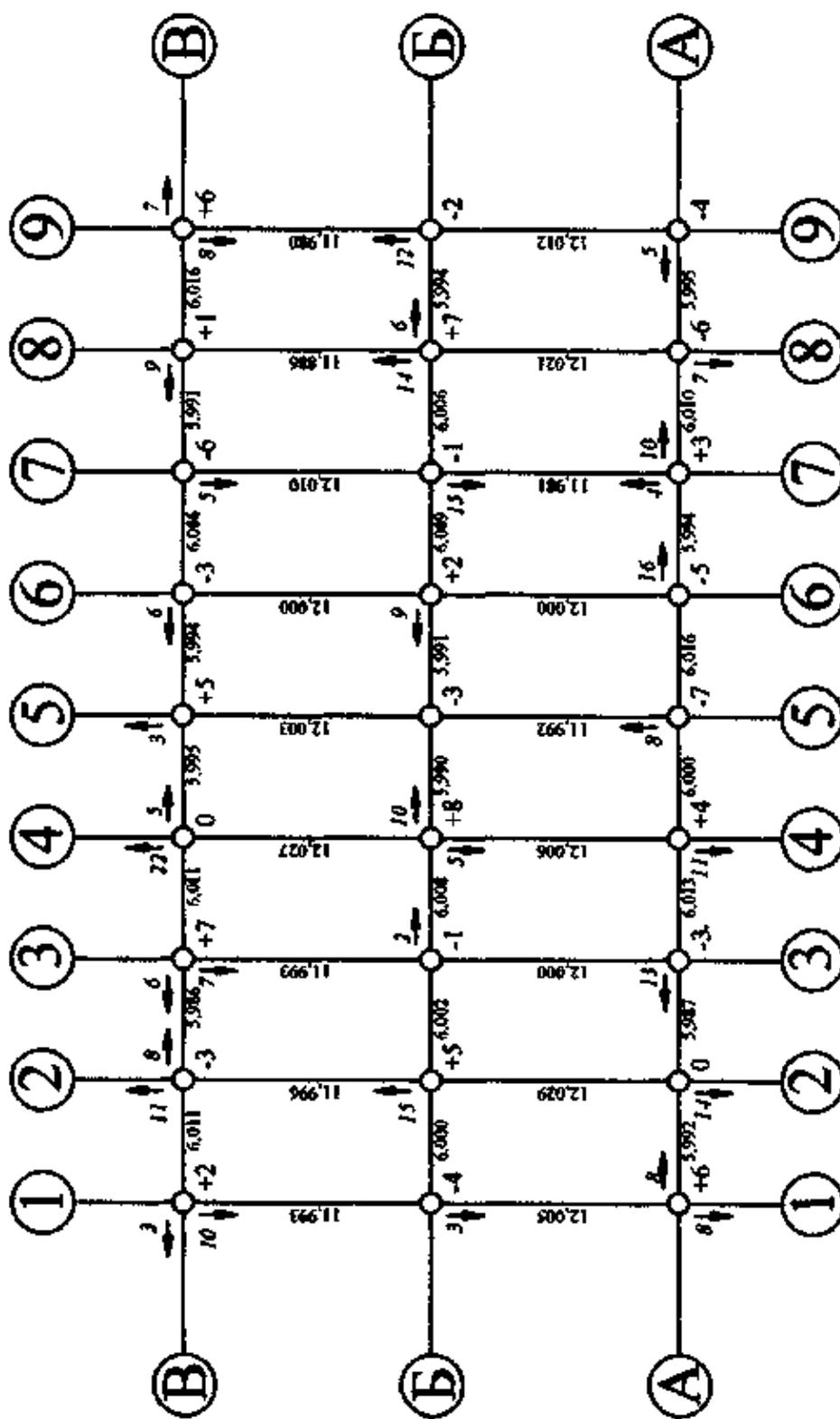
Исполнительная схема котлована



Масштаб

Выполнил \_\_\_\_\_

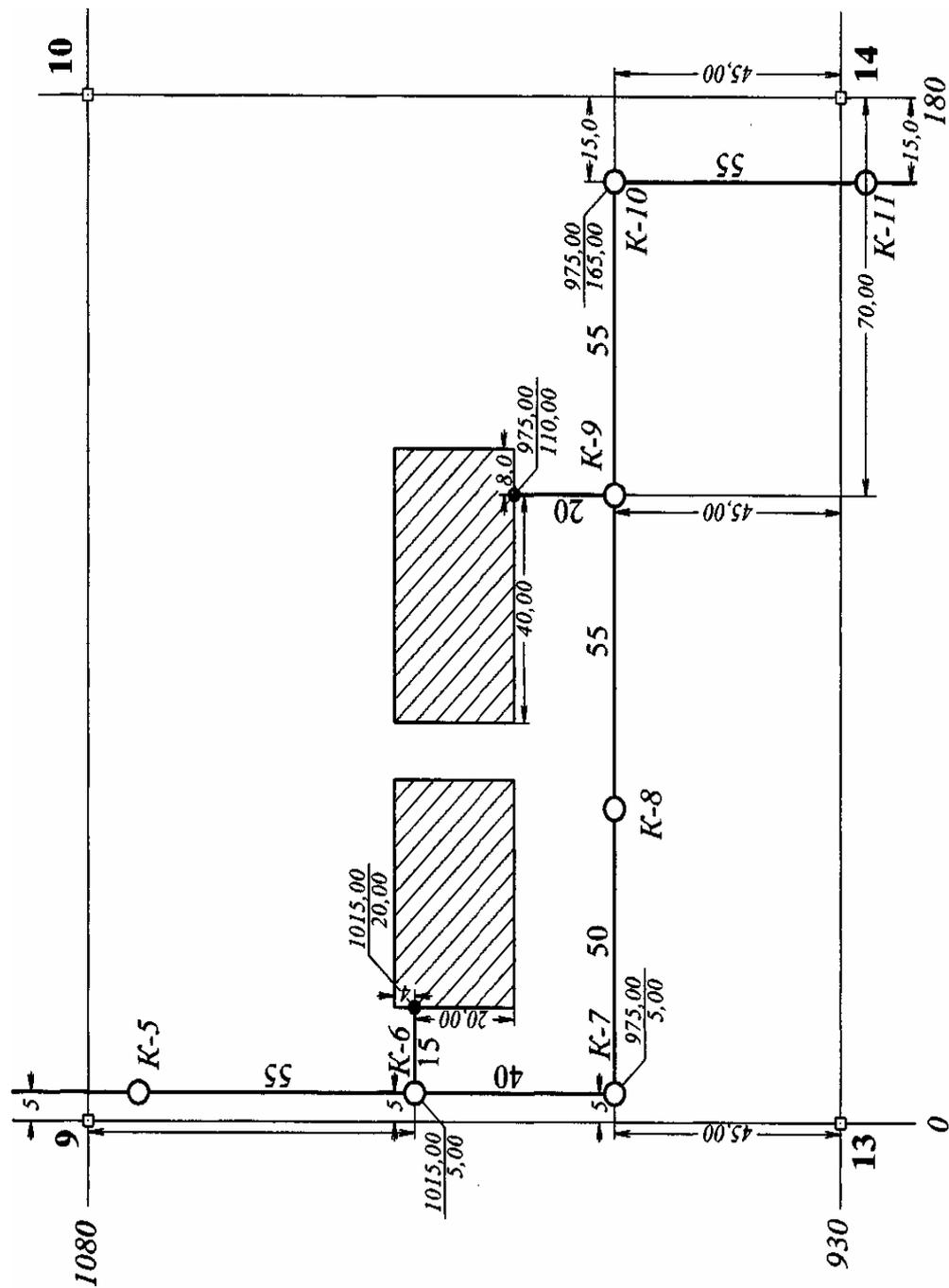
Исполнительная схема свайного фундамента



Масштаб

Выполнил

Разбивочный чертеж водопровода



Масштаб

Выполнил

*Учебное издание*

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

Составитель  
ЗУЕВА Людмила Федоровна

Редактор *Ю. Г. Зеленко*

Дизайн обложки *И. С. Васильевой*

---

Подписано в печать 2.12.06. Формат 60×84 1/16. Гарнитура Таймс. Бумага офсетная.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 19,26. Уч.-изд. л. 19,04. Тираж 145 экз. Заказ 1544.

---

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