



Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»



Кафедра «Изыскания и проектирование железных дорог»

Табаков С.В., Постовалова А.А.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

лекции

Хабаровск
Издательство ДВГУПС

2009

ВВЕДЕНИЕ

ПРЕДМЕТ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ «ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ»

Геодезия - это наука, изучающая форму и гравитационное поле Земли, планет солнечной системы, методы и способы определения положения точек в принятой системе координат и занимающаяся точными измерениями на местности, необходимыми для создания карт и планов земной поверхности, решения разнообразных задач народного хозяйства и обороны страны.

В процессе своего развития геодезия разделилась на ряд самостоятельных дисциплин:

- **Высшая геодезия** - изучает фигуру, размеры и гравитационное поле Земли и планет Солнечной системы, а также теорию и методы построения геодезической сети в единой системе координат. Высшая геодезия тесно связана с астрономией, гравиметрией, геофизикой и космической геодезией.
- **Геодезия (топография)** - занимается съемкой сравнительно небольших участков земли и разрабатывает способы их изображения на планах и картах.
- **Картография** - изучает методы создания и использования различных карт.
- **Фотограмметрия** - изучает способы определения формы, размеров и положения объектов в пространстве по их фотографическим изображениям.
- **Космическая геодезия** – изучает методы обработки данных, полученных из космического пространства с помощью искусственных спутников, межпланетных кораблей и орбитальных станций, которые используются для измерений на земле и планетах солнечной системы.
- **Инженерная (прикладная) геодезия** - изучает методы геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных и инженерных сооружений, при разведке, использовании и эксплуатации природных богатств.

В инженерной геодезии используются методы высшей геодезии, топографии и фотограмметрии. В более узком смысле в инженерной геодезии изучаются методы топографических изысканий и вынесения в натуру проектов сооружений.

Связывая инженерную геодезию с главными этапами строительства зданий и сооружений, основные составляющие части инженерной геодезии можно представить в виде схемы:

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

- Гидрологические изыскания
- Геологические изыскания
- Геодезические изыскания
- Крупномасштабные съемки
- Трассирование линейных сооружений
- Создание съемочного обоснования

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

- Проект и его содержание
- Геодезическая подготовка проекта для выноса его в натуру в плане и по высоте
- Решение задач вертикальной планировки
- ППГР

РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

- Разбивочные сети
- Основные разбивочные работы
- Детальная разбивка сооружений по этапам строительства

ВЫВЕРКА КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- в плане
- по высоте
- по вертикали

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

- оседание оснований и фундаментов
- горизонтальное смещение
- крен сооружений башенного типа.

Чтобы установить степень пригодности того или иного участка местности для строительства конкретного сооружения необходимо выполнить инженерные изыскания, которые включают большой комплекс работ.

Инженерные изыскания - комплекс работ, проводимых для получения сведений, необходимых для выбора экономически целесообразного и технически обоснованного местоположения сооружения, для решения основных вопросов, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией сооружений.

Изыскания экономические выполняют с целью обоснования рентабельности строительства объекта в данном месте. Они включают в себя изучение производственных условий района, транспортных связей, энергетических и сырьевых ресурсов и т.д.

Изыскания технические выполняют с целью определения технических возможностей строительства объекта в данном месте. Они включают в себя топографо-геодезические, инженерно-геологические, гидрологические, почвенные и др. работы. При двух - стадийном проектировании изыскания технические разделяют на предварительные (для составления технического проекта и сметной документации) и окончательные (для составления рабочих чертежей).

В процессе гидрологических изысканий подлежат изучению климат, гидросфера, ее свойства и протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой. Предметом изучения науки гидрологии являются водные объекты: океан, моря, реки, болота, ледники, почвенные и подземные воды.

Полученные в процессе изучения морфологические характеристики такие, как скорость течения реки, ширина, глубина, рельеф дна, продольные профили, площадь сечения реки, изменение уровня, водной поверхности и т.д., используются при строительстве гидротехнических сооружений, мостов, водохранилищ.

В процессе инженерно-геологических изысканий изучению подлежат физико-механические свойства грунтов залегающих на площадках проектируемых

сооружений, наличие и глубина подземных вод, отбор грунта ведется путем бурения скважин по периметру здания глубину фундамента. Полученные данные используют для выбора типа фундаментов, прочностных характеристик проектируемого здания.

В процессе инженерно-геодезических изысканий изучению и съемки подлежат ситуация и рельеф на территории предполагаемого строительства, в результате чего получают крупномасштабные планы, необходимые для проектирования.

В состав топографо-геодезических работ входят:

- построение государственной геодезической сети;
- создание планово-высотного съемочного обоснования;
- топографическая съемка;
- построение крупномасштабных планов для снятого участка.

Линейные изыскания имеют ряд особенностей и отличаются в отдельных случаях большой сложностью. Поэтому изыскания при проектировании и строительстве железных и автомобильных дорог, каналов, трубопроводов, линий электропередачи, линий электросвязи и т.д., выделяют отдельно.

Инженерно-геодезическое проектирование - комплекс работ, проводимый для получения данных, необходимых для размещения сооружения в плане и по высоте. Оно включает:

- размещение объекта строительства по площади и по высоте;
- ориентирование основных осей сооружения;
- проектирование рельефа;
- вычисления объемов земляных работ;
- выполнение расчетов, связанных с составлением проекта сооружений линейного типа (включая расчет горизонтальных и вертикальных кривых и составление продольного профиля будущей трассы);
- выполнение расчетов, необходимых для перенесения проекта в натуру;
- составления разбивочных чертежей, схем и т.д.

Строительство зданий и сооружений производится только по чертежам, разработанным в проекте.

Проект представляет собой комплекс технических документов, содержащих технико-экономическое обоснование, расчеты, чертежи, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для строительства.

Топографической основой при проектировании являются крупномасштабные планы 1:5000 - 1:500, выполненные на стадии изысканий.

Указания по составу, точности, методам, объемам, срокам и порядку геодезических работ на строительной площадке приводятся в **проекте организаций строительства (ПОС), проекте производства работ (ППР) и проекте производства геодезических работ (ППГР)**, которые являются составляющими частями общего проекта.

В задачу геодезической подготовки проекта входит увязка между собой отдельно расположенных на стройплощадке сооружений и обеспечение их разбивки на местности с заданной точностью. Геодезические расчеты при подготовке проектов состоят в нахождении координат и отметок точек сооружения, определяющих его положение на местности и разбивочных элементов для выноса сооружения в плане и по высоте.

Проект вертикальной планировки обеспечивает преобразование существующего рельефа застраиваемой территории при размещении зданий, сооружений, подземных коммуникаций, высотное решение площадей, улиц, внутриквартальной территории и отвод поверхностных вод при минимальном перемещении земляных масс.

Основными документами проекта вертикальной планировки являются план организации рельефа и картограмма земляных работ, которые составляются на основе топографического плана, рабочих чертежей поперечных профилей улиц и проездов.

Исходной базой, на которой разрабатываются на практике принципы проектирования геодезических работ на строительной площадке, является ПОС

(проект организации строительства) и ППР (проект производства работ). Как ПОС, так и ППР содержит геодезическую часть. В этой части рассматриваются:

- Состав, объем, сроки и последовательность выполнения работ по созданию разбивочной и высотной основы;
- Состав, объем, сроки и последовательность выполнения разбивочных работ на период строительства;
- Необходимая точность, приборы и методы выполнения работ.

ППР (проект производства геодезических работ) содержит следующие разделы:

1. Организация геодезических работ на строительной площадке.

В этом разделе рассматриваются вопросы согласования схемы производства геодезических работ и календарные планы выполнения измерений, производимые геодезическими группами.

2. Основные геодезические работы.

Раздел содержит схемы построения плановой и высотной геодезической основы на строительной площадке, расчеты необходимой точности геодезических измерений, схемы и способы построения разбивочной сети, типы знаков, реперов и марок, разбивка главных и основных осей.

3. Схема переноса главных и основных осей зданий и сооружений от исходной планово-высотной основы с расчетом точности выноса и методики выполнения работ, схемой размещения осевых знаков, а также детальные разбивочные геодезические работы.

4. Геодезическое обеспечение подземной части сооружения при устройстве фундаментов, разрабатывается методика детальной разбивки под монтаж конструкций, выполнение исполнительной съемки.

5. Геодезическое обеспечение при возведении надземной части сооружений.

Включает методику создания и расчеты необходимой точности измерений элементов плановой и высотной геодезической основы на исходном горизонте,

выбор и обоснование методов передачи осей и высотных отметок на монтажные горизонты, исполнительная съемка.

6. Проект измерения деформаций сооружений геодезическими методами.

Рассматривают необходимую точность измерений, перечень приборов и методики измерений, периодичность измерений и методы обработки результатов.

Геодезические разбивочные работы являются составной частью строительно-монтажного производства. Различают плановую и высотную разбивку сооружений, в которые входят основные и детальные разбивочные работы.

Основные разбивочные работы заключаются в определении на местности положения главных осей и строительного поля инженерного сооружения. Они переносятся в натуру от пунктов плановой и высотной геодезической основы, построенной в районе возводимого сооружения.

Детальные разбивочные работы состоят в определении планового и высотного положения тех или иных частей инженерного сооружения, которые задают его геометрические контуры. Детальные разбивочные работы выполняются, как правило, от ранее перенесенных в натуру главных осей сооружения путем разбивки основных и вспомогательных осей, а также характерных точек и контурных линий, определяющих положение всех деталей сооружения.

Работы, связанные с разбивкой сооружений, представляют собой действия, обратные съемке и характеризуются более высокой точностью их выполнения. Если при съемке контура здания допущена ошибка 10 см, то при нанесении контура на план масштаба 1:2000 она уменьшается до 0.05 мм, что невозможно выразить в таком масштабе.

Если же при снятии длины отрезка с проекта, составленного в масштабе 1:2000 будет допущена ошибка 0.1 мм (предел графической точности масштаба), то на местности размер ошибки выразится в 200 мм, что часто может быть недопустимо при выполнении разбивочных работ.

Следует при этом сказать, что строительные допуски на смещение осей, отклонений от проектных отметок составляют в основном 2-5мм. Поэтому,

размеры и положение точки на плане получают аналитическим путем, а для снятия координат используют планы масштаба 1:500.

В состав разбивочных работ входит:

1. Построение разбивочной основы в виде триангуляции, полигонометрии, трилатерации, строительной сетки, линейно-угловых построений. Геодезическая разбивочная основа служит для построения внешней разбивочной сети и производства исполнительной съемки.

2. Вынос в натуру главных или основных осей зданий (создание внешней разбивочной основы) и проектных отметок. Внешняя разбивочная основа является базисом для выполнения детальных разбивочных работ.

3. Детальные разбивочные работы на стадии отрывки котлована, разбивки коммуникаций, устройства фундаментов, передачи отметок и осей на дно котлована, возведении надземной части здания.

Основными элементами разбивочных работ являются вынос в натуру проектного угла, проектного расстояния, проектного уклона и проектной отметки.

В зависимости от вида сооружения, условий измерений и требований к точности его построения разбивочные работы могут выполняться полярным или способом прямоугольных координат, угловой, линейной или створной засечками и другими методами.

Геодезическая выверка конструкций и технологического оборудования.
Наиболее важными геодезическими характеристиками, подлежащими определению при монтаже технологического оборудования, являются прямолинейность, горизонтальность, вертикальность, параллельность, наклонность и т.д. Сочетание этих характеристик позволяет определить плановое и высотное положение элементов и узлов машин и установок, а также технологического оборудования.

По мере возведения зданий для определения планового и высотного положения окончательно установленных конструкций выполняют комплекс геодезических работ, который называют исполнительной съемкой.

Исполнительной съемке подлежат те элементы и части зданий, от правильного положения которых зависит прочность и устойчивость всего сооружения.

Точность, принятая при исполнительной съемке, должна быть не ниже точности разбивочных работ.

Наблюдение за деформациями зданий и сооружений. **Деформацией сооружений называют изменение относительного положения всего сооружения или отдельных его частей, связанное с пространственным перемещением или изменением его формы.**

Деформации сооружений проявляются в виде прогибов, кручения, крена, сдвига, перекосов и т.д.

В общем случае деформацию сооружений можно свести к двум наиболее простым смещениям сооружения - сдвигу в горизонтальной и осадке в вертикальной плоскостях.

Деформации сооружений часто возникают из-за неравномерной осадки сооружения, вызванной усадкой грунта, а также недостаточной прочностью конструкций. В процессе инженерных изысканий и проектирования причины возможного смещения сооружений учитывают путем тщательных исследований свойств грунтов и прочности конструкции сооружений.

Для своевременного предупреждения аварий и для более детального изучения причин нарушения эксплуатационных качеств сооружений, проводят систематические наблюдения за деформациями их конструкций. С этой целью в конструкции сооружений закладывают специальные осадочные марки и периодически высокоточными геодезическими методами определяют их отметки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Левчук Г.П. Новак В.Е. Прикладная геодезия, М.:Недра,1977
2. Левчук Г.П. Новак В.Е. Прикладная геодезия, ч2, М.:Недра,1988
3. СНиП 3.01.84.Геодезические работы при изысканиях. Стройиздат, 1984.
4. Леонтович В.В. Вертикальная планировка городских территорий., М.:Высшая школа, 1985.

5. Войтенко С.П., Литвин Г.М. и др. Справочник по геодезическим работам в строительном-монтажном производстве., М.:Недра, 1990
6. Новак В.Е. Курс инженерной геодезии., М.:Недра, 1989
7. Левчук Г.П. и др. Прикладная геодезия .Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ., М.:Недра, 1981
8. Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений., М.:Недра, 1983
9. СНиП 1.02.07-87 Инженерные изыскания при строительстве
10. СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве, 1985
11. Пособие по производству работ в строительстве. М.Стройиздат,1985
12. Сундаков Я.А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. М.: Недра, 1972
13. Иванушкин И.С. Разбивочные работы при строительстве жилых и промышленных зданий. М.: Гостройиздат, 1958
14. Полищук Ю.В. Справочник по геодезическим работам в строительном-монтажном производстве. М.: Недра, 1990
15. Болгов И.Ф. Геодезические работы при строительстве и испытаниях крупных сооружений. М.: Недра, 1984

1. ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

1.1. Инженерные изыскания

1.1.1. Крупномасштабные топографические съемки

1.1.1.1. Номенклатура планов

Крупномасштабные съемки выполняются в масштабе 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 и предназначены для обеспечения проектных и строительных организаций топографическими планами.

Топографические планы городов используются в качестве графических материалов для проектов застройки городов и поселков, проектирования промышленных предприятий, а также являются основой для производства разбивочных работ.

Городские планы составляют в условной системе координат квадратной разграфки. За основу квадратной разграфки планов принимают масштаб 1:5000 с размерами рамок 40 см и обозначают арабскими цифрами. Порядок нумерации устанавливается главным архитектором города.

Планшет масштаба 1:5000 в свою очередь делится на 4-ре части, которые обозначаются буквами А, Б, В, Г и имеют масштаб М 1:2000 (рис.1).

Для получения плана М 1:1000, план М 1:2000 делится на 4-ре части, которые обозначаются римскими цифрами - I, II, III, IV.

Для получения плана М 1:500, планшет М 1:2000 делят на 16 частей и обозначают арабскими цифрами от 1 до 16.

При такой разграфке размер рамок и полезная площадь планшета будет равна:

для масштаба 1:5000 с размером рамок $40*40 = 400$ га (4 км).

1:2000 - $50*50 = 100$ га (1 км)

1:500 - $50*50 = 6.25$ га (0.0625 км)

3 (М 1:5000)

1: 1:2000 А	I		1:1000 II	
	III		IV	
В	1	2	3	4
	5	6	7	8
	9	10	11	12
	13 1:500	14	15	16

Рисунок 1 - Разграфка планшетов М 1:500

Рассматриваемая разграфка принимается для участков площадью менее 20 км. Если площадь участков более 20 км, за основу номенклатуры планшетов 1:5000 и 1:2000 принимаются листы карт 1:100000, которые делят на 256 листов масштаба 1:5000 (рис.2).

Затем, лист М 1:5000 делят на 9 частей и получают лист М 1:2000 (рис.3).

В городе может быть принята разграфка листов, как показано на рис. 4.

М 1:100000 М-37-144

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
65	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	80
81	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	96
97	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	112
113	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	128
129	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	144
145	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	160
161	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	176
177	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	192
193	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	208
209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224
225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256

М 1:5000
М-37-144(256)

Рисунок 2 - Разграфка планшетов М 1:5000

М 1:5000 М-37-144(256)

<i>а</i>	<i>б</i>	<i>в</i>
<i>г</i>	<i>д</i>	<i>е</i>
<i>ж</i>	<i>з</i>	<i>и</i>

М 1:2000
М-37-144(256-и)

Рисунок 3 - Разграфка планшетов М 1:2000

Перед началом съемки определяют, в пределах каких планшетов будет находиться территория съемки (рис.5.). Затем, выполняют перенос геодезических пунктов на этот район, делают заказ на получение схем привязки пунктов на местности, а также - заказ в архитектурное управление на получение координат и высотных отметок этих пунктов.

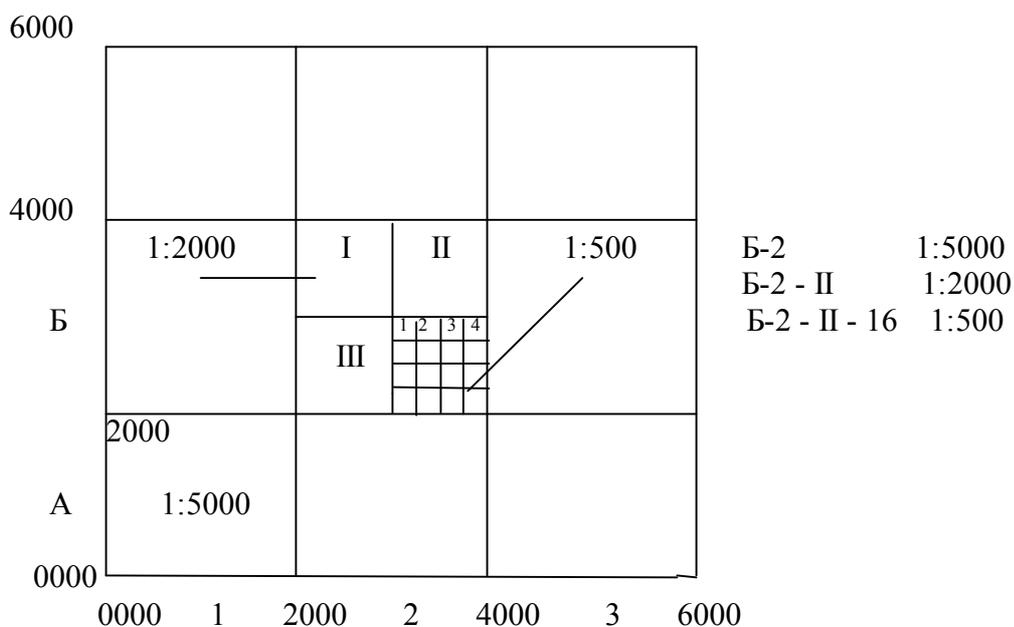


Рисунок 4 - Разграфка планшето́в для города

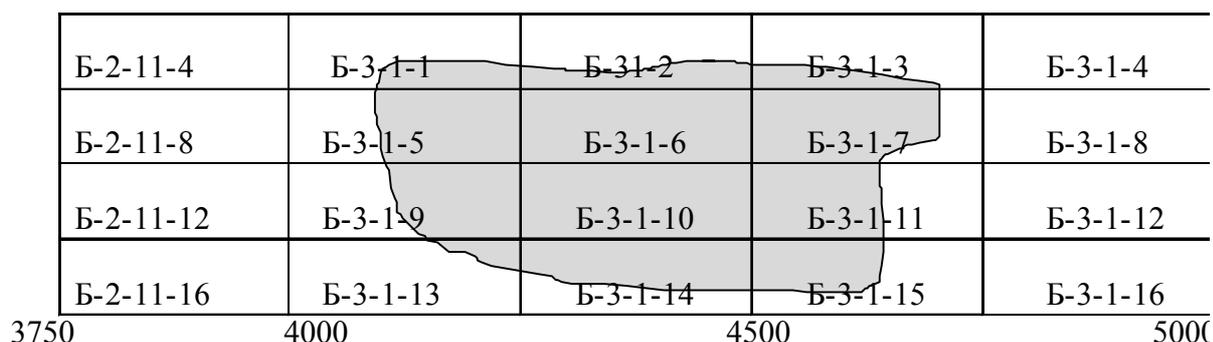


Рисунок 5 – Определение территории съёмки на планшетах

1.1.1.2. Съёмочная геодезическая сеть

Для обеспечения топографических и съёмочных работ на основе триангуляции, полигонометрии и нивелирных сетей, развивается плановое и высотное обоснование, состоящее из теодолитных ходов или аналитических сетей технического и тригонометрического нивелирования.

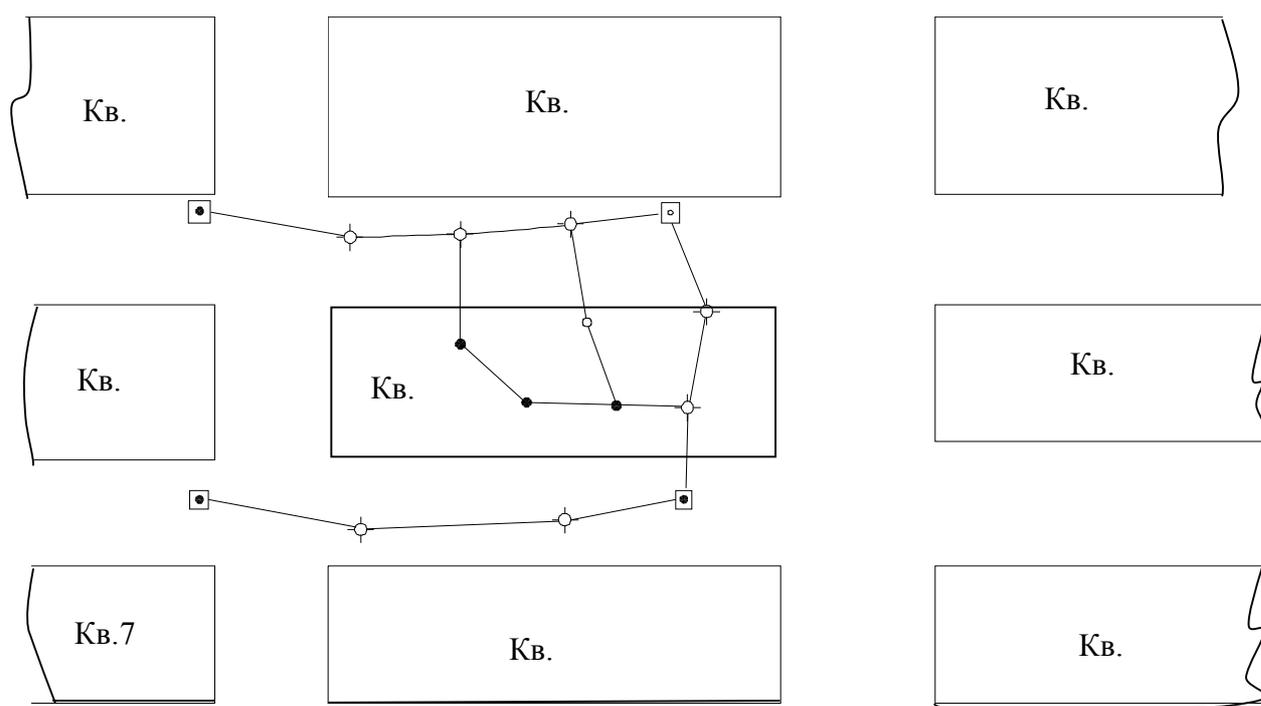
Съёмочная геодезическая сеть создается на основе развития опорной геодезической сети или в качестве самостоятельной геодезической основы и состоит из теодолитных ходов, прямых и обратных засечек и ходов технического

или тригонометрического нивелирования. В качестве точек съемочной сети можно использовать также центры смотровых колодцев.

Для обеспечения топографических съемок плотность пунктов государственной геодезической сети должна составлять: для масштаба 1:2000 и крупнее - 1 пункт на 15 кв. км; на застроенной территории - 1 пункт на 5 кв. км. Плотность пунктов опорных геодезических сетей для производства работы должна составлять - не менее 4-х пунктов триангуляции и полигонометрии на 1 кв. км на застроенной территории и 1 пункт - на 1 кв. км незастроенной территории.

Плотность пунктов нивелирной сети должна составлять не менее 1 репера на планшет масштаба 1:5000.

Съемочное обоснование на городской территории создается в 2 стадии (рис. 6):



▣ - пункт городской полигонометрии;

⊠ - точки хода первого порядка;

● - точки хода второго порядка;

□ - створные точки.

Рисунок 6 – Схема съемочного обоснования на городской территории

1. Прокладывают теодолитные ходы по проездам, которые опираются на пункты городской полигонометрии. Это ходы 1 порядка. С них осуществляется съемка проездов и фасадов зданий.

2. Ко 2 порядку относят ходы, проложенные внутри кварталов и опирающихся на точки 1 разряда. Допускаются створные точки, а также висячие хода с числом точек не более 3. Длина хода не менее 500 м - в масштабе 1:5000, 300 м в - 1:2000, 150 м - 1:1000 1:500 (см. табл.1).

Предельная длина хода между исходными пунктами составляет 0.9 км. Длины линий в теодолитном ходе от 20 до 350 м. Предельная относительная невязка составляет 1:2000. Измерение длин ведется в прямом и обратном направлениях. Поправка за приведение к горизонту вводится при углах более 1.5° , поправка за температуру - при разности температур 8°C . Измерение углов производится одним полным приемом с расхождением углов в полу приемах до 45 секунд.

Таблица 1 – Основные характеристики теодолитных ходов

Масштабы	Длина висячего хода в метрах	
	застроенная территория, не более 3-х точек поворота	не застроенная территория при 2-х точках поворота
1:500	100	-
1:1000	150	-
1:2000	200	300
1:5000	-	500

1.1.1.3. Составление проекта теодолитных ходов

Проект теодолитных ходов составляют на имеющихся планах крупных масштабов. На эти планы наносятся все имеющиеся пункты триангуляции, полигонометрии и наносят границы съемки.

При проектировании теодолитных ходов пользуются следующими правилами:

1. Теодолитные ходы должны опираться на пункты полигонометрии и триангуляции или же на пункты аналитических сетей.

2. Точки поворота теодолитных ходов намечаются так, чтобы на них можно было бы установить инструмент и производить необходимые измерения, а также максимально их использовать при съемке ситуации и рельефа.

3. Теодолитные ходы проектировать необходимо так, чтобы при их уравнивании не создавались системы выше 3-го порядка.

После утверждения проекта производится детальная рекогносцировка мест установки пунктов теодолитного хода. При этом руководствуются следующими правилами:

1) Произвести обследование состояния пунктов опорной геодезической сети.

2) В целях наилучшего использования теодолитных ходов для выполнения съемочных работ их следует прокладывать в условиях, благоприятных для измерений (на дорогах, вдоль улиц и т.д.).

3) Линии теодолитных ходов, в зависимости от метода съемки, должны располагаться от линии фасада при съемке застроенных территорий:

М 1:2000 не далее 8 метров;

М 1:1000 6 метров;

М 1:500 4 метров.

4) При комбинированном методе, когда определяются координаты углов кварталов и зданий, а съемка деталей ситуации производится при помощи мензулы, целесообразно располагать теодолитные ходы в середине проездов или улиц.

5) Нумерация пунктов съемочного обоснования ведется общая для всего района съемки.

1.1.1.4.Съемка застроенной территории М 1:500

Совокупность геодезических измерений на земной поверхности для получения плана или карты называют съемкой. По названию основного прибора, которым выполняются работы, различают следующие виды съемок:

- теодолитная;
- тахеометрическая;
- фототеодолитная;
- мензуральная;
- аэрофотосъемка.

Съемка в масштабе 1:500 может выполняться по методике теодолитной, тахеометрической, фототеодолитной и мензульной съемок.

В масштабе 1:500 съемке подлежат и на план наносятся следующие элементы ситуации и рельефа:

1. Застройка.

Границы кварталов застройки; все здания и сооружения с указанием этажности; материалы стен; отметки цоколей и углов зданий; архитектурные выступы, величина которых не более 0.5 мм в плане; номера зданий; границы владений; ситуация внутри кварталов; сады, огороды, виноградники; ситуация на улицах и площадях; памятники; трамвайные пути; мачты; фонари; покрытия; решетки водоприемников; выходы подземных сетей; люки колодцев всех коммуникаций; основание и верх крыльца входа в здания; указать направление ступенек.

2. Пути сообщения.

Железные дороги; шоссейные и грунтовые дороги с указанием покрытий; поперечники через 20 м.

3. Водные сети.

Береговые линии морей, озер, рек, каналов с местными предметами и ситуациями на плане. Через каждые 15 см (на плане) подписывают отметки урезов воды рек и ручьев с указанием даты их определения. Если ширина рек > 3 мм на плане, то съемка ведется по двум сторонам.

4. Линии подземных коммуникаций.

У каждого колодца должны быть определены отметки обечайки колодца, земли и отметки дна колодца и коммуникации внутри колодца. Должен быть подписан вид коммуникации, материал труб и длина труб; для газа указывается давление в трубах.

5. Зеленые насаждения.

Отдельно стоящие деревья и деревья толще 5 см, контуры и характеристики угодий (лес, кустарники, луга, питомники); показывают породу леса, среднюю высоту деревьев, толщину, контуры вырубки, выделяют участки ценных пород.

6. Ограждение.

Металлические, каменные, глинобитные, деревянные, растительные с отметками у основания и верха ограждения.

7. Оползневые участки оконтуривают и приводят отметки верха и низа оползня, направление.

8. Рельеф.

Горизонтالي проводят через 0.5м, в горных районах - 1м.

Не подлежат съемке временные сооружения, заборы и строения на стройплощадке.

Горизонтальная съемка застроенных территорий в масштабах 1:500, 1:1000 и 1:2000, как правило, делится на две части: на съемку фасадов и проездов и внутриквартальную съемку (т.е. соблюдается принцип перехода от общего к частному).

Съемка застроенных территорий производится следующими методами:

- перпендикуляров (абсцисс и ординат);
- линейных засечек;
- полярным;
- метод створов;
- комбинированным методом (сочетание мензулы с теодолитом и обмерами габаритов зданий).

При выполнении работ по горизонтальной съемке застроенных территорий необходимо вести абрис с зарисовкой всех контуров и предметов местности, подлежащих съемке, обмеров фасадных линий по проезду и контуров всех строений внутри кварталов.

При ведении абрисов руководствуются следующими правилами:

1. Зарисовку в абрисе производят простым карандашом (2Т-Т).
2. Съёмочный ход наносят в абрисе одной или двумя линиями, расположенными друг от друга на расстоянии около 1 мм.
3. Все снимаемые контуры и предметы местности зарисовывают в абрис в произвольном масштабе, придерживаясь принятых для составления плана условных знаков.
4. Записи цифр должны быть легко читаемы, прямые линии вычерчивают под линейку, кривые - тщательно от руки. На контурах ситуации делают пояснительные записи.
5. При наличии предметов, назначение которых съемщику не известно, в абрисе делают зарисовку их внешнего вида.

6. При ведении абриса неизбежны зарисовки выносок отдельных деталей, которые необходимо делать так, чтобы при составлении плана не возникало сомнений, к какому месту относится вынесенная деталь.

7. Ординаты и засечки прочерчивают пунктиром или тонкими сплошными линиями вправо от съемочной линии и влево от левой (если съемочный ход нанесен двумя линиями), абсциссы подписывают между двумя линиями съемочного хода и ординаты - в середине их.

8. При нанесении в абрисе съемочного хода в одну линию абсциссы подписывают с противоположной стороны, у подошв ординат и засечек.

9. Надписи на фасадных линиях делают по направлению подписываемых линий.

10. При общем обмере с промежуточными отсчетами (например, обмер фасада здания на проезде) его обычно начинают с нуля от точки, надежно снятой. В этом случае отсчеты по фасаду заключают в скобки и пишут перпендикулярно фасаду внутри контура (длина не более 50 метров).

11. Всю снимаемую ситуацию рекомендуется вычерчивать в абрисе более жирными линиями, а все вспомогательные промеры - более тонкими.

Метод перпендикуляров (абсцисс и ординат). Метод заключается в следующем: 20 метровую мерную ленту укладывают по линии съемочного теодолитного хода между створными точками, которые намечают с помощью теодолита через 80 метров для М 1:2000, 60 м - 1:1000, 40 м - 1:500. В тех случаях, когда при измерении линий применяют более длинный мерный прибор, расстояние между створными точками увеличивается. Затем, из снимаемой точки предмета опускают перпендикуляр и при помощи рулетки измеряют его длину, а по ленте делают отсчет, определяющий расстояние основания перпендикуляра от начальной точки теодолитного хода.

Мерную ленту следует укладывать в створе линии с помощью теодолита. Ошибка уклонения от створа не должна превышать 1-2 см.

Ошибка построения перпендикуляра на глаз, как показал опыт, составляет 30', тогда ошибка Δl в длине перпендикуляра, построенного на глаз, определится по формуле:

$$\Delta l = 0,5 \cdot l \cdot \sin^2 30' = \frac{1}{25000} \cdot l$$

Ошибка в положении основания перпендикуляра съемочной линии, построенного на глаз, определится по формуле:

$$\Delta a = l \cdot \sin 30' = 0,01 \cdot l.$$

Отсюда видно, что ошибкой в определении длины перпендикуляра можно пренебречь, а вот ошибку в отсчитывании по ленте уменьшают ограничением отдаления съемочного хода от снимаемого объекта. Но сильно приближать съемочный ход к снимаемому объекту также не рекомендуется из-за неудобства работ по накладке точек на план (рис.7)

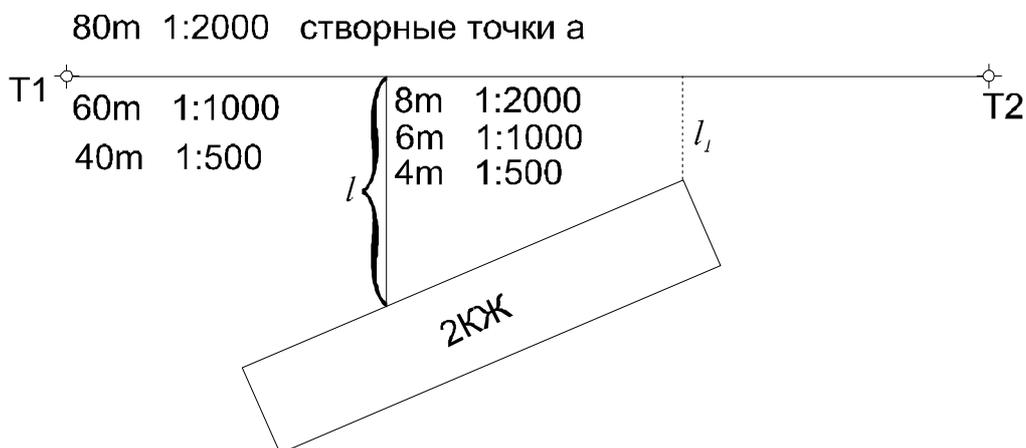


Рисунок 7 – Схема применения способа перпендикуляров

Перпендикуляры, определяющие углы кварталов, подкрепляются не менее, чем двумя линейными засечками. Для контроля обмеряют также все строения.

Для уточнения отсчета по ленте, при определении местоположения основания перпендикуляра, необходимо начальный конец рулетки приложить к снимаемой точке и рулеткой у ленты описать дугу - наименьший отсчет по рулетке и определит длину перпендикуляра (рис.8).

Для более точных измерений при выполнении съемки рекомендуется использовать экер при построении перпендикуляров.

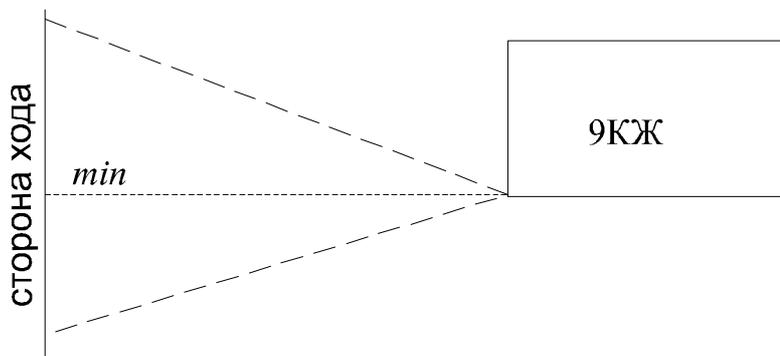


Рисунок 8 -
Определение
местоположение
основания
перпендикуляра на
стороне хода

приведены требования для обеспечения точности перпендикуляров.

Ниже, в таблице 2
съемок способом

Масштабы	Длина перпендикуляра при построении, м		Расстояние между створными точками, м
	на глаз	экером	
1:500	4	20	40
1:1000	6	40	60
1:2000	8	60	80

Способ линейных засечек. В этом способе для съемки характерной точки измеряют расстояние от точки до двух точек планового обоснования. Способ линейных засечек применяют для съемки твердых контуров. Длины засечек не делают больше длины мерного прибора. Результаты измерений при съемке заносят в абрис.

При съемке этим способом рекомендуют, чтобы треугольник АКВ был близким к равностороннему (рис.9):

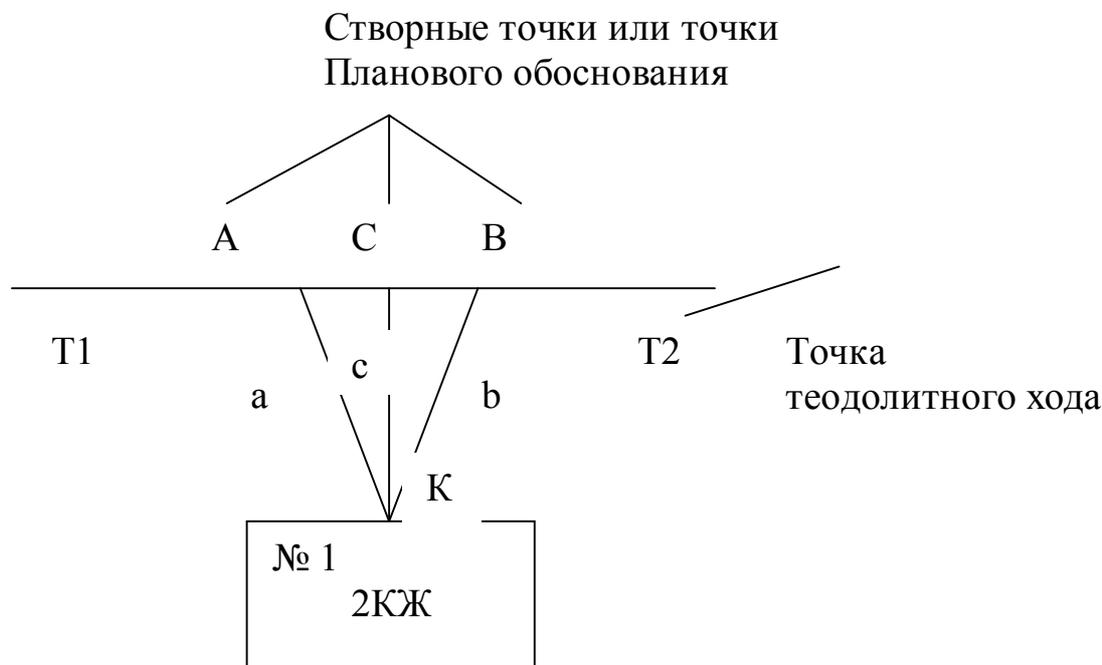


Рисунок 9 – Схема применения способа линейных засечек

Если нет возможности выполнить линейные измерения до определяемой точки, тогда применяют способ угловых засечек. Угол засечки должен находиться

в пределах от 30 до 150 градусов.

При этом способе с двух точек базиса измеряют два угла на определяемую точку. Базисом может служить сторона теодолитного хода. Углы измеряются одним приемом с точностью до 1'.

Полярный способ. Этот способ применяется для съемки точек ситуации, удаленных от съемочного хода в пределах расстояний, указанных в таблице 3.

Таблица 3

Масштабы	Расстояние до контуров ситуации, м	
	твердых	нетвердых
При измерении лентой:		
1:500	120	150
1:1000	180	200
1:2000	250	300
При измерении нитяным дальномером:		
1:500	40	80
1:1000	60	100
1:2000	100	150

При полярном способе съемки положение точки определяется углом, измеренным от опорной линии до снимаемой точки, и расстоянием до нее. При этом способе углы измеряют теодолитом при одном положении круга с точностью до 1', а расстояние - металлической рулеткой, лентой или дальномером.

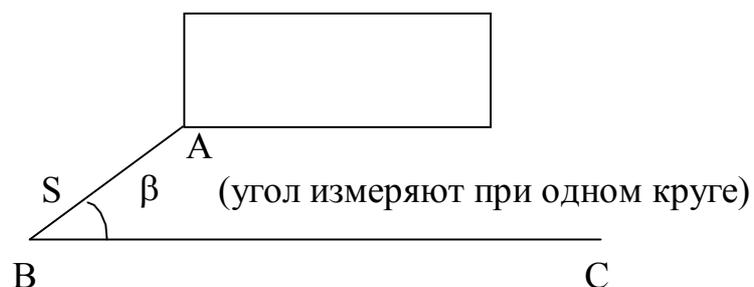


Рисунок 10 – Схема съемки полярным способом

Полярный способ может быть использован для съемки второстепенной ситуации (бордюрный камень, лоток, границы угодий, деревья, кусты и т.д.). В этих случаях с полярных направлений, как с линии теодолитного хода, можно вести съемку методом перпендикуляров и методом засечек.

Способ створов. При способе створов в створе двух твердых точек определяется положение контуров ситуации при помощи визирования теодолитом с одной точки на другую и измерения расстояний до контуров рулеткой, лентой или дальномером. Этот способ применяют обычно для съемки нечетких контуров (рис.11).

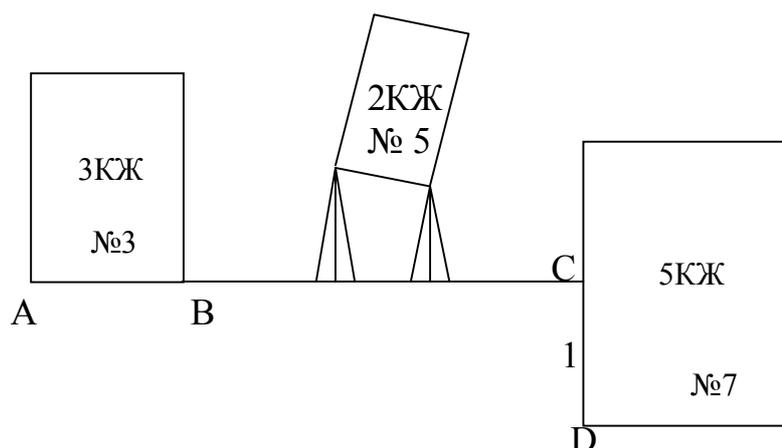


Рисунок 11 – Схема применения способа створов

Например, створ стены АВ здания №3 выносят на стену здания №7, получая при этом точку С. Дополнительно измеряют расстояние 1 (DC). Затем, от линии АВ производят съемку здания №5 методом перпендикуляров.

Способ створов широко применяется при съемке внутриквартальной ситуации, а также при полевом контроле составленных планов. Во всех случаях допускаются створные линии не далее второго порядка, а створные точки на них устанавливаются по теодолиту.

Комбинированный способ. Предварительно на планшет по координатам накладываются углы кварталов, изломы фасадных линий и углы отдельных капитальных зданий, снятые с ходов съемочного обоснования.

Съемку деталей фасадов, проездов и внутриквартальной ситуации производят при помощи мензулы и кипрегеля с тех же точек съемочного обоснования.

Обычно, одновременно со съемкой ситуации комбинированным методом производится и съемка рельефа, чем он выгодно отличается от других методов.

Особенности съемки застроенных территорий. Такие предметы местности, как телеграфные и телефонные столбы, люки выходов подземных коммуникаций и другие, имеют в сечении форму окружности или близкую к ней. Поэтому рекомендуется съемку колодцев производить до центров люков. Если люк имеет прямоугольную или квадратную форму, то снимается два угла этого люка и измеряют стороны люка. При внутриквартальной съемке колодцы и отдельно стоящие предметы (столбы и др.) должны быть связаны между собой промерами, особенно при съемке полярным способом.

При съемке столбов и деревьев промеры делают до середины контура (к отсчету по рулетке прибавляют еще и радиус столба, дерева или др.).

Горизонтальная съемка застроенных территорий включает съемку проездов и внутриквартальную съемку.

Минимальное количество точек съемочного обоснования на 1 кв. км и на один планшет приведено в таблице 4.

Таблица 4

Масштаб съемки	Минимальное количество точек			
	четкие контуры		нечеткие контуры	
	на 1 кв. км	на 1 планше т	на 1 кв. км	на 1 план- ше т
1:2000	8	8	6	6
1:1000	6	4	12	3
1:500	32	2	16	1

Внутриквартальная съемка. Внутриквартальную съемку выполняют после съемки проездов. Перед внутриквартальной съемкой, для облегчения выполнения работ, на планшет наносят снятую ситуацию проездов и фасадов. Если пунктов съемочного обоснования недостаточно, прокладывают сети сгущения в виде диагональных ходов, висячих теодолитных ходов, разбивки створных точек и т.д. Точность точек сетей сгущения должна соответствовать точности производства съемки.

Съемка внутри кварталов производится теми же способами, что и при съемке проездов. Широко применяется полярный способ. Одновременно со съемкой составляется абрис.

По результатам горизонтальной съемки составляется топографический план. Вначале проверяют полевые документы и проверяют вычисления. Затем, на планшет (на котором нанесена километровая сетка, результаты съемки проездов) наносятся дополнительные точки съемочного обоснования и наносятся результаты съемки внутриквартальной ситуации. После построения плана выполняют полевой контроль и выполняют съемку пропущенных мест.

Расхождения между расстояниями, взятыми с плана и измеренными на местности, не должны превышать 0.4 мм в масштабе плана.

Съемка текущих изменений. В связи с тем, что на территории города постоянно ведутся строительные работы, а также работы по реконструкции объектов, информация на топографических планах с течением времени быстро устаревает. Поэтому регулярно необходимо производить обновление планов, т.е. выполнять съемку текущих изменений.

Если изменения значительные, то рекомендуется применять методы аэрофотосъемки.

Для незначительных изменений съемку выполняют от «старых» сохраненных на местности точек ситуации. Возможные варианты проведения съемки рассмотрены на рис.12-14.

1) Фиксируют точки А и В как пересечение створов (рис.12): а, b, с, l_1 , l_2 -измеряют, затем на плане фиксируют точки А и В и от них строят здание №1.

2) Точки А и В фиксируют как пересечение створов снимаемого здания со стеной существующего здания. Измеряют а, b, с, l_1 , l_2 и, затем, на плане фиксируют точки А и В, и от них строят здание.

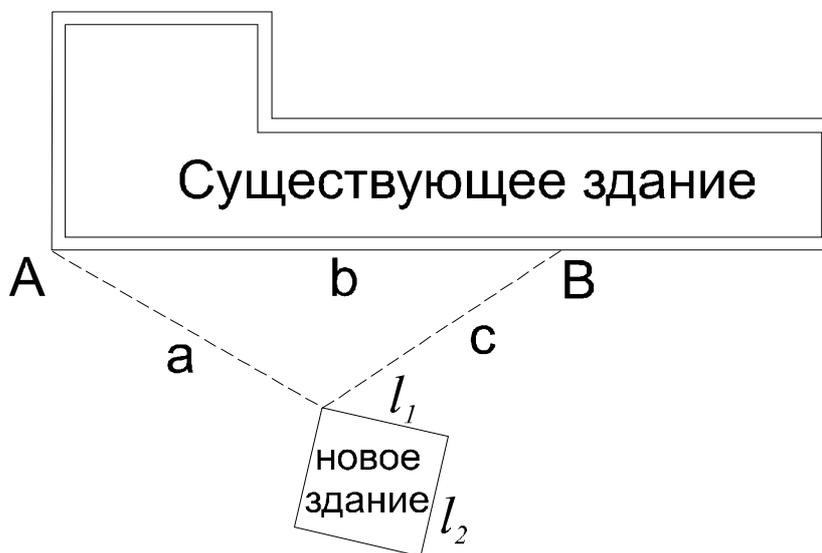


Рисунок 12.

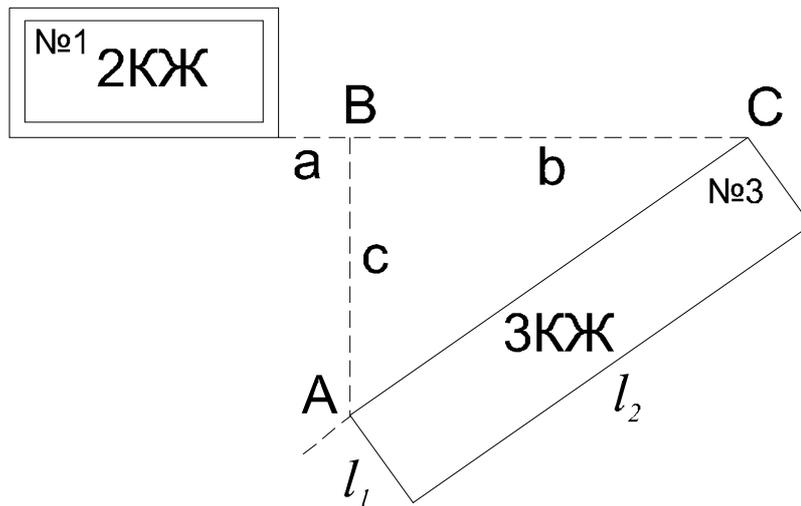


Рисунок 13

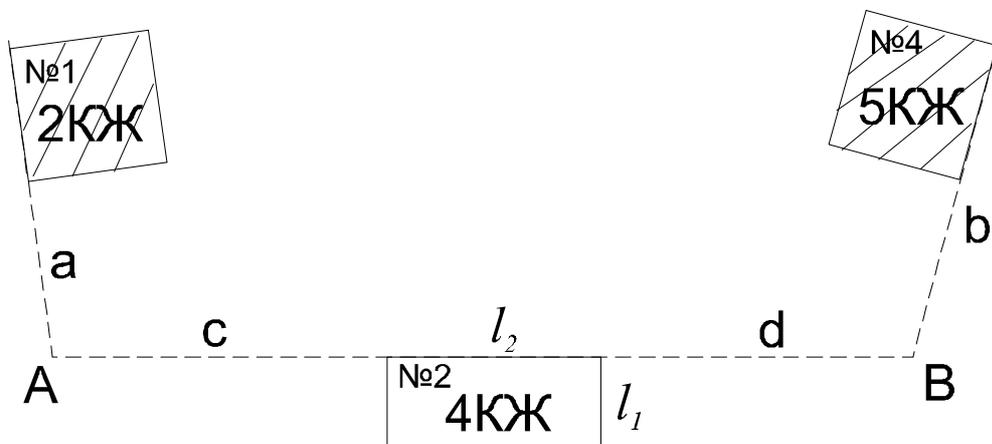


Рисунок 14

1.1.2. Городская полигонометрия и инженерно-геодезические сети

1.1.2.1. Общая характеристика сетей

Городская полигонометрия является опорной геодезической сетью. В больших городах ее прокладывают между пунктами триангуляции, а в малых городах, где развитие триангуляции не предусматривается, полигонометрия является единственной опорной сетью.

Необходимо иметь в виду, что полигонометрия служит не только для производства крупномасштабных съемок, но и для проведения таких работ, как:

- а) перенесение проектов планировки и застройки городов и поселков в натуру;

- б) разбивка трасс городских подземных сетей (водопровод, канализация, газопровод, телефон, электро- и теплофикация и т. д.);
- в) перенесение и контроль красных линий; текущая поверка строящихся зданий и сооружений в промышленном, гражданском и жилищном строительстве;
- г) специальная съемка, связанная с благоустройством и инженерным оборудованием городов;
- д) проектирование и строительство метрополитена, каналов и мостов.

Проекты полигонометрии на застроенную и незастроенную территорию разрабатываются с учетом возможности дальнейшего ее сгущения для выполнения съемок в масштабе 1:500 и на основе их - различных разбивочных работ для строительства.

Проектируемые ходы необходимо прокладывать в зависимости от масштаба осуществляемой на данной территории съемки, с учетом требований инструкции.

Полигонометрия 4 класса, прокладываемая вместо триангуляции 4 класса, должна опираться на пункты триангуляции 3, 2 и 1 классов.

Полигонометрия 1 разряда повышенной точности и 1 разряда должны опираться на пункты триангуляции 4 и высшего классов или на пункты полигонометрии 4 класса, а полигонометрия 1 разряда, кроме того, и на пункты 1 разряда повышенной точности.

Полигонометрия 2 разряда прокладывается, как правило, между пунктами полигонометрии 1 разряда повышенной точности и 1 разряда.

В полигонометрической сети 4 класса, когда она является самостоятельной, необходимо на двух сторонах, расположенных в противоположных концах сети, определять дирекционные углы астрономическим путем со средней квадратической ошибкой 2", при этом периметр полигонов не должен быть более 35 км.

В тех случаях, когда полигонометрические сети любого разряда являются самостоятельными, необходимо определять дирекционные углы на узловых

линиях астрономическим путем при условии, что число поворотных точек между этими азимутами было менее 16.

В целях сокращения астрономических работ по определению дирекционных углов при узловых точках в городе следует использовать высокие предметы (колокольни, башни, шпили и др.), с которых в дальнейшем можно передавать дирекционные углы в направлении на узловые точки хода.

В тех случаях, когда число поворотных точек в ходе более 16, необходимо на одну из линий хода передавать дирекционные углы с пунктов триангуляции или определять их астрономически.

Твердыми дирекционными углами в полигонометрии 1 и 2 разрядов считаются те направления с пунктов полигонометрии на пункты триангуляции, которые находятся от полигонометрических пунктов не менее 5 км, так как это обеспечивает предельную ошибку в дирекционном угле менее 4".

При построении полигонометрических сетей необходимо учитывать, чтобы в застроенной части города или поселка один знак полигонометрии приходился на 8 - 12 га.

В незастроенной части, при необходимости выполнения съемок в масштабе 1:500, количество пунктов определяется рекогносцировкой; для съемки в масштабе 1:2000 должен быть 1 пункт на 30 -50 га, а для съемки в масштабе 1:5000 - 1 пункт на 70 - 100 га.

Полигонометрические ходы нужно прокладывать по улицам и проездам с наиболее благоприятными условиями для измерения углов и расстояний. Стороны с углами наклона более 5° в полигонометрических ходах 4 класса, 1 разряда повышенной точности и 1 разряда, как правило, не допускаются.

Кроме того, при рекогносцировке следует учитывать следующее:

1. Необходимо избегать участков, где на положение знаков может влиять вибрация от промышленных предприятий и других сооружений.
2. Визирный луч между двумя смежными полигонометрическими знаками должен проходить на расстоянии 0,5 м от поверхности земли и вертикальной поверхности зданий и сооружений.

3. Местоположение знаков должно обеспечить их сохранность и долговечность. Не следует намечать знаки на болотах, оползнях, осыпях и т. п., а также на проезжих частях улиц и дорог, под которыми, как правило, размещаются подземные сети.

4. На застроенных территориях пункты полигонометрии следует закреплять стенными знаками и закладывать их на перекрестках улиц в углы зданий.

5. При привязке к триангуляционному пункту, расположенному на крыше зданий, следует намечать не менее двух базисов с тем, чтобы определяемая из треугольников общая сторона была не больше двойной длины базиса, а длины ее, полученные из решения треугольников, не расходились больше чем на 2 см.

1.1.2.2. Полигонометрические знаки

Полигонометрические знаки, применяемые в городской полигонометрии, разделяются на грунтовые и стенные; стенные в свою очередь делятся на восстановительные и ориентировочные.

При постановке грунтовых знаков на проезжих частях дорог, тротуарах, бровках верхнюю часть знака защищают чугунным колпаком с крышкой для предохранения от повреждений.

Центр знака обозначается отверстием диаметром 2 - 3 мм и глубиной не менее 4 мм, которое рекомендуется расчеканить медью или другим нержавеющей металлом.

Наличие большого количества подземных сетей и сооружений в городе (газ, водопровод, канализация, кабельные прокладки и др.), ремонт их и дальнейшее развитие в связи с большим размахом жилищного, культурно-бытового и промышленного строительства в городе (поселке), а также большая затрата времени на согласование мест постановки грунтовых знаков - все это говорит за предпочтительное применение стенных полигонометрических знаков.

Восстановительные полигонометрические знаки по конструкции можно разделить на два типа:

- первый в виде кронштейна со съемкой и переносной штангой или в виде кронштейна, вмонтированного в коробку знака с наглухо закрепленной штангой;
- второй тип - в виде стенного нивелирного репера.

Стенной полигонометрический знак второго типа получил широкое распространение и имеет перед конструкцией первого типа преимущества, заключающиеся в том, что для выноса его центра не требуется специальных штанг и он одновременно служит и нивелирным репером.

Восстановительная система дает возможность в любое время восстановить местоположение центра и использовать его для различного рода измерений, как грунтовый полигонометрический знак.

Преимущество ориентирной системы заключается в том, что угловые и линейные измерения производятся на любом расстоянии от знака, в наиболее благоприятных условиях для измерения.

1. Стенной полигонометрический знак конструкции инженера И.А. Анисимова относится к типам знаков со съемными центрами и переносными штангами (рис.15).

Знак состоит из металлической марки, закладываемой в стену здания, и съемной штанги.

Марка представляет собой диск диаметром 13,5 см. Хвостовая часть марки имеет длину 12 см. К диску марки прикреплены вертикальные пазы, выточенные из меди или латуни. В центре диска имеется отверстие диаметром 2 мм. Центр отверстия является точкой, высота которой определяется нивелированием. На внешней поверхности диска марки отливается номер знака .

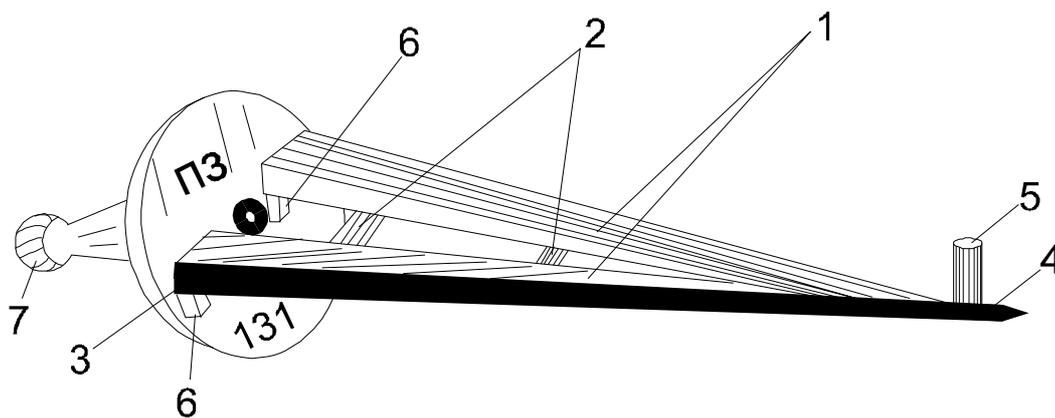


Рисунок 15 – Стенной полигонометрический знак конструкции инженера И.А. Анисимова

Штанга представляет собой конструкцию из двух отрезков -1 уголковой стали 25×25 см, длиной по 80 см каждый, скрепленных под углом соединительными планками 2. С одной стороны отрезки уголков совмещаются, а с другой - имеют разнос в 11 см. К разведенным концам уголков штанги крепятся наглухо два конусообразных пальца 3 длиной 5 см и диаметром основания 1,5 см. Со стороны соединенных концов штанги просверливается отверстие 4 для визирного приспособления, являющееся центром полигонометрического знака. Пальцы 3 штанги вставляются в вертикальные пазы 6 чугуновой марки. Вставленная в марку штанга дает рабочий центр знака, отнесенный на 80 см от стены здания.

2. Стенной полигонометрический знак конструкции инженера Н. Н. Лебедева представляет собой металлическую коробку длиной 52 см, высотой 5 см и глубиной 5 см (рис.16). К задней стенке коробки приварено два завершенных хвоста 1, 2. Коробка с внешней стороны закрывается крышкой 8, запирающейся трехгранным ключом.

В корпусе коробки монтируются две открывающиеся штанги на шарнирах 4, 5, изготовленные из уголковой стали длиной 45 см. Концы открывающихся штанг скрещиваются в пазах 6, 7 при помощи откидной планки. Для увеличения выноса центра знака от стены на одной из открывающихся штанг дается дополнительная откидывающаяся штанга 8, длиной 38 см.

На конце штанги имеется отверстие диаметром 2 мм, являющееся центром знака. В это отверстие вставляется визирное приспособление для измерения углов. На внешней стороне крышки указывается номер знака. Для увеличения срока работы знака все шарнирные узлы изготавливаются из нержавеющей стали и покрываются тонким слоем масла.

Центр знака в конструкции Лебедева выносится от стены здания на 60-80 см. Все наружные части стеновых знаков покрываются прочным слоем нитрокраски.

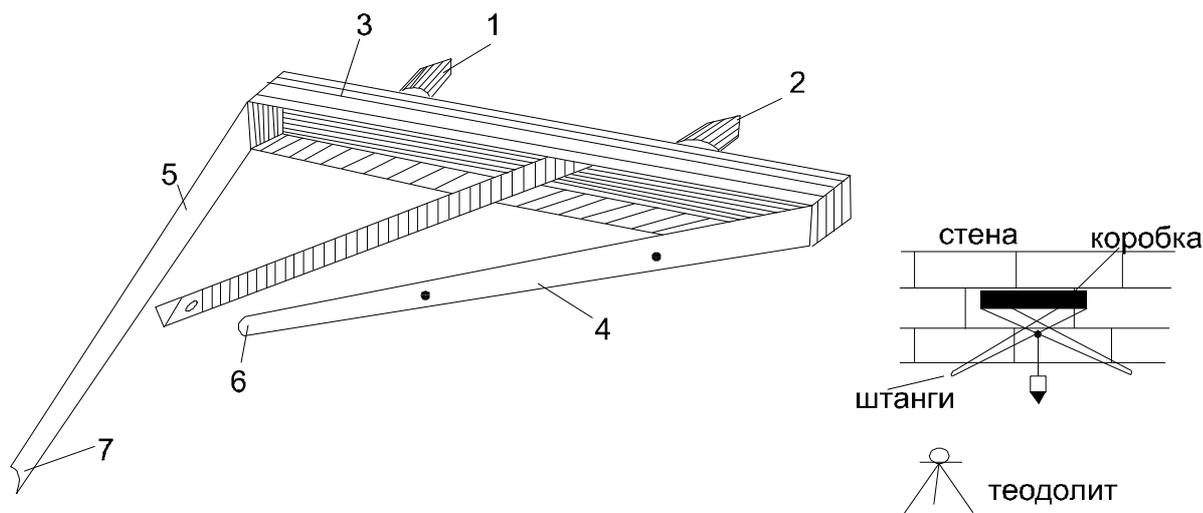


Рисунок 16 - Стенной полигонометрический знак конструкции инженера Н. Н. Лебедева

3. Стенной полигонометрический знак типа нивелирного стенового репера.

Кроме знаков, о которых говорилось выше, в настоящее время начинают применять обычный стеновой нивелирный репер. В полочке репера просверлено отверстие диаметром 2 - 3 мм, служащее полигонометрическим центром (рис.17).

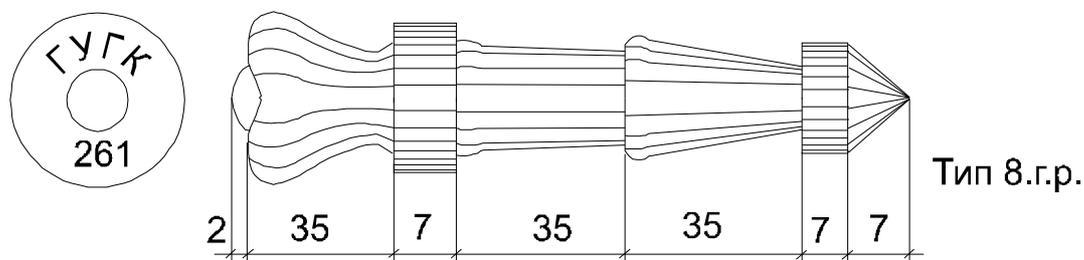


Рисунок 17 - Стенной полигонометрический знак типа нивелирного стенового репера

Этот знак имеет следующие преимущества:

-он легко может быть найден если указан адрес дома, на котором находится знак; причем, высота закладки 0,3 м от поверхности земли дает возможность отыскать его даже в зимнее время;

-знак не требует специальных штанг для выноса центра; угловые и линейные измерения ведутся по временным точкам (гвоздь, костыль, кол, забитые в тротуар или грунт) с любого расстояния от стенного репера с последующей редуцией углов и линий на просверленное в репере отверстие (полигонометрический центр);

-дает возможность измерять линии и углы с любого расстояния от репера, позволяет производить измерения в наиболее благоприятных условиях;

-этот полигонометрический знак, заложенный в каменном фундаменте здания или сооружения, одновременно служит и нивелирным репером; опыт использования стенных реперов в нивелирных работах доказал их долговечность и небольшую стоимость.

Недостатком рассматриваемого знака является необходимость при пользовании им (кроме измерения линий и углов) дополнительно определять редуции и центрировки.

15. Створно-восстановительная система полигонометрических знаков

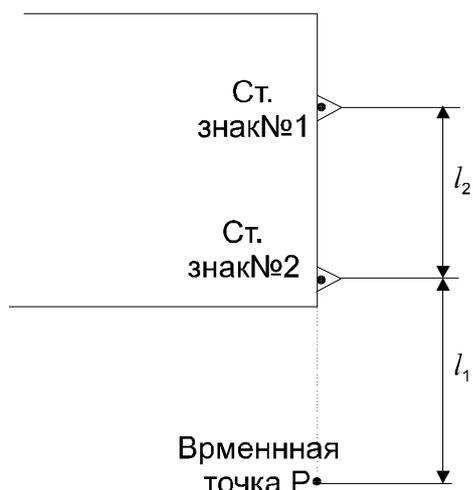


Рисунок 18 – Створно-восстановительная система полигонометрических знаков

5. Система равностороннего треугольника

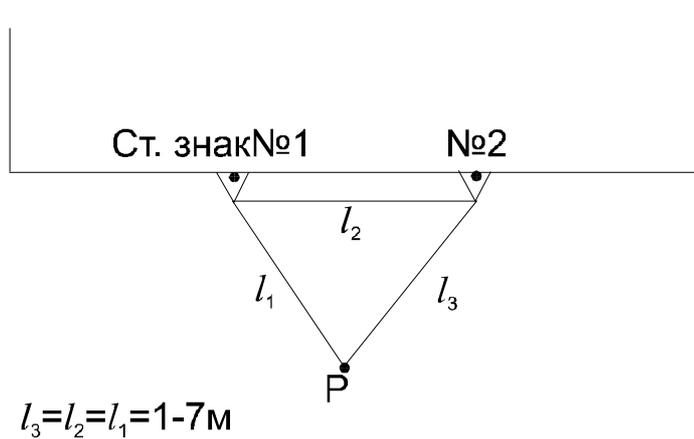


Рисунок 19 – Система полигонометрических знаков в виде равностороннего треугольника

6. Система прямоугольного треугольника

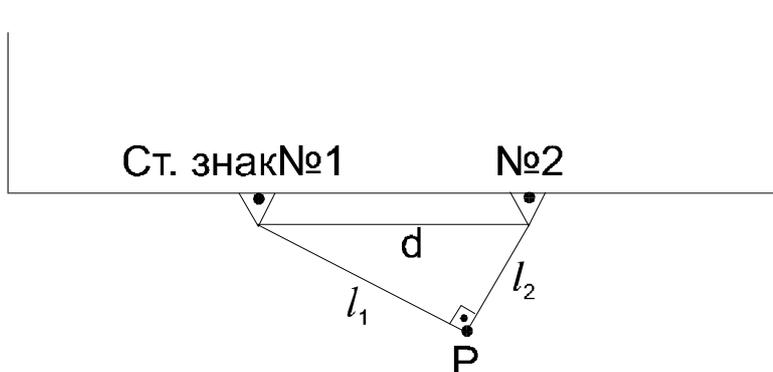
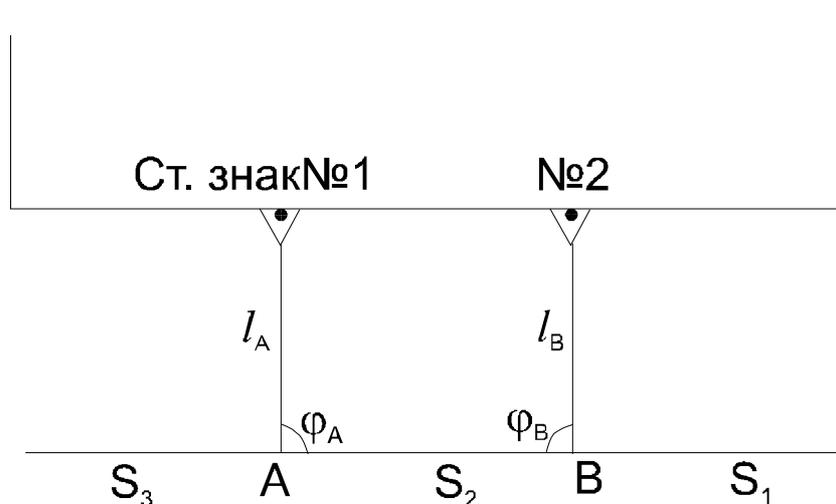


Рисунок 20 – Система полигонометрических знаков в виде прямоугольного треугольника

1.1.2.3. Передача координат на полигонометрические знаки

При ориентирной системе полигонометрических знаков передача координат на стенные знаки осуществляется полярным методом с временных рабочих точек или способом редуцирования углов. Возможны два варианта.

Рисунок 21 – Передача координат на стенные пункты полигонометрии



а) 1 вариант - если полигонометрический ход закреплен стенными знаками:

Точки А и В - точки вспомогательного хода, временно заложенные напротив стенных знаков. Для получения координат знаков необходимо измерить l_A , l_B , φ_A , φ_B .

б) 2 вариант - если стеной знак расположен между двумя грунтовыми пунктами полигонометрического хода.

Для передачи координат на стеной знак В закрепляют временный грунтовый знак полигонометрического хода так, чтобы угол от стеного знака был в пределах $80^\circ - 90^\circ$, а расстояние $l_1 = BP$ составляло 5-15 м.

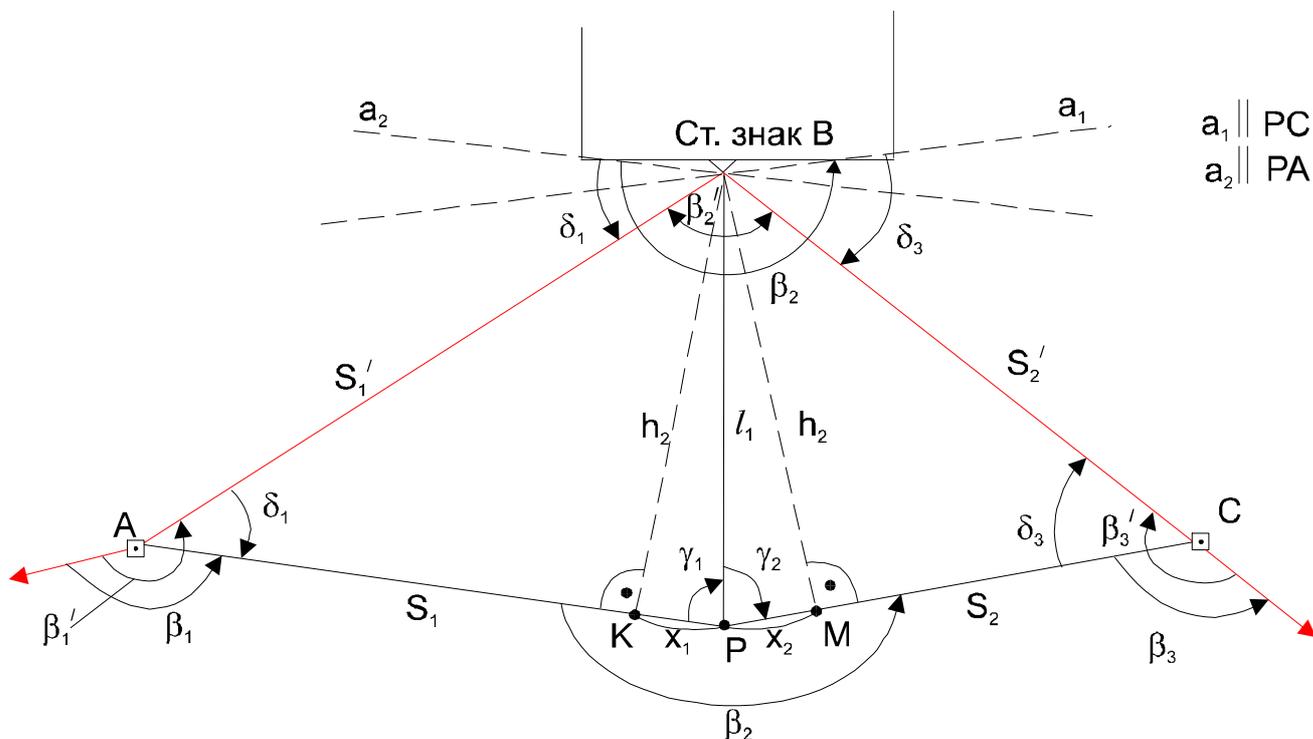


Рисунок 22 – Передача координат на стенной знак полигонометрии, расположенный между двумя грунтовыми реперами В полевых условиях измеряют $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \gamma_1, \gamma_2, l_1, S_1, S_2$.

Для вычисления координат выполняют следующие построения: опускают перпендикуляры h_1, h_2 на AP и PC (см.рис.22) и вычисляют:

$$1) h_1 = l_1 \times \sin \gamma_1;$$

$$h_2 = l_2 \times \sin \gamma_2.$$

$$2) X_1 = l_1 \times \cos \gamma_1;$$

$$X_2 = l_2 \times \cos \gamma_2.$$

3) из треугольника АВК и СВМ следует :

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{l_1 \cdot \sin \gamma_1}{S_1 - X_1} = \frac{h_1}{S_1 - X_1}$$

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \frac{l_2 \cdot \sin \gamma_2}{S_2 - X_2} = \frac{h_2}{S_2 - X_2}$$

$$4) S_1' = \sqrt{h_1^2 + (S_1 - X_1)^2}$$

$$S_2' = \sqrt{h_2^2 + (S_2 - X_2)^2}$$

$$5) \beta_1' = \beta_1 + \delta_1$$

$$\beta_3' = \beta_3 + \delta_3$$

$$\beta_2' = \beta_2 - (\delta_1 + \delta_3)$$

Получив все данные для уравнивания хода полигонометрии, его уравнивают обычным методом и определяют координаты стенного репера В.

с) 3 вариант - привязка полигонометрического хода к стенным знакам.

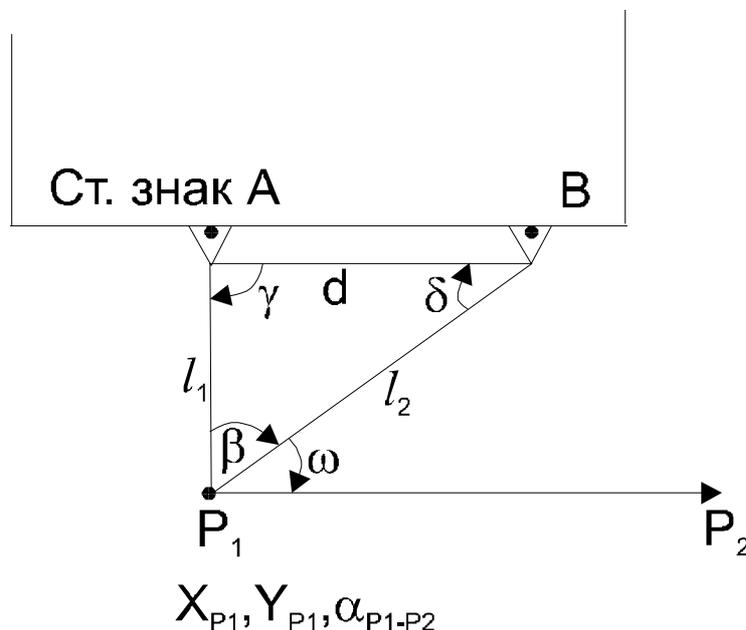


Рисунок 23 – Привязка полигонометрического хода к стенным знакам

Пусть P_1 - начало или конец полигонометрического хода (заложен так, чтобы были видны знаки А и В, а удаление от них не превышало 20 метров). Измеряют ω , β , l_1 , l_2 и вычисляют:

$$1) \sin \delta = \frac{l_1 \cdot \sin \beta}{d};$$

$$2) \gamma = 180^\circ - (\beta + \delta);$$

$$3) \alpha_{A-P1} = \alpha_{A-B} + \gamma;$$

$$4) X_{P1} = X_A + l_1 \times \cos \alpha_{A-P1}$$

$$Y_{P1} = Y_A + l_1 \times \sin \alpha_{A-P1}.$$

По координатам точек P_1 и В решается обратная геодезическая задача и вычисляются дирекционный угол α_{B-P1} и расстояние BP_1 , которое сравнивают с измеренной величиной l_2 (расхождение допускается в пределах 5-8 мм).

Дирекционный угол α_{B-P1} принимаем как исходный для привязки хода, т.к. это более длинная сторона.

d) 4 вариант - примыкание полигонометрии 2 разряда к стороне полигонометрии 1 разряда.

При примыкании полигонометрии 2 разряда к полигонометрии 1 разряда точка М (рис.24) может оказаться на середине АВ, тогда стороны АМ и ВМ окажутся короткими. Вследствие этого возникнут большие ошибки в измерениях углов θ_1 и θ_2 . В этом случае рекомендуется примыкать к треугольнику АМВ, в котором измеряются S, S_1, S_2, τ , а углы θ_1 и θ_2 - вычислять по теореме синусов:

$$\frac{S_2}{\sin \theta_1} = \frac{S}{\sin \tau}; \quad \frac{S_1}{\sin \theta_2} = \frac{S}{\sin \tau}.$$

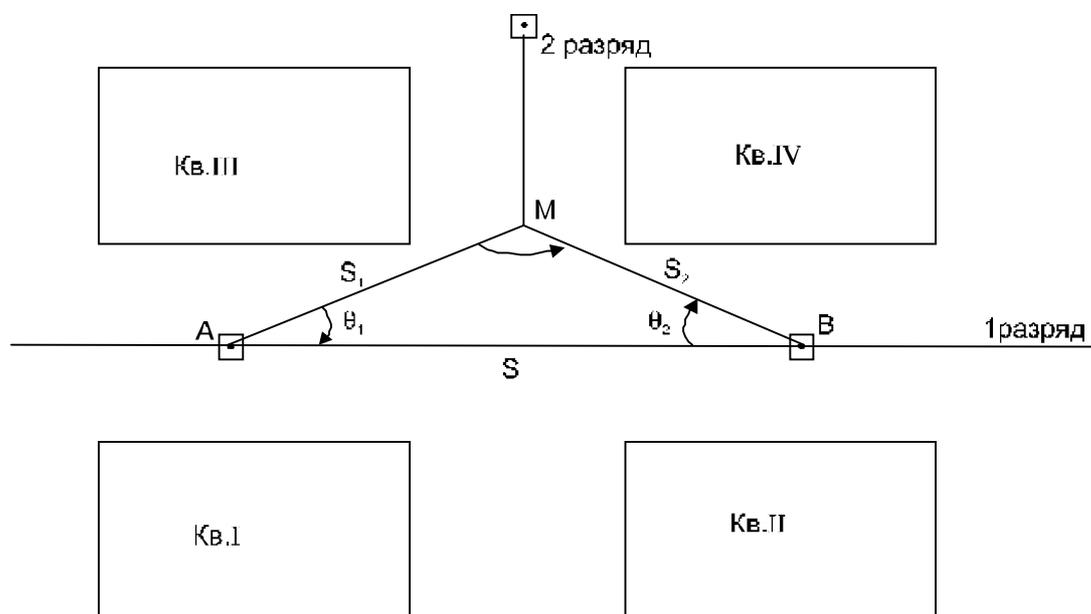


Рисунок 24 - Примыкание полигонометрии 2 разряда к стороне полигонометрии 1 разряда.

e) 5 вариант- привязка полигонометрического хода к пунктам триангуляции:

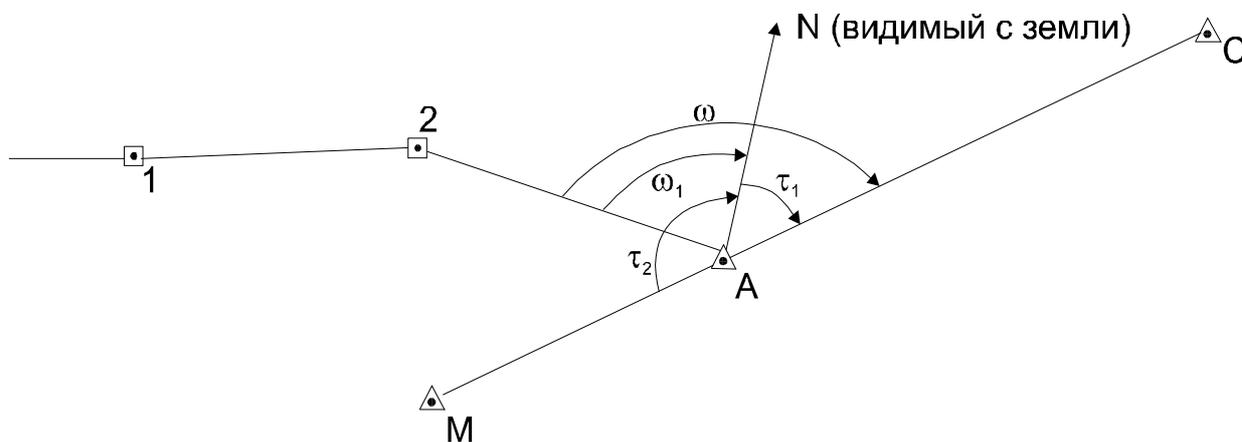


Рисунок 25 – Привязка полигонометрического хода к пунктам триангуляции

Если отсутствует видимость с земли на пункт триангуляции, то необходимо измерить примычный угол со столика- сигнала (ошибка проектирования центра триангуляционного знака допускается до 5 мм, что при коротких длинах будет давать ошибку в примычном угле 5"). Уменьшить ошибку центрирования можно, измеряя примычный угол через вспомогательное направление, для чего выбираем удаленный, но хорошо видимый предмет - ориентир N. Устанавливают теодолит на штатив и измеряют угол ω_1 между последней линией полигонометрического хода 2А и направлением на ориентир N, затем поднимают теодолит на сигнальный столики измеряют примычный угол τ_1 или τ_2 .

Дирекционный угол со стороны AC на А2 передают через вычисленный угол ω : $\omega = \omega_1 + \tau_1$

- 6 вариант - передача координат со здания на грунтовый пункт полигонометрического хода.

Чтобы передать координаты со знака 0 на здании на пункты С, В, А на земле, разбивают разбивочный базис и измеряют b_1 и b_2 .

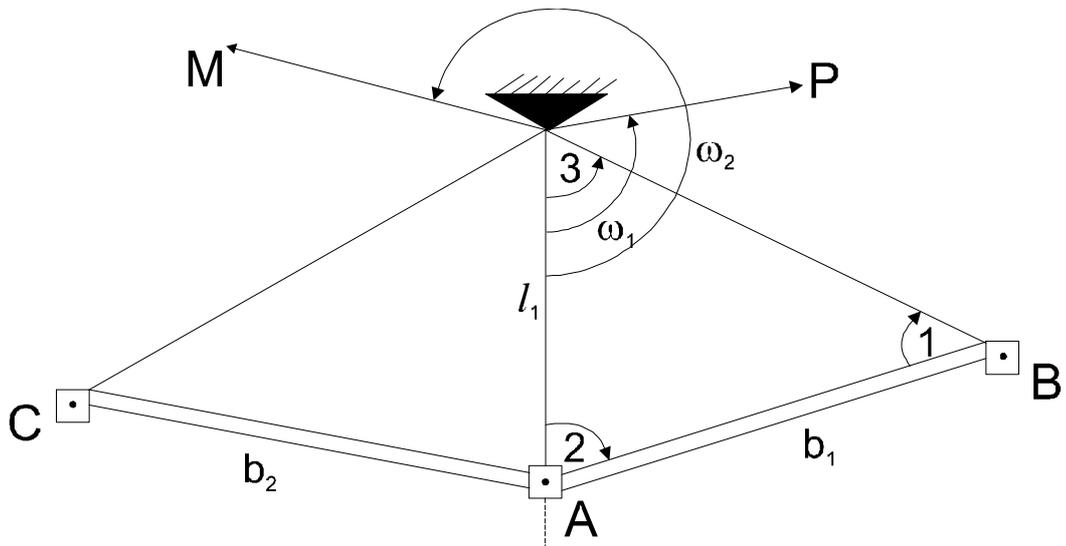


Рисунок 26 - Передача координат со здания на грунтовый пункт полигонометрического хода

Также измеряют углы 1, 2, 3, ω_1 , ω_2 . Затем вычисляют l_1 :

$$\frac{l_1}{\sin 1} = \frac{b_1}{\sin 3};$$

$$\alpha_{O-A} = \alpha_{O-P} + \omega_1.$$

Затем вычисляют координаты X_A и Y_A

1.1.2.4. Измерение углов и длин при отсутствии видимости между точками

1. Измерение углов. Между точками А и В отсутствует видимость. Для вычисления угла α выбираем вспомогательную точку Р, на которую есть видимость с точек А и С и измеряем β_1 , β_2 , β , $l=BP$.

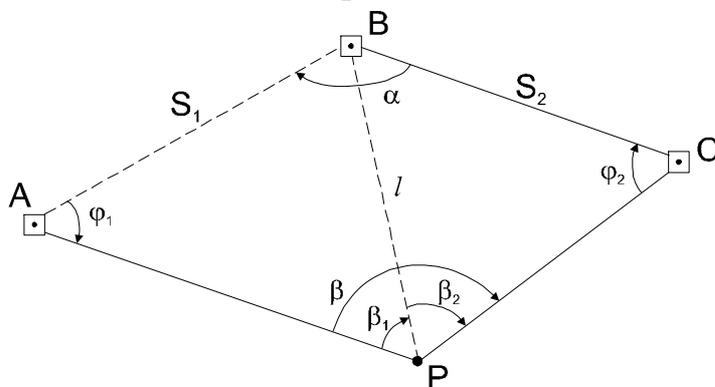


Рисунок 27.

Затем вычисляем:

$$\alpha = 360^\circ - (\varphi_1 + \varphi_2 + \beta);$$

$$\sin\varphi_1 = (l \times \sin\beta_1) / S_1;$$

$$\sin\varphi_2 = (l \times \sin\beta_2) / S_2$$

2. Измерение длин.

1) Между точками А и В есть препятствие, но видимость есть. Выбирают точку С и измеряют S_1 , S_2 , α , β . Затем вычисляют расстояние по формуле:

$$AB = AC \times \cos \alpha + BC \times \cos \beta.$$

2) Между точками А и В есть препятствие и нет видимости.

Так как видимость отсутствует, следовательно вместо угла β необходимо измерить угол θ , тогда:

$$AB^2 = AC^2 + BC^2 - 2 \times AC \times BC \times \cos \theta.$$

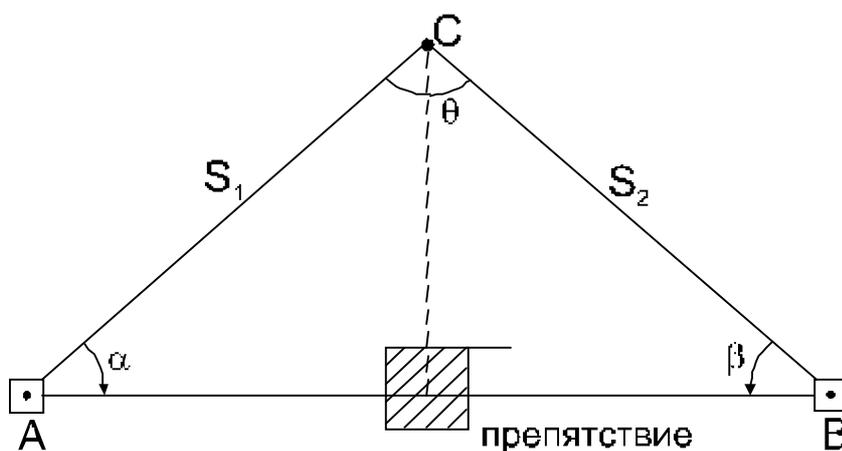


Рисунок 28.

1.1.2.5. Метод редукции при линейных измерениях

Метод редукции при линейных измерениях иногда применяют в городской полигонометрии, т.к. он позволяет отойти от линии на местности, явно неблагоприятной для измерения (посевы, котлованы, каналы, сильное движение и т.д.) и перейти к линиям, удобной для измерения.

Следует различать три типа редукции: линейная, комбинированная, угловая.

1. Линейная редукция.

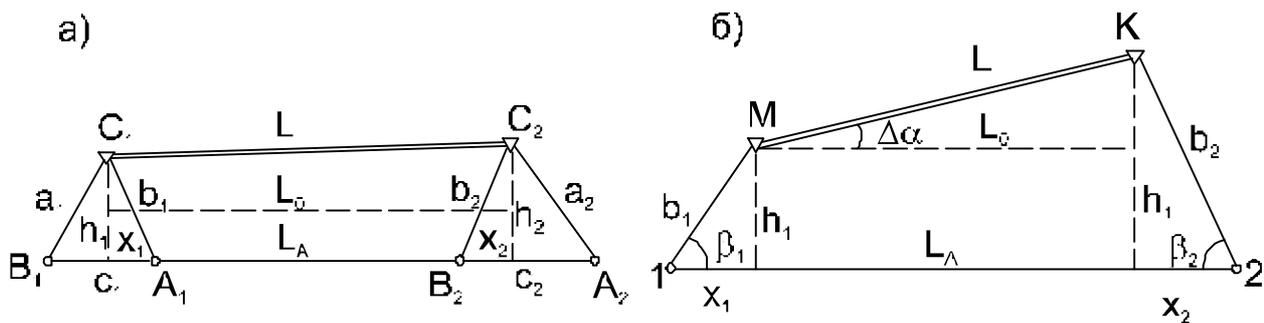


Рисунок 30 - Линейная (а) и комбинированная (б) редукции расстояний.

Здесь точки C_1, C_2 - центры геодезических пунктов, между которыми необходимо определить расстояние; $-A_1A_2$ вспомогательная линия, измеряемая мерным прибором на местности; точки B_1, B_2 - располагают строго по створу вспомогательной линии. Кроме вспомогательной линии на местности измеряют рулеткой отрезки $a_1, a_2, b_1, b_2, c_1, c_2$.

Точки A_1A_2, B_1, B_2 - выбирают по створу измеряемой линии таким образом, чтобы получились равнобедренные треугольники с углами при точках C_1, C_2 от 50 до 90 градусов.

Элементы линейной редукции вычисляют по формулам

$$x = [(b_1^2 - a_1^2) / c_1 + c_1] / 2;$$

$$h = \sqrt{b_1^2 - x_1^2};$$

Искомое расстояние :

$$L = L_o + \frac{\Delta h^2}{2L_o};$$

$$L_o = L_A + x_1 + x_2;$$

$$\Delta h = h_1 \pm h_2.$$

В формуле знак “+” ставится, если построенные редуционные треугольники находятся по разные стороны измеряемой линии, и знак “-” - треугольники по одну сторону измеряемой линии (рис. 30, а).

2. Комбинированная редукция

Комбинированную редукцию применяют, если отсутствует прямая видимость между постоянными геодезическими пунктами М и К (рис. 30,б). На местности выбирают вспомогательную линию 1-2, удобную для измерения. Помимо линии 1-2 измеряют в точках 1 и 2 угловые β_1, β_2 и линейные b_1, b_2 элементы редукции с точностью соответствующего класса измерений.

Вычисления выполняют по следующим формулам:

$$\begin{aligned}h_1 &= b_1 \sin \beta_1; \\h_2 &= b_2 \sin \beta_2; \\x_1 &= b_1 \cos \beta_1; \\x_2 &= b_2 \cos \beta_2; \\L_0 &= L_A - x_1 - x_2; \\tg \Delta\alpha &= (h_1 \pm h_2) / L_0; \\L &= L_0 \sec \Delta\alpha.\end{aligned}$$

Редукция угловая занимает очень много времени и применяется в тех случаях, когда по каким-либо причинам линейный элемент редукции определить не возможно.

1.1.3. Геодезические разбивочные опорные сети

1.1.3.1. Общие сведения

Геодезические опорные разбивочные сети служат основой для выноса проектов сооружения в натуру, соблюдения их геометрических параметров, производства геодезических наблюдений за смещениями и деформациями инженерных сооружений. Они создаются на строительной площадке в виде развитой сети закрепленных знаками пунктов и обеспечивают исходными

данными последующие построения на всех этапах строительства и эксплуатации сооружений.

Геодезическую разбивочную основу увязывают с имеющимися в районе строительства пунктами государственной сети или геодезических сетей сгущения, а также пунктами периода ранее проведенных инженерных изысканий. Проект разбивочной основы составляется в соответствии с генеральным планом объекта строительства в порядке и в сроки, соответствующие принятым стадиям проектирования и очередям строительства. Точность построения геодезической разбивочной основы должна соответствовать требованиям табл.5. (СНиП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. М., Стройиздат,1984).

Таблица 5

Класс точности	Объекты строительства	Допустимые средние квадратические погрешности		
		угловые величины, сек	линейные измерения	отметки, мм
1-0	Предприятия и группы зданий и сооружений на участках площадью более 100 га. Отдельно стоящие здания и сооружения с площадью застройки более 100 тыс. кв. м.	5	1:50 000	2
2-0	Предприятия и группы зданий и сооружений на участках площадью до 100 га. Отдельно стоящие здания и сооружения с площадью застройки свыше 10 до 100 тыс. кв. м.	10	1:15 000	2
3-0	Здания и сооружения с площадью застройки до 10 тыс. кв. м Дороги, подземные и надземные коммуникации в пределах застраиваемых территорий	20	1:5 000	3
4-0	Дороги, подземные и надземные коммуникации вне застраиваемой территории	30	1:2 000	5

Класс точности построения геодезической разбивочной основы особо сложных и уникальных инженерных сооружений, а также зданий выше 16 этажей устанавливают при разработке проекта производства геодезических работ (ППГР). Точность измерения базиса геодезической разбивочной основы определяется специальными расчетами.

Геодезическую разбивочную основу создает заказчик и не менее чем за 10 дней до начала строительно-монтажных работ передает подрядчику техническую документацию на нее и на закрепленные на площадке строительства пункты и знаки основы. Знаки геодезической разбивочной основы в процессе строительства находятся под наблюдением за их сохранностью и устойчивостью. Положение знаков проверяет строительная организация не реже двух раз в год или в сроки, установленные в ППГР.

В районах крупного строительства и на городских территориях создается высотная основа для инженерно-геодезических разбивочных работ и наблюдений за осадками в виде нивелирных сетей II и III классов. Ходы нивелирования IV класса развивают по необходимости. При строительстве уникальных и крупных инженерных сооружений, для монтажа и наблюдения за осадками создают локальные специальные опорные высотные инженерно-геодезические сети высокой точности.

Необходимость создания высокоточных высотных опорных геодезических сетей обосновывается в ППГР. Методику и точность производства геодезических измерений выбирают на основе расчетов точности и оценки качества проектов нивелирных сетей. Нивелирные ходы таких сетей прокладывают в прямом и обратном направлениях или при двух горизонтах инструмента.

Для высокоточного нивелирования применяют нивелиры Н1, Н2, Ni004, Ni007, Ni-B3 и др. Рейки - штриховые с инварной полосой. Нивелиры и рейки подвергают тщательным исследованиям по полной программе.



Рисунок 31 – Классификация опорных геодезических разбивочных сетей

Выбор вида построения опорных разбивочных геодезических сетей зависит от следующих факторов:

- типа объекта;
- его формы и площади;
- его назначения;
- физико-географических условий района строительства;
- точности;
- наличия измерительных средств у исполнителя ;
- и др.

Например, триангуляция применима для значительных площадей, особенно для вытянутых объектов: мостов, гидротехнических сооружений и т.д.

Полигонометрия применима для застроенных территорий и дорожного строительства.

Линейно-угловые сети применяются при строительстве уникальных сооружений, где требуется высокая точность.

Строительная сетка применяется при строительстве крупных промышленных комплексов.

Теодолитные ходы применяются при строительстве отдельных зданий небольшой этажности, при прокладке сетей коммуникаций.

Инженерно-геодезические (опорные геодезические разбивочные сети) сети обладают следующими особенностями:

- создаются на конкретных объектах;
- имеют ограниченные размеры с небольшим числом фигур и короткими длинами;
- плотность пунктов и точность построения сети рассчитывается от конкретных задач;
- сеть строится, как правило, в виде свободных построений в условной прямоугольной системе координат с привязкой к государственной сети.

1.1.3.2. Линейно-угловые сети

При установке элементов конструкций инженерных сооружений и высокоточной установке технологического оборудования создаются специальные высокоточные сети по форме, повторяющей геометрическую форму сооружения в плане. При строительстве сравнительно простых по геометрической форме промышленных и гражданских инженерных сооружений такие сети строят в виде четырехугольников, геодезических четырехугольников или квадратов, рядов из ромбов, центральных систем. Измерение их ведут методом триангуляции, трилатерации или линейно-угловым.

Для расчета точности угловых и линейных измерений в указанных сетях применяются формулы, разработанные А. И. Дурневым, К. Р. Проворовым, К. А. Лапингом, Т. Т. Чмчяном и др.

При высокоточной установке технологического оборудования развивают специальные высокоточные сети микротрилатерации: радиально-кольцевые, кольцевые и линейные (рис. 32).

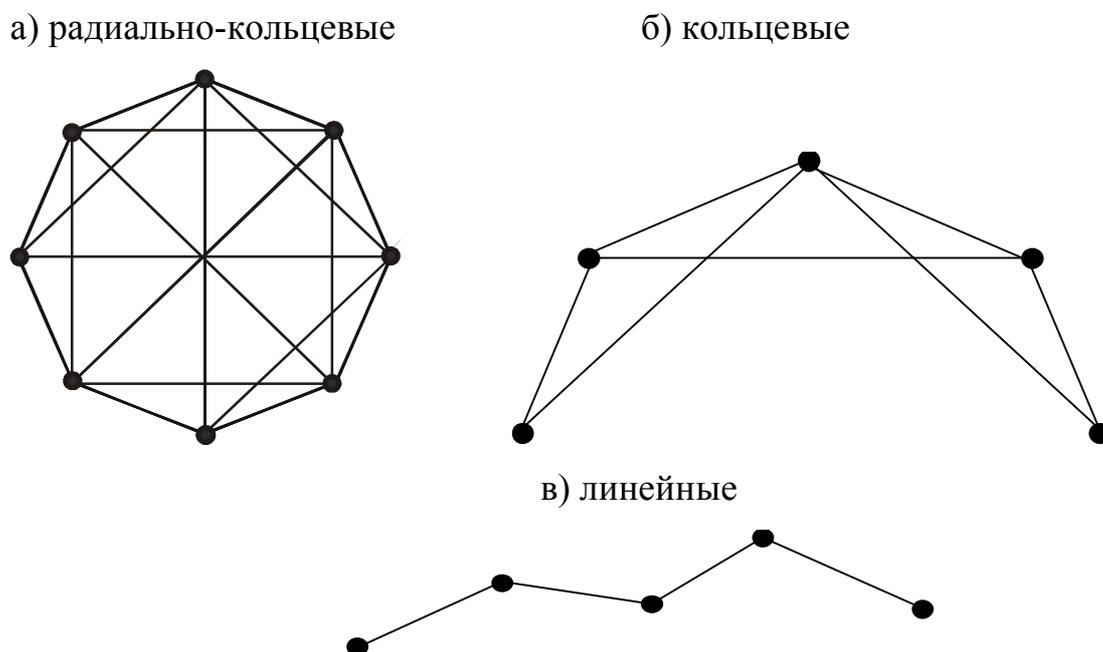


Рисунок 32 – Виды линейно-угловых сетей

Методика построения таких сетей обосновывается разработкой ППГР.

В линейных и кольцевых сетях микротрилатерации взаимное поперечное положение смежных пунктов определяют с высокой точностью. С увеличением числа треугольников точность определения пунктов понижается. Для повышения точности взаимного поперечного положения удаленных пунктов дополнительно измеряют углы, создавая линейно-угловые сети. Применение различных схем кольцевых и линейных сетей микротрилатерации зависит от точности разбивки сооружений.

1.1.3.3. Геодезические засечки

Этот метод весьма эффективен в условиях открытой, но довольно пересеченной местности. По известным дирекционному углу α_1 (рис.33), длине первой стороны S_1 , измеренным при ней углам A_1, B_1 и A_1', B_1' определяют прямой угловой засечкой боковые пункты M и M' и дирекционные углы на них. Измерением в точке Π дополнительно углов A_2, A_3 и A_2', A_3' , находят

дирекционный угол линии II- III и направления на боковые точки N, N'. По измеренным в точке III углам B_2 и B_2' дважды получают значение линии II -III, которая становится исходной для дальнейших аналитических построений и вычислений.

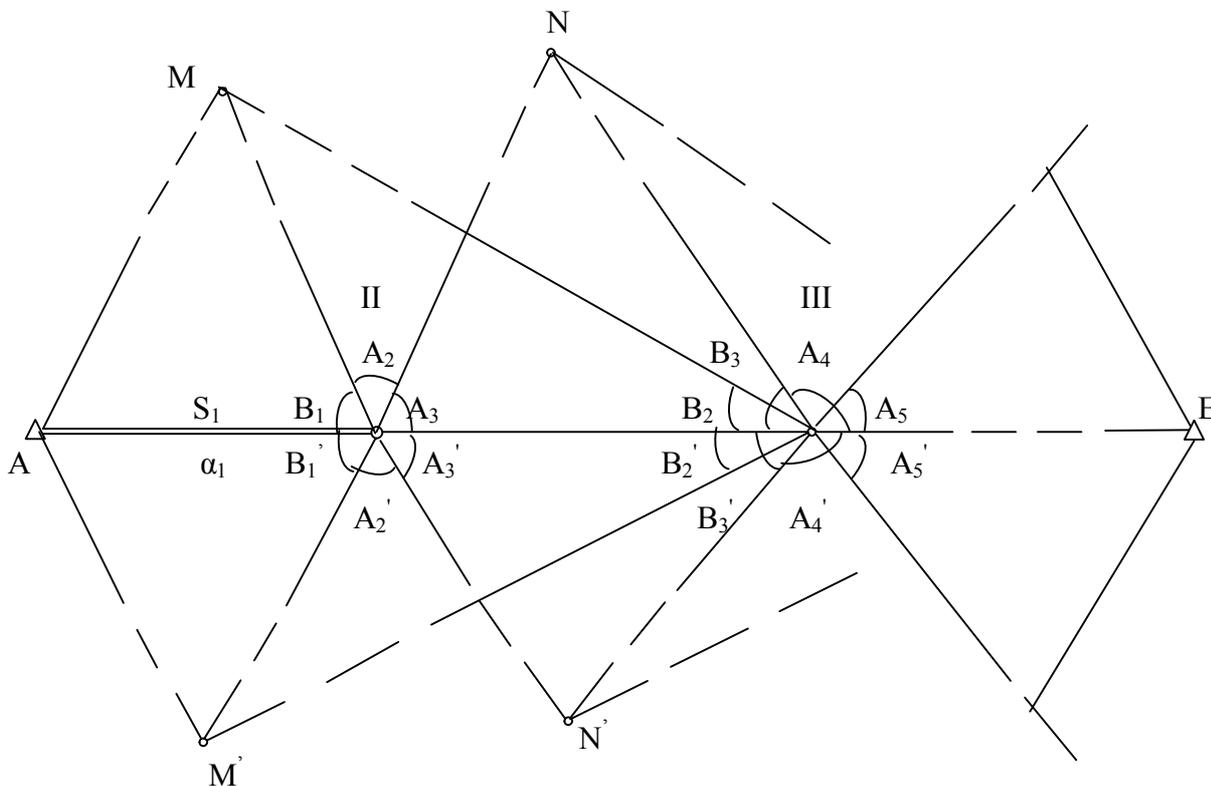


Рисунок 33 – Схема определения координат способом засечек

$$\frac{S_1}{\sin(180 - (A_1 - B_1))} = \frac{MII}{\sin A_1}$$

$$\frac{MII}{\sin B_2} = \frac{II - III}{\sin(180 - (A_2 + B_2))}$$

Длину стороны с порядковым номером i ходовой линии в сети из двух фигурных засечек вычисляют по теореме синусов дважды:

$$S_i = S_1 \times \frac{\sin A_1 \sin(A_2 + B_2) \sin A_3 \dots \sin(A_2^{i-2} + B_2^{i-2})}{\sin(A_1 + B_1) \sin B_2 \sin(A_3 + B_3) \dots \sin B_2^{i-2}} =$$

$$S_1 \times \frac{\sin A_1 \sin(A_2 + B_2) \sin A_3 \dots \sin(A_2^{i-2} + B_2^{i-2})}{\sin(A_1 + B_1) \sin B_2 \sin(A_3 + B_3) \dots \sin B_2^{i-2}}$$

Измерительные и вычислительные действия производят в следующей последовательности:

- 1) Прокладывая ход между твердыми пунктами А и Е, принимая дирекционный угол α_0 и длину S_0 начальной стороны хода А - П = S_0 произвольными (их можно приближенно определить по плану масштаба 1: 10000 или 1: 5000), вычисляют дирекционные углы и длины последующих линий.
- 2) По полученным данным вычисляют от пункта А условные координаты пункта Е, а по ним из решения обратной геодезической задачи находят условный дирекционный угол α' и длину диагонали АЕ=s.
- 3) По твердым координатам пунктов А и Е также вычисляют дирекционный угол α и длину диагонали.
- 4) По полученным данным находят точные значения: исходного дирекционного угла α_0 , исходной стороны S_0 .
- 5) По найденным S_0 и α_0 повторяют вычисления по ходу, получают окончательные значения его элементов, а затем и координаты определяемых точек.
- 6) Для контроля рекомендуется одну из сторон в середине хода между пунктами А и Е измерить и сравнить результат с вычисленным значением при обработке хода. Если расхождение будет отличаться на величину, в $\sqrt{2}$ меньшую допустимой средней квадратической погрешности измерения линии, то в проложенном ходе отсутствуют грубые погрешности.

Создавая геодезическое обоснование по способу пучковой засечки, не следует конечные пункты А и Е принимать из разных систем геодезической сети.

1.1.3.4. Четырехугольник без диагоналей

Способ применим на любых (в том числе залесенных и застроенных) участках, затрудненных для непосредственных линейных измерений.

В каждом четырехугольнике без диагоналей измеряют четыре угла и сторону, а в первом - и вторую смежную (рис. 34). Для повышения точности сети в последнем четырехугольнике измеряют все углы и две смежные стороны. Измеренные углы в каждом четырехугольнике уравнивают. В первом четырехугольнике по уравненным углам A, B, C, D и двум измеренным сторонам b, c вычисляют длины двух других сторон a, d . В последующем четырехугольнике также станут известны две смежные стороны: измеренная b_1 и вычисленная a . Дальнейшие вычисления продолжают в такой же последовательности.

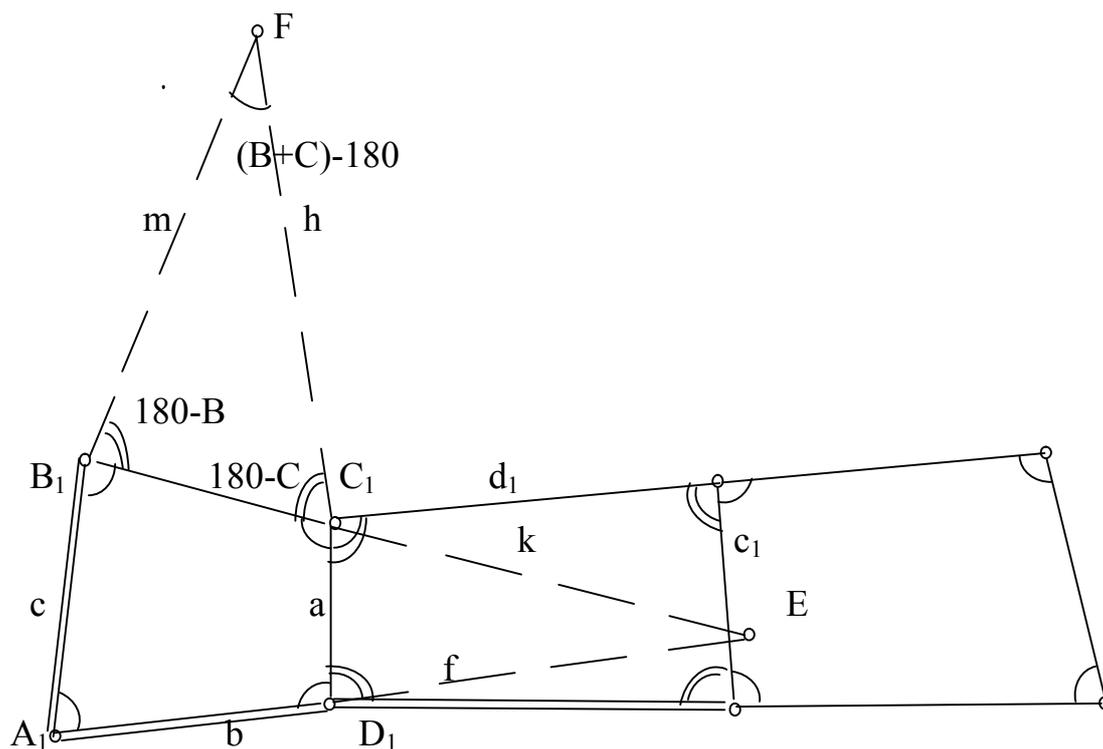


Рисунок 34 – Схема построения четырехугольника без диагоналей

$$\frac{AF}{\sin D} = \frac{b}{\sin(B+C-180)} = \frac{b}{-\sin(B+C)}$$

$$AF = c + m$$

$$\frac{m}{\sin(180-C)} = \frac{d}{-\sin(B+C)}; \frac{m}{\sin C} = \frac{d}{-\sin(B+C)}$$

$$c + \frac{d \sin C}{-\sin(B+C)} = \frac{b}{\sin D}$$

$$\frac{-c \sin(B+C) + d \sin C}{\sin D} = b$$

$$-c \sin(B+C) + d \sin C = b \sin D$$

$$d = \frac{b \sin D + c \sin(B+C)}{\sin C}$$

Аналогично вычисляем а:

$$\frac{AE}{\sin D} = \frac{c}{\sin(A+B-180)} = \frac{c}{\sin(A+B)} = -\frac{c}{\sin(C+D)}$$

$$AE = b + f$$

$$\frac{f}{\sin c} = \frac{d}{-\sin(C+D)}$$

$$b + \frac{a \sin C}{-\sin(C+D)} = \frac{c}{-\sin(C+D)}$$

$$-\frac{b \sin(C+D) + a \sin C}{\sin B} = c$$

$$a = \frac{c \sin B + b \sin(C+D)}{\sin C}$$

Длины сторон вычисляют по формулам:

$$a = \frac{c \times \sin B + b \times \sin(D+C)}{\sin C}$$

$$d = \frac{b \times \sin D + c \times \sin(B+C)}{\sin C}$$

Вывод:

Значительно сокращается объем измерений при построении цепей и сетей из четырехугольников. Так, для вычисления сторон цепи четырехугольников, в которых измерены все углы, достаточно в каждом четырехугольнике, кроме начального, измерять только одну сторону, а в качестве второй использовать вычисленную из предыдущего четырехугольника. То есть в цепи из n четырехугольников достаточно измерить $(n+1)$ сторон (рис.35).

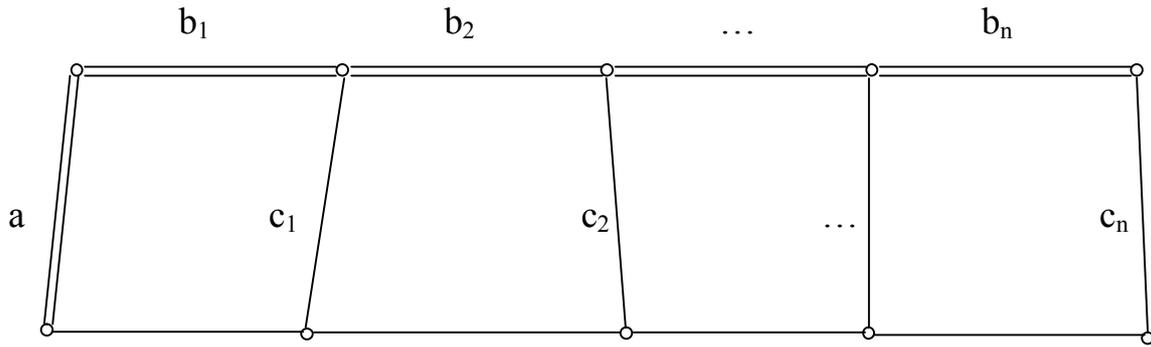


Рисунок 35 - Цепь без диагональных четырехугольников

1.1.3.5. Геодезические засечки с параллактическими углами

Для развития обоснования на застроенной территории можно применять геодезические засечки А.И. Дурнева с параллактическими углами.

В этом способе линия хода располагается по одну сторону проезда, вспомогательные пункты М и N в виде двух визирных целей на одном штативе - по другую. Одна из целей центрируется над центром вспомогательного пункта М, другая (N) служит лишь для контроля передачи масштаба сети и повышения точности измерений, и на местности не закрепляется.

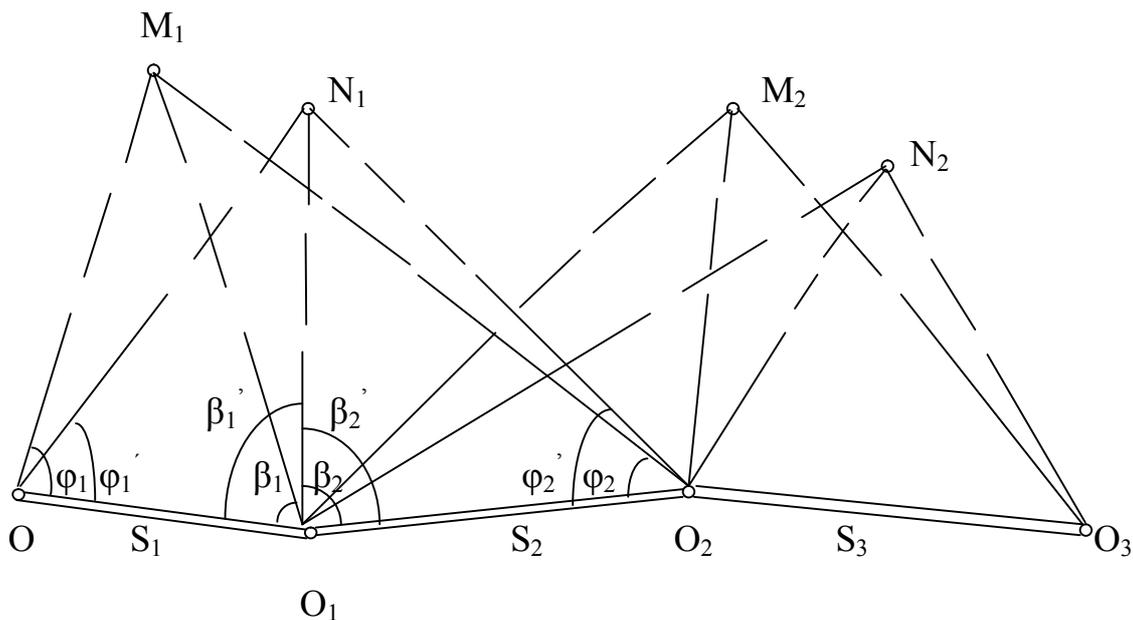


Рисунок 36 – Схема геодезической засечки с параллактическими углами

$$S_2 = S_1 \frac{\sin \varphi_1 \sin(\varphi_2 + \beta_2)}{\sin(\varphi_1 + \beta_1) \sin \varphi_2}$$

$$S'_2 = S_1 \frac{\sin \varphi'_1 \sin(\varphi'_2 + \beta'_2)}{\sin(\varphi'_1 + \beta'_1) \sin \varphi'_2}$$

Из вычисленных значений S_2 и S'_2 выбирают среднее.

Так как точки М и N расположены очень близко, то можно принять $\varphi_1 \approx \varphi'_1$, $\varphi_2 \approx \varphi'_2$, $\beta_1 \approx \beta'_1$, $\beta_2 \approx \beta'_2$. Параллактические углы φ измеряются со средней квадратической ошибкой $\pm 0,7-1,5''$, а углы β - с точностью определения углов 1 и 2 разрядов полигонометрии ($\pm 5-10''$).

1.1.4. Геодезическая строительная сетка

1.1.4.1. Назначение строительной сетки и ее точность

Геодезические строительные сетки - основной вид сетей, положение пунктов которых задается при проектировании генерального плана, а затем с требуемой точностью выносятся на местность.

Строительной геодезической сеткой называют разбивочную сеть, построенную из квадратов или прямоугольников, вершины которых закреплены постоянными знаками, а стороны параллельны осям строительной системы координат (основным осям сооружений). Точность построения строительной сетки должна обеспечивать разбивку основных осей сооружений и исполнительную съемщику построенных объектов.

Строительные сетки - основной вид разбивочных сетей при промышленном строительстве.

Их основное достоинство заключается в следующем:

- Строительную сетку проектируют при составлении генерального плана будущего сооружения, а затем переносят на местность в соответствии с проектом.

- Поскольку взаимное расположение пунктов строительной сетки и будущих объектов известно заранее, еще до построения сетки на местности можно выполнить всю аналитическую подготовку для выноса проекта в натуру, что в свою очередь позволяет начинать разбивочные работы сразу же после построения сетки.

Основным методом разбивки при такой конфигурации сетки (параллельность сторон основным осям сооружений) является способ прямоугольных координат, как наиболее простой. Для этого способа наиболее проста, по сравнению с другими, и аналитическая подготовка разбивочных работ. Поэтому, если из-за каких-то препятствий на местности некоторые линии сетки нельзя закрепить в соответствии с проектом, их перемещают параллельно проектному положению, сразу же внося коррективы в разбивочные чертежи.

Проектировщики и строители предпочитают сетку квадратов, как наиболее простую для составления разбивочных чертежей. С точки зрения длительной сохранности сетки иногда выгодна сетка прямоугольников, внутри которых вписываются основные сооружения. Наиболее распространены сетки квадратов со стороной 200 м; для предприятий с большим числом коммуникаций иногда строят сетки со стороной 100 м. Весьма целесообразно создавать наряду с типовыми проектами предприятий и типовые схемы строительных сеток. В ряде случаев рационально делать строительную сетку разной густоты и конфигурации. Например, для участка первой очереди - сетку прямоугольников, максимально увязанную с генпланом; на площадке второй очереди, для которой окончательный вариант проектного генплана еще не составлен, - сетку квадратов; на площадке технологически не связанных подсобных сооружений - сетку квадратов или прямоугольников со значительно большими длинами сторон.

При расчете точности измерений для разбивки строительной сетки следует исходить из того, что она должна, во-первых, обеспечить разбивку основных осей сооружений и, во-вторых, служить основой для съемки исполнительного генерального плана.

Для разбивки основных осей сооружений важно выдержать высокую точность взаимного расположения соседних пунктов сетки.

В литературе делалось множество попыток обосновать точность построения строительных сеток в зависимости от шага колонн, точности монтажа и изготовления конструкций или в зависимости от класса сооружения и технологии разбивочных работ.

Приведем средние квадратические ошибки измерений, допускаемые СНиП, для построения геодезической разбивочной основы.

Таблица 6

Характеристика объектов	Углы	Стороны	Превышение мм
Предприятия и группы зданий и сооружений на участках более 100 га. Отдельно стоящие здания и сооружения с площадью застройки более 100 тыс. квадратных метров	5"	1/50 000	2
Предприятия и группы зданий и сооружений на участках до 100 га. Отдельно стоящие здания и сооружения с площадью застройки от 10 до 100 тыс. квадратных метров	10"	1/15 000	2
Здания и сооружения с площадью застройки до 10 тыс. квадратных метров	20"	1/5 000	3

Расчет точности построения строительной сетки геодезисты должны выполнять совместно с проектировщиками, учитывая междолевые связи, коммуникации, автоматические линии и т. п. Кроме того, построение строительной сетки можно разделить на секции, разбиваемые с разной точностью:

с более высокой точностью - для основных сооружений и ниже - для складских и вспомогательных.

1.1.4.2. Проектирование строительной сетки

Строительную сетку вновь создаваемого предприятия проектируют на его генеральном плане. Предварительно выбрав длину стороны, сетку вычерчивают на кальке в масштабе генплана. После этого, наложив кальку на генплан, сохраняя параллельность сторон основным осям сооружений, смещают ее так, чтобы минимальное число пунктов попало в зону земляных работ. Этот вариант принимают за окончательный, который переносят на генплан.

Поскольку при этом методе неизбежно какая-то часть пунктов попадает на здания, сооружения или в зону земляных работ, их сразу отмечают, чтобы не закреплять постоянными знаками при построении сетки на местности.

Если же строительная сетка создается для расширения или реконструкции существующего предприятия, ее проект должен быть увязан с уже существующей строительной сеткой или заменяющим ее планово-высотным обоснованием. Если старые пункты не сохранились, сетку увязывают с основными осями построенных сооружений.

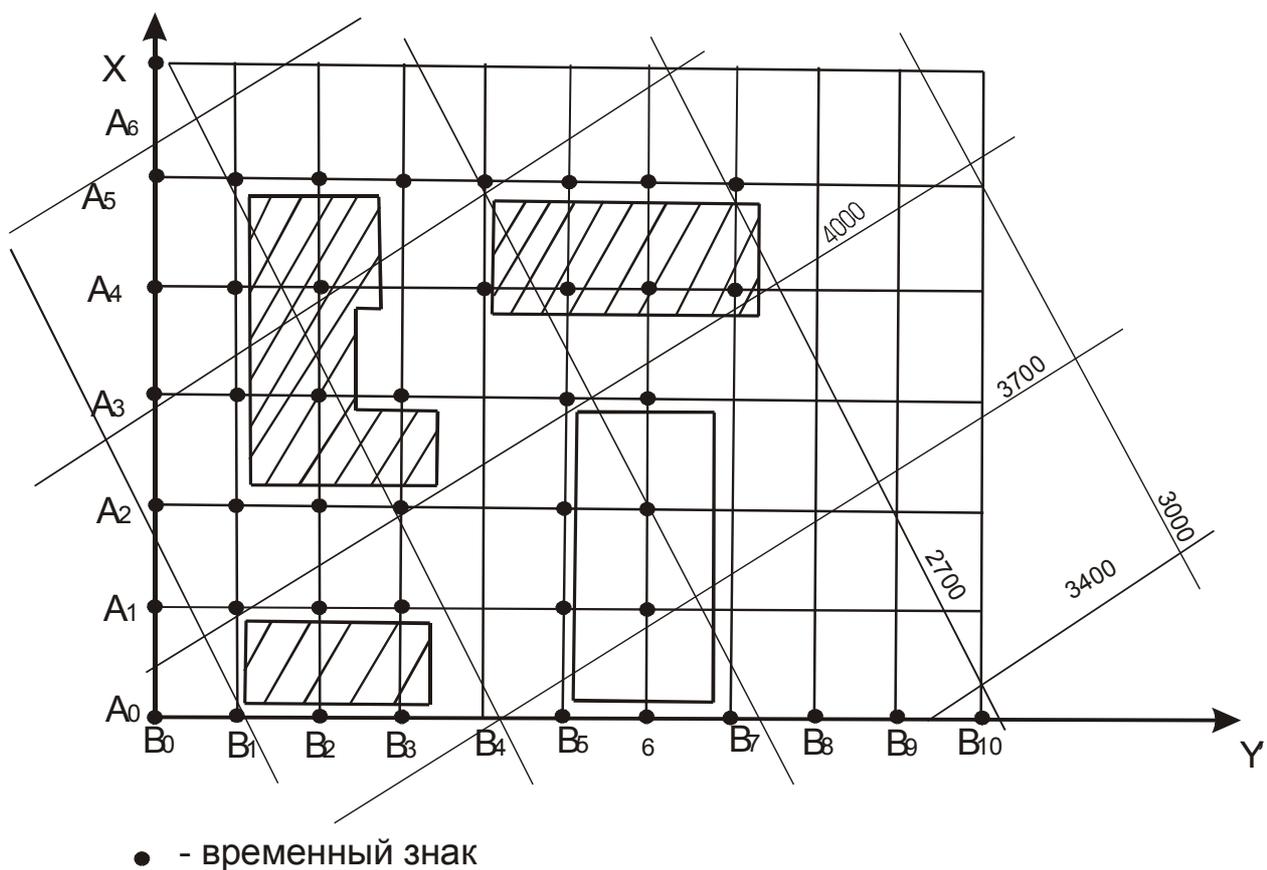


Рисунок 37 - Строительная сетка

Одному из углов сетки присваивают начальные координаты с таким расчетом, чтобы в пределах промышленной площадки, с учетом ее расширения, не иметь отрицательных значений координат. Эти начальные координаты делают кратными длине стороны сетки. При возможности, весьма желательно совмещать начальный пункт с имеющимся на площадке пунктом триангуляции или полигонометрии, что облегчит в дальнейшем переход от системы координат строительной сетки к общегосударственной или местной.

Пунктам строительной сетки присваивают порядковые номера. Довольно удобна и распространена система, при которой обозначение каждого пункта складывается из букв А и В с индексами, причем индекс при букве А показывает число сотен метров по оси абсцисс, а при букве В - по оси ординат (рис. 37).

Так, пункт $A_6 B_8$ имеет координаты $x=600$ м и $y=800$ м.

При создании строительной сетки расширяющегося предприятия обозначения пунктов и их координаты увязывают с существующей системой.

Одновременно с составлением проекта готовят данные для его переноса в натуру.

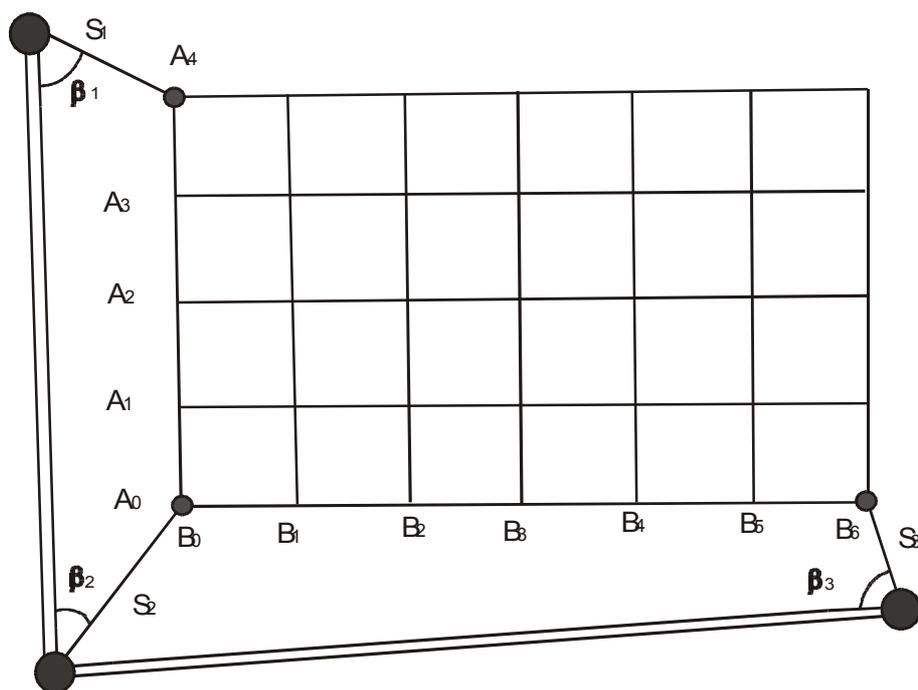


Рисунок 38 - Вынос строительной сетки в натуру

С этой целью намечают исходное направление, от которого затем будет разбиваться вся сетка. Поскольку построению сетки предшествуют изыскательские и съемочные работы, для выноса исходного направления используют пункты их планового обоснования. Наметив два пункта сетки A_0B_0 и A_5B_0 , составляющие исходное направление $A_0B_0 - A_5B_0$ (рис. 38), определяют их координаты графически с плана и, решив обратные геодезические задачи, находят расстояния S_1 и S_2 и дирекционные углы, по которым вычисляют полярные углы β_1 и β_2 . Это обеспечивает вынос пунктов A_0B_0 и A_5B_0 в натуру.

Во избежание грубых ошибок намечают 3-ю точку A_0B_6 . После их выноса и закрепления на местности, измеряют теодолитом угол, составленный этими двумя направлениями, по отклонению которого от 90° судят о точности работ. Точки A_0B_0 , A_5B_0 и A_0B_6 могут располагаться на одной линии. В этом случае контролируют их расположение в одном створе.

При отсутствии пунктов планового обоснования графически определяют элементы для выноса исходных направлений от четких местных контуров. В этом случае контроль особенно важен.

Поскольку координаты точек A_0B_0 , A_5B_0 и A_0B_6 определяют с плана графически, точность их выноса в натуру может составлять 0,2 - 0,3 мм в масштабе плана. Однако это не внесет искажений, ибо на эту величину однозначно сдвинется весь комплекс проектируемого сооружения. Только нужно не допускать грубых ошибок, так как при сложном рельефе значительный сдвиг всей промышленной площадки может привести к изменению первоначального проекта вертикальной планировки.

Иначе обстоит дело с выносом в натуру строительной сетки расширяющегося или реконструируемого предприятия, при котором смещение проектируемой части относительно существующей недопустимо. В этом случае строительную сетку следует разбивать, как продолжение прежней. Если знаки старой сетки не сохранились, следует восстановить на местности оси основных существующих цехов и агрегатов, с которыми технологически связаны вновь создаваемые, и уже от них, как от исходных направлений, разбивать строительную сетку. Поскольку из-за ошибок строительных и геодезических работ между восстановленными осями может не в полной мере соблюдаться соответствие (параллельность или перпендикулярность), то для нахождения оптимального положения продольных и поперечных осей может быть применен принцип наименьших квадратов.

1.1.4.3. Способы детальной разбивки строительной сетки

От вынесенного и закрепленного в натуре исходного направления и выполняют разбивку всей строительной сетки. Для этого используют один из двух основных способов: осевой способ и способ редуцирования

1.1.4.3.1. Осевой способ

При осевом способе (иногда его называют способом точного построения элементов) сетку сразу строят на местности с расчетной точностью путем точного отложения проектных элементов. Найденные точки тут же закрепляют постоянными знаками. Выполнив затем между центрами этих знаков точные угловые и линейные измерения, определяют их фактические координаты. Вследствие накопления ошибок они могут оказаться не кратными длинам сторон сетки. С целью корректирования к головке знака приваривают стальную пластинку 10x10 или 15x15 см. Однако и в этом случае, при больших размерах площадки, даже сдвинув центр к краю пластинки, можно не добиться получения проектных координат, что сведет на нет все достоинства строительной сетки. Поэтому применение осевого способа ограничено. В то же время он обладает тем достоинством, что все пункты сетки сразу же закрепляются постоянными знаками. Рассмотрим технику применения этого способа.

При разбивке строительной сетки этим способом стремятся вынести два взаимно перпендикулярных начальных направления АВ и АС, пересекающихся примерно в середине площадки (рис.39).

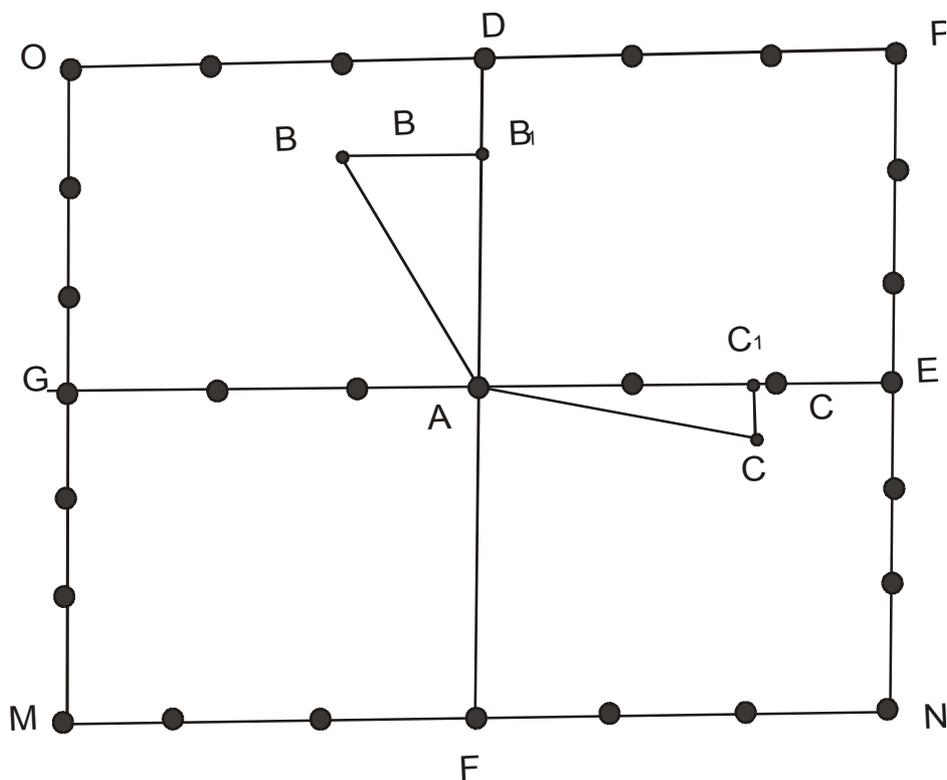


Рисунок 39 - Разбивка строительной сетки осевым способом

Поскольку точки А, В и С выносят на основании графических данных, угол ВАС может значительно отличаться от прямого. Его измеряют 2 - 3 приемами теодолитом типа Т2 и определяют отклонение от прямого:

$$\Delta\beta = 90^\circ - \beta,$$

где β - измеренное значение угла.

После этого вычисляют поправки в положение точек В и С:

$$\Delta b = S_{AB} \frac{\Delta\beta}{\Delta\rho} ; \quad \Delta c = S_{AC} \frac{\Delta\beta}{\Delta\rho},$$

причем расстояния S_{AB} и S_{AC} достаточно знать с точностью до метра. Сместив точки В и С на вычисленные поправки, получают две взаимно перпендикулярные оси АВ и АС (отсюда и название способа). Вдоль этих осей откладывают в створе по теодолиту отрезки, равные принятым длинам сторон сетки.

Измерения выполняют точными приборами с учетом всех поправок (метеоусловия, компарирование, наклон). Для этой цели можно использовать компарированные ленты с измерением по кольям или точные оптически дальнометры. Весьма эффективны электронные тахеометры, снабженные

микропроцессорами, позволяющие быстро вычислять горизонтальные проложения с учетом всех поправок. Закончив разбивку по осям в точках D, E, F и G, строят на них прямые углы и продолжают разбивку по периметру сетки. Вследствие накопления ошибок на стыках линий периметра в точках M, N, O и P будут образовываться невязки. Их величины характеризуют точность работ. Для ослабления ошибок разбивки перемещают несколько точек, ближайших к угловым. После этого временные знаки по всему периметру заменяют постоянными. Затем, по створам между соответствующими точками периметра и осей разбивают и закрепляют все внутренние точки в полигонах ADPE, AENF, AFMG и AGOD.

Для определения окончательных координат выполняют точные измерения, для чего прокладывают полигонометрические ходы, либо используют другие методы.

Применение осевого способа имеет смысл на небольших площадках или там, где точность разбивочных работ невелика и отступлением координат пунктов от проектных значений в пределах 3 - 5 см можно пренебрегать.

Для проектирования и выполнения разбивочных работ удобнее иметь такую сетку, координаты пунктов которой практически не отличаются от проектных, чего можно достичь при построении ее способом редуцирования.

Поскольку способ редуцирования получил наиболее широкое распространение при разбивке строительных сеток вообще, а на больших промышленных площадках исключительно он и используется, дальнейшее рассмотрение строительных сеток в основном на него и ориентировано, хотя основные схемы построения и математической обработки сетей могут быть использованы и при применении осевого способа.

1.1.4.3.2. Способ редуцирования

При способе редуцирования сетку вначале выносят в натуру с точностью теодолитного хода и закрепляют временными знаками: деревянными столбами с

гвоздем в торце, обозначающим центр; металлическими штырями или трубками на бетоне с накерненными центрами. Затем производят точные измерения, по результатам которых определяют фактическое положение временных пунктов. Из решения обратных задач между проектными и фактическими координатами пункта определяют данные для его смещения (редуцирования) в проектное положение. Найденную точку закрепляют постоянным знаком.

Рассмотрим технику редуцирования. Пусть пункту строительной сетки $A_{12}B_6$ соответствует временный пункт 27, для которого определены координаты $x=1199,032$ и $y=601,114$ (рис. 40).

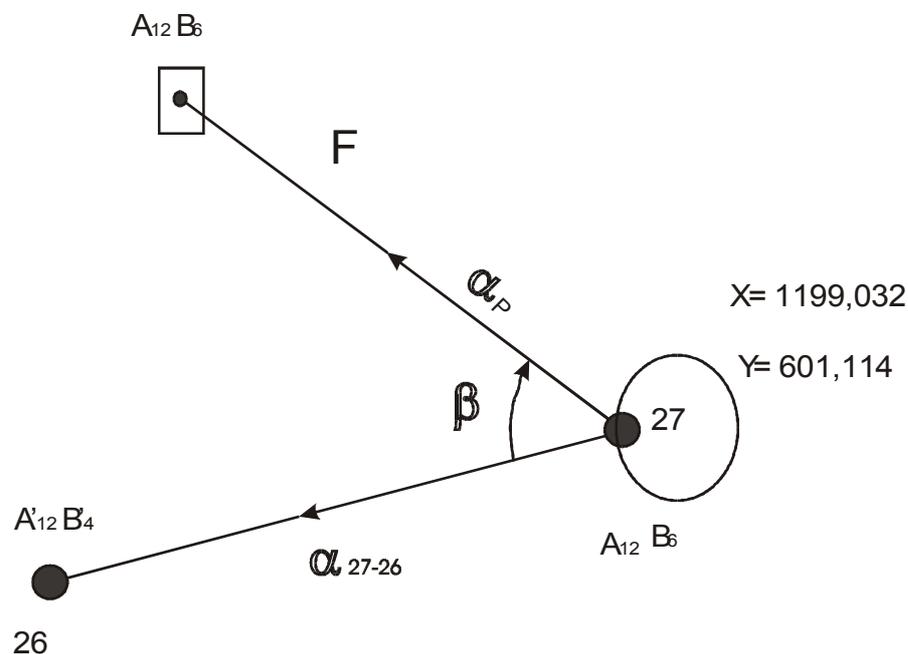


Рисунок 40 – Техника редуцирования

Дирекционный угол на смежный временный пункт 26- $270^{\circ} 43'18''$. Из решения обратной задачи находим дирекционный угол редуки и ее линейный элемент:

$$\alpha_p = \arctg \frac{-1,114}{+0,968} = 310^{\circ} 59' 19'';$$

$$S = \sqrt{1,114^2 + 0,968^2} = 1,476 \text{ м,}$$

а затем угловой элемент редуки:

$$\beta = 310^\circ 59' 19'' - 270^\circ 43' 18'' = 40^\circ 16' 01''.$$

Установив теодолит в точке 27, ориентируют его по линии 27-26 и откладывают от нее угол β . По полученному направлению от точки 27 откладывают линейный элемент редукции S и закрепляют найденную точку кольшком. Для контроля, установив на горизонтальном круге отсчет, равный дирекционному углу α_{27-26} , открепляют лимб и визируют на точку 26. Закрепив лимб и открепив алидаду, устанавливают на горизонтальном круге отсчет, равный дирекционному углу редукции α_p . Перекрестие сетки нитей должно проектироваться на торец закрепленного кольшка. Для контроля S по рулетке отсчитывают несколько раз, смещая ее между отсчетами.

Окончательное положение отредуцированной точки закрепляют на торце кольшка гвоздиком. При отложении линейного элемента редукции, в случае необходимости, вводят поправку за наклон со знаком плюс по формуле:

$$\Delta h = h^2 / (2S),$$

где h - превышение между временным и постоянным знаком.

Если временный знак сдвинут незначительно или редуцирование выполняется непосредственно на головке знака, то, зафиксировав на горизонтальном круге теодолита направление с временного знака на постоянный, натягивают от центра временного знака в коллимационной плоскости теодолита струну или леску, фиксирующую это направление на местности, и вдоль нее откладывают линейный элемент редукции.

Редуцирование - сравнительно простая операция, но чрезвычайно ответственная, так как ошибки приводят к неправильной установке постоянных знаков. Поэтому, лишь отредуцировав несколько знаков и проконтролировав их расположение в створе (или под прямыми углами), переходят к установке постоянных знаков. Для этого поступают следующим образом.

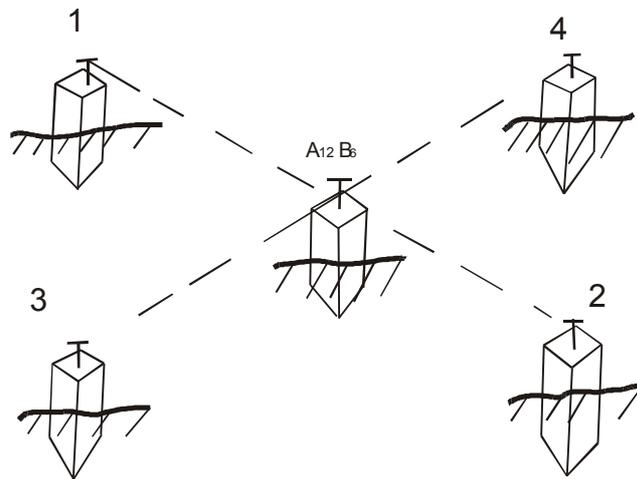


Рисунок 41 – Схема установки постоянных знаков

Кольшками 1 - 2 и 3 - 4 с гвоздиками в центрах торцов закрепляют два взаимно перпендикулярных створа, пересекающихся над точкой $A_{12}B_6$ (рис. 41). После этого роют шурф или бурят скважину для постоянного знака. Установив его, натягивают между гвоздиками в торцах кольев струну или леску. Под пересечением створов 1 - 2 и 3 - 4 устанавливают центр постоянного знака. После бетонирования или трамбовки земли знаку дают несколько дней устояться (в случае бетонирования до полного схватывания бетона). Затем повторяют редуцирование и кернят центр пункта.

Способ редуцирования является основным при построении больших строительных сеток. Но он имеет существенный недостаток - до установки постоянных знаков возникает опасность повреждения временных, а постоянные знаки можно устанавливать только после того, как выполнены точные измерения, уравнены их результаты и вычислены элементы редукции. Поэтому работу нужно организовывать так, чтобы свести к минимуму разрыв во времени между установкой временных и постоянных знаков. Этого можно достигнуть, лишь быстро выполнив точные измерения и уравнив их результаты.

1.1.4.4. Методы определения координат пунктов строительной сетки

Строительные сетки характеризуются большим объемом измерений и установки постоянных знаков на ограниченных территориях. Геодезических сети

обычно имеют двух- или трехразрядное (трех стадийное или трехступенчатое) построение. И в том, и в другом случае выделяют каркасные сети, служащие основой сетки, и заполняющие, используемые для определения координат основной массы пунктов.

Основой каркаса больших строительных сеток обычно служит триангуляция, с крайними пунктами которой совмещают углы сетки (а с внутренними - ее пункты). При трехразрядном построении сетки следующий этап сгущения каркаса - полигонометрия 1-го порядка, прокладываемая между пунктами триангуляции по периметру сетки или образующая систему полигонов. При двухразрядном построении триангуляцию не строят, создавая каркас в виде замкнутого полигона или системы полигонов полигонометрии 1-го порядка.

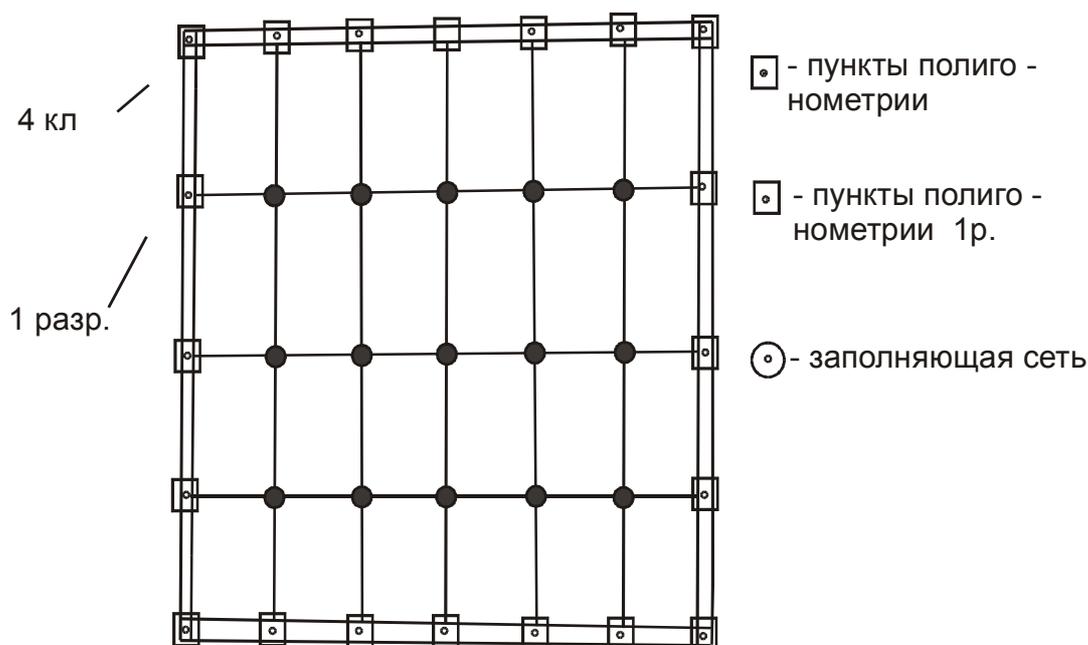


Рисунок 42 - Схема создания геодезического обоснования

Каркас заполняют сетями 2-го порядка, охватывающими все пункты сетки внутри него.

Таким образом, выделяют три ступени геодезических построений (рис. 42):

1. - по каркасу сетки строится полигонометрия или триангуляция 4 класса, длина сторон принимается равной 1-2 км;

2. - по периметру между пунктами 4 класса прокладывают полигонометрические ходы 1 разряда;

3. - заполняющая сеть, в которой для определения координат вершин строительной сетки применяют четырехугольники без диагоналей, микротриангуляцию, микротрилатерацию, линейные и створные засечки и др.

При трехразрядном построении основой для заполняющих сетей 2-го порядка служит полигонометрия 1-го порядка, опирающаяся на триангуляцию; при двухразрядном - основой служит полигон каркасной полигонометрии 1-го порядка, проложенный по периметру сетки или сеть, делящая сетку на отдельные полигоны.

Триангуляцию строят на промышленных площадках больших размеров сразу на всю территорию предприятия с учетом расширения. Сгущение же ее полигонометрией 1-го порядка целесообразно выполнять для каждой очереди строительства в отдельности. В этом случае будет обеспечена сохранность знаков и в то же время создана единая основа для всей сетки в целом.

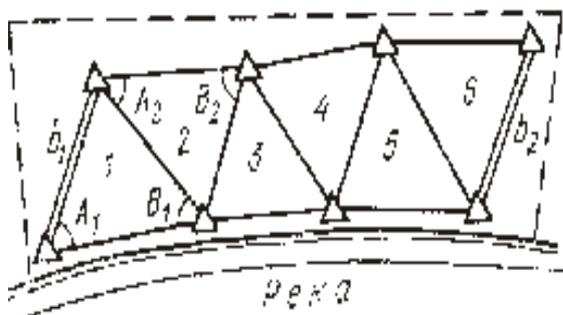
Обычно триангуляция строительной сетки представляет собой геодезический четырехугольник (на открытых площадках) или центральную систему (если в центре площадки холм или водораздел), реже небольшую систему из двух-трех четырехугольников, центральных систем или их сочетаний с треугольниками. Стороны триангуляции, измеряемые в качестве базисов, стремятся точно совместить со сторонами периметра сетки. В этом случае, закрепив в створе базиса точки временными знаками, фиксирующими отрезки, равные длинам сторон квадратов или прямоугольников, можно одновременно с измерением базисов определять и длины сторон полигонометрии 1-го порядка. При использовании для измерения базисов светодальномеров в этом случае целесообразно измерение расстояний в комбинациях.

Для того, чтобы пунктам каркасной сети была обеспечена длительная сохранность, рекомендуется проектировать сетку таким образом, чтобы пункты, расположенные по ее периметру, находились за пределами строительства, но

желательно на расстоянии не более 200 - 300 м от его границ. В этом случае каркасная сеть будет служить основой для восстановления сетки при уничтожении отдельных пунктов в процессе строительства и сгущения планового обоснования исполнительных съемок.

Триангуляция строится из одной фигуры или сочетания нескольких фигур (геодезические четырехугольники, центральные системы), в зависимости от местных условий, размеров и конфигурации площадки (рис. 43).

а) Ряд триангуляции



б) Сдвоенные ряды триангуляции

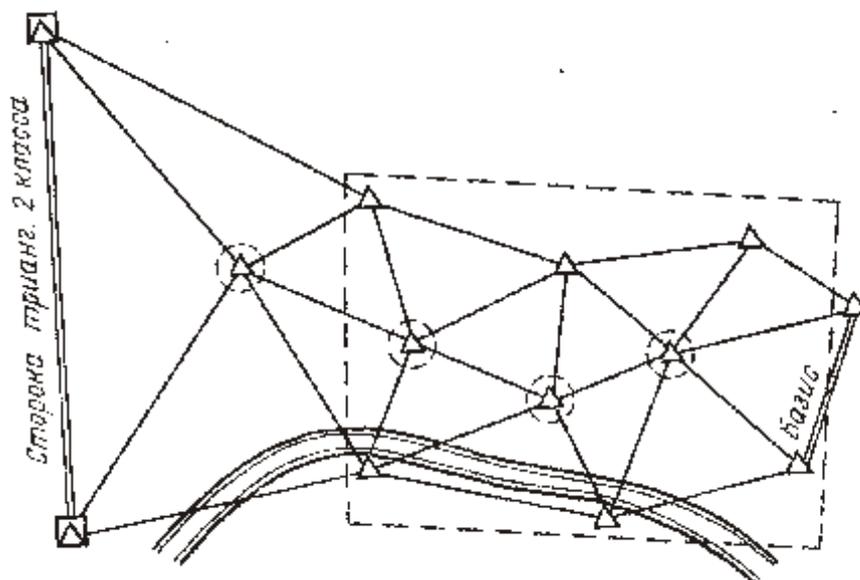


Рисунок 43- Схема развития сетей триангуляции

В сети триангуляции намечают не менее двух базисов, в качестве которых обычно измеряют непосредственно стороны сети. При этом, пункты, закрепляющие базисные стороны, стремятся строго совмещать со сторонами сетки. В этом случае, при измерении базиса, в качестве створных точек определяют положение расположенных на нем пунктов сетки.

В зависимости от принятой при проектировании системы координат одному из пунктов триангуляции присваиваются начальные координаты, а одной из ее сторон - начальный дирекционный угол.

При обработке триангуляции базисы вычисляют на плоскости (поправки за приведение к проекции Гаусса и уровню референц-эллипсоида не вводят).

Расчет точности измерений в триангуляции выполняют по проекту сети, составленному с использованием полученного при изысканиях картографического материала.

Полигонометрия 1-го порядка представляет собой систему вытянутых ходов (для сеток из квадратов или одинаковых прямоугольников, стороны ходов равны между собой). Отличительной чертой таких ходов являются короткие стороны (в среднем около 200 м), что приводит к большому числу сторон в ходе, а следовательно, требует повышения точности угловых измерений. Поэтому, если полигонометрия представляет систему полигонов, рекомендуется осуществить передачу дирекционных углов на узловых точках. Здесь также может быть использован способ измерения в комбинациях.

Полигонометрию 1-го порядка прокладывают между пунктами триангуляции или строят в виде самостоятельных систем.

Исходя из средней ошибки положения пункта полигонометрии 1-го порядка $\pm 2,7$ см, получим среднюю ошибку в конце хода $\pm 5,4$ см и предельную ± 10 см. При длине хода между пунктами триангуляции 2-3 км - это составит 1:20 000 - 1:30 000, что соответствует полигонометрии 4-го класса. Однако измерения (особенно угловые) следует выполнять с особой тщательностью, так как

наименьшая длина стороны в полигонометрии 4-го класса - 250 м, а в строительной сетке, как правило, все стороны в среднем равны 200 м.

Поскольку стороны каркаса служат базисами для тригонометрических сетей 2-го порядка, точность в измерениях должна быть в 1,5-2 раза выше точности определения сторон этих сетей.

Сети второго порядка требуют большого объема полевых работ, часто в весьма неблагоприятных условиях. Строиться они могут в виде ходов полигонометрии между пунктами каркаса или заменяющих их тригонометрических построений (микротриангуляции, геодезических засечек, четырехугольников без диагоналей).

Специфическая форма этих сетей, обусловленная построением их по заранее установленным временным пунктам, приводит, к образованию вытянутых ходов с равными сторонами, цепочек, равнобедренных прямоугольных треугольников и т. п. В последние годы широкое применение для построения сетей 2-го порядка получили микротриангуляция, метод геодезических засечек и четырехугольников без диагоналей.

В случае, когда местные условия препятствуют постановке угловых измерений, но позволяют организовать линейные с использованием светодальномеров, для построения сетей 2-го порядка можно использовать микротрилатерацию или линейные геодезические засечки.

Переход от более простой полигонометрии к сетям микротриангуляции, геодезических засечек, четырехугольников без диагоналей, микротрилатерации и линейных геодезических засечек объясняется тем, что для строительных сеток особо важно надлежащим образом выдержать точность во взаимном расположении пунктов по направлениям осей строительной системы координат. С этой точки зрения система из параллельных ходов полигонометрии 2-го порядка не является лучшей, ибо в середине хода могут быть значительные взаимные сдвиги. Цепочки микротриангуляции и микротрилатерации связывают воедино по два ряда, а цепочки угловых и линейных геодезических засечек - по три ряда пунктов сетки. Иногда их удается запроектировать таким образом, что

технологически связанные группы сооружений располагаются в пределах цепочки.

Наиболее рациональной с точки зрения построения сетки является сеть четырехугольников без диагоналей, повторяющая конфигурацию сетки и создающая взаимную связь между пунктами по всем направлениям вдоль осей строительной системы координат. Однако, с точки зрения сохранности пунктов, этот способ может привести к увеличению разрыва между постановкой временных и постоянных знаков, ибо для вычисления элементов редукции нужно построить и уравнять всю сеть целиком. Кроме того, иногда может оказаться целесообразным, по мере проведения вертикальной планировки, строить сети 2-го порядка, чтобы быстрее начинать разбивочные работы. Цепочки позволяют решать вопрос оперативнее, чем сплошные сети. Анализ отечественного опыта показывает, что для создания сетей 2-го порядка особо эффективны метод четырехугольников без диагоналей и метод геодезических засечек.

1.1.4.5. Оценка точности построения строительной сетки

При расчете точности строительной сетки следует исходить из того, что она должна, во-первых, обеспечить разбивку основных осей сооружения; во-вторых - служить основой для исполнительной съемки. В связи с этим, предъявляются следующие требования к точности построения строительной сетки:

) чтобы обеспечить разбивку основных осей - ошибки во взаимном положении соседних пунктов в заполняющей сети не должны превышать 1:10 000; если сторона принята равной $S=200$ м, то ошибка должна быть < 20 мм;

) если строительная сетка используется в качестве основы для исполнительной съемки, то важно выдержать необходимую точность общего

расположения пунктов; предельные ошибки положения пунктов строительной сетки относительно исходных не должны превышать 0,2 мм в масштабе плана (при М 1:500 $t=10$ см).

Произведем расчет точности построения строительной сетки.

Если сторона сетки $S=200$ м, при двух стадийном построении сетки, для ошибки взаимного планового положения двух смежных пунктов будем иметь:

$$M_{B3} = 20 \text{ мм},$$

$$M_{B3} = \sqrt{m_I^2 + m_{II}^2}.$$

Примем коэффициент понижения точности 2, тогда:

$$m_I = \frac{m_{II}}{2} \Rightarrow M_{B3} = \sqrt{\left(\frac{m_{II}}{2}\right)^2 + m_{II}^2} = m_{II} \sqrt{1,25} = 20 \text{ мм};$$

$$m_{II} = \frac{20}{\sqrt{1,25}} \approx \pm 18 \text{ мм};$$

$$m_I = \frac{m_{II}}{2} = \pm 9 \text{ мм}.$$

Допустимая СКО взаимного положения пунктов в заполняющей сети ± 18 мм, а в каркасной - ± 9 мм. Тогда:

$$m_I = \sqrt{m_{SI}^2 + \left(\frac{m_{\alpha I}}{\rho}\right)^2 S^2} \leq 9 \text{ мм};$$

$$m_{II} = \sqrt{m_{SII}^2 + \left(\frac{m_{\alpha II}}{\rho}\right)^2 S^2} \leq 18 \text{ мм},$$

где m_{SI} , m_{SII} - СКО определения длин сторон сетей I и II порядка;

$m_{\alpha I}$, $m_{\alpha II}$ - СКО определения дирекционного угла в сетях I и II порядков.

$m_S^2 + m_\alpha^2 = m^2$, пусть $m_S = m_\alpha = m$, тогда:

$$m_S = \frac{m}{\sqrt{2}}, \quad m_\alpha = \frac{m \times \rho}{S \sqrt{2}}.$$

Отсюда:

$$m_{SI} = \frac{9}{\sqrt{2}} = 6,4 \text{ мм} \approx 5 \text{ мм}$$

$$m_{SII} = \frac{18}{\sqrt{2}} = 12,8 \text{ мм} \approx 10 \text{ мм}$$

$$m_{\text{сд}} = \frac{206265 \times 9}{200000 \times \sqrt{2}} \approx 6'' \approx 5''$$

$$m_{\text{сдл}} = \frac{206265 \times 18}{200000 \times \sqrt{2}} \approx 13,2'' \approx 10''$$

Это допустимые СКО для сетки, которая будет использована для выноса осей зданий.

Для сетки, которая будет использована для исполнительной съемки:

$$m_I^2 + m_{II}^2 = 5 \text{ см}^2,$$

принимая коэффициент понижения точности $k=1,5$, тогда:

$$m_I = \frac{m_{II}}{1,5} \Rightarrow m_{II} = 4,1 \text{ см}$$

$$m_I = 2,7 \text{ см.}$$

Для расчета точности используется формула СКО в конце хода для одиночного хода светодальномерной полигонометрии:

$$M^2 = m_s^2 \cdot n \cdot \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + \frac{n+3}{12} \cdot L^2 \text{ — для вытянутого хода}$$

$$M^2 = m_s^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot [D_{\text{цт}}^2] \text{ — для изогнутого хода}$$

где n - число сторон хода;

$[D_{\text{цт}}^2]$ - сумма квадратов расстояний от центра тяжести до текущих точек.

Так как $m_I=27$ мм в наиболее слабом месте (в середине хода), тогда:

$$M \leq 2m_I \leq 5,2 \text{ мм.}$$

Для полигонометрии требуется выполнение этого условия, что достигается следующим путем:

- повышают точность угловых и линейных измерений;
- при неизменных m_β и m_s общий ход по периметру разбивают на несколько ходов (полигонов);
- увеличивают длину сторон сетки.

1.1.4.6. Контрольные измерения строительной сетки

Контрольные измерения предназначены для проверки правильности редуцирования и получения данных о качестве построенной строительной сетки.

Вначале выполняют контрольные угловые измерения, охватывающие всю сетку. Если на отдельных пунктах обнаруживаются ошибки, выходящие за пределы принятых при построении строительной сетки допусков, выполняют повторное редуцирование или дополнительные измерения с целью обнаружения промахов. Контрольные угловые измерения выполняют на пунктах, расположенных в шахматном порядке (рис. 44), с таким расчетом, чтобы охватить все пункты сетки. Для ускорения работы рекомендуется измерять углы одновременно двумя теодолитами, используя общие визирные цели. По величинам отклонения значений углов от проектных судят о качестве построения сетки.

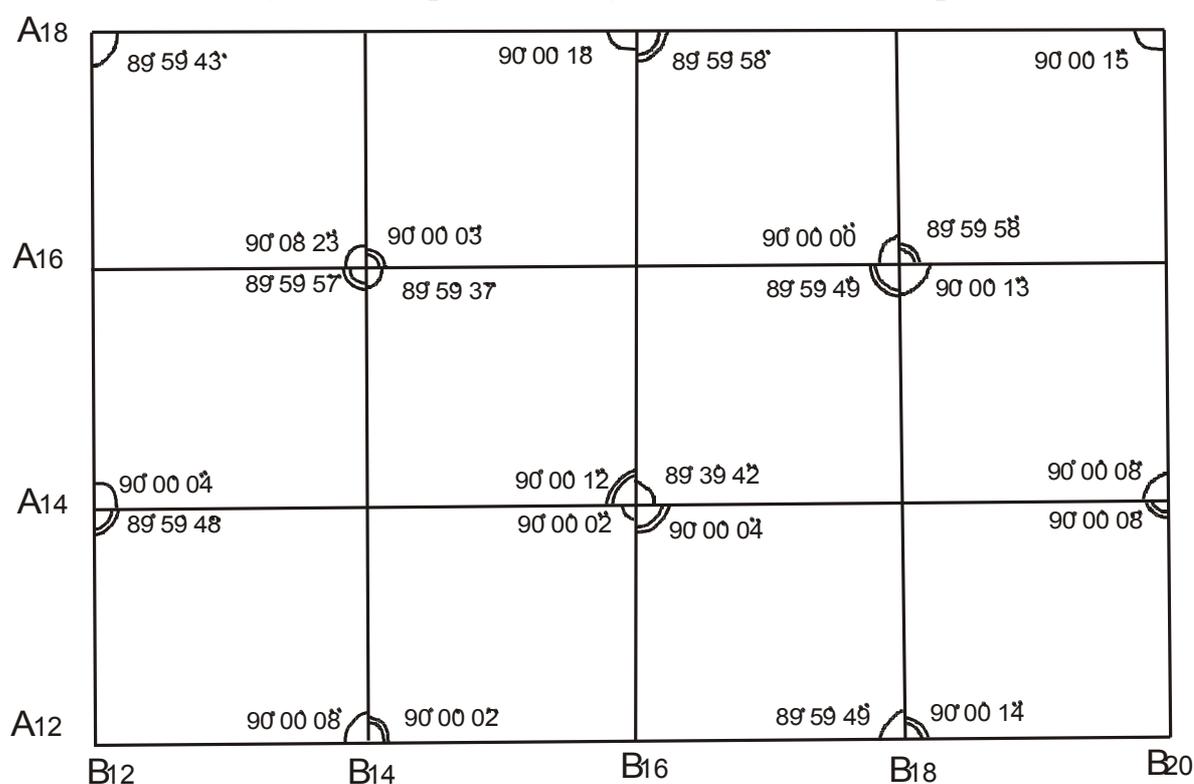


Рисунок 44 - Угловые контрольные измерения в строительной сетке

Естественно, что при этом целесообразно получить данные о линейных величинах отклонения наблюдаемых точек от линий, на которых они расположены. Принимая, что пункты 1, 2, 3 и 4 (рис. 45), между которыми расположен пункт 5, определены безошибочно и соединяющие их линии 1 - 3 и 2

- 4 пересекаются под прямым углом, можно определить линейные смещения a и b этих точек от створов по формулам:

$$a = \frac{S_1 \cdot S_2}{S_1 + S_2} \cdot \frac{\delta_A}{\rho}; \quad b = \frac{S_3 \cdot S_4}{S_3 + S_4} \cdot \frac{\delta_B}{\rho},$$

которые для сетки квадратов при $S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = S$ принимают вид:

$$a = \frac{S}{2 \cdot \rho} \cdot \delta_A; \quad b = \frac{S}{2 \cdot \rho} \cdot \delta_B.$$

В этих формулах:

$$\delta_A = 180^\circ - (\beta_2 + \beta_3);$$

$$\delta_B = 180^\circ - (\beta_3 + \beta_4).$$

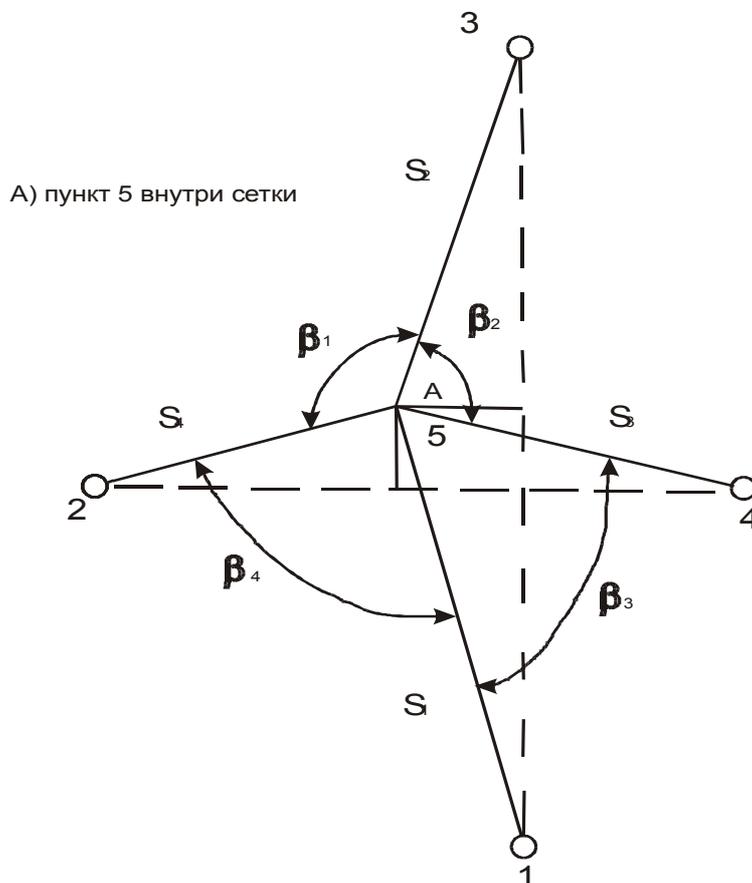


Рисунок 45 – Схема определения величин отклонений в положении пунктов строительной сетки

б) пункт 5 на временном контуре сетки

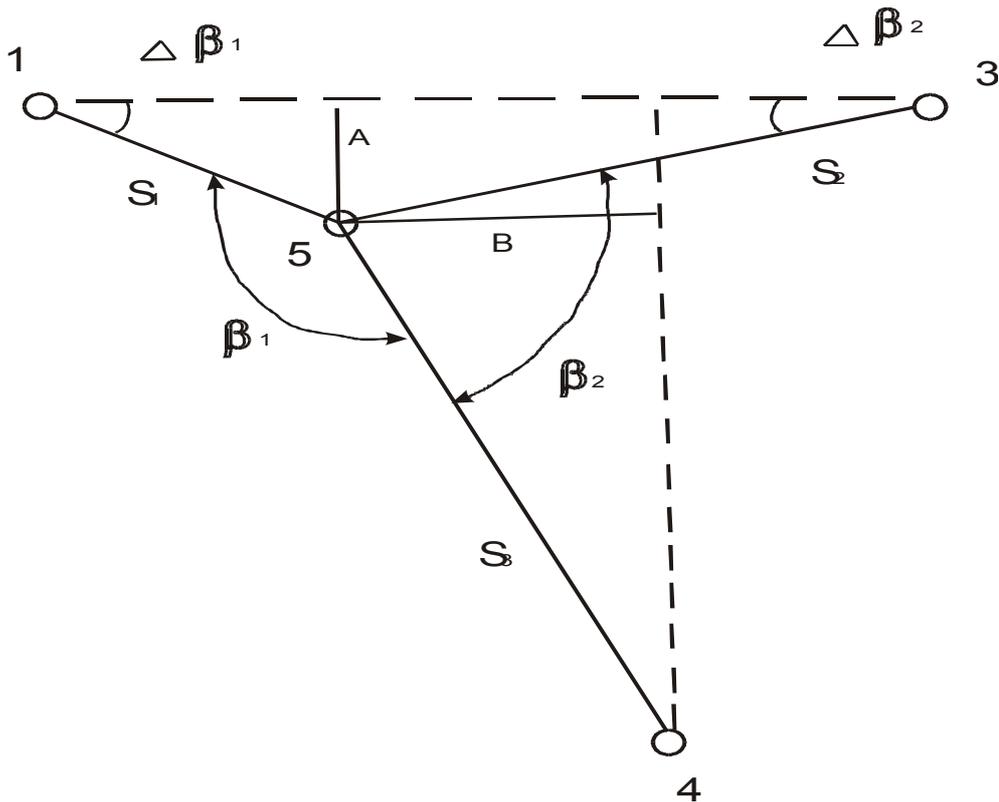


Рисунок 46 - Схема определения величин отклонений в положении пунктов строительной сетки

При расположении точки на внешнем контуре сетки (рис. 46) находят смещение \$a\$ перпендикулярно к периметру, а смещение \$b\$ вдоль периметра - из выражения:

$$b = S_3 \cdot \frac{\delta\beta}{\rho},$$

причем величину \$\delta\beta\$ находят по формулам:

$$\delta\beta = |90^\circ - (\beta_1 \pm \Delta\beta_1)|$$

$$\Delta\beta_{(1)2} = (a/S_{(1)2}) \cdot \rho$$

В последней формуле в скобках знак "плюс" принимают при \$\beta_1 + \beta_2 < 180^\circ\$, а знак "минус" - \$\beta_1 + \beta_2 \geq 180^\circ\$.

Рассмотрим пример. Для пункта \$A_{16} B_{14}\$ (см. рис. 45) строительной сетки со стороной квадрата \$S=200\$ м имеем:

$$\beta_1 = 90^\circ 00'23''; \beta_2 = 90^\circ 00'03''; \beta_3 = 89^\circ 59'37''; \beta_4 = 89^\circ 59'57''.$$

Согласно формулам, приведенным выше:

$$\delta_A = 180^\circ - 179^\circ 59' 40'' = 20''; \quad \delta_B = 180^\circ - 179^\circ 59' 34'' = 26''.$$

Затем определяем линейные смещения:

$$b = \frac{S}{2 \cdot \rho} \cdot \delta_B = 12,6 \text{ мм};$$

Для расположенного на внешнем контуре сетки пункта $A_{18} B_{16}$ имеем $\beta_1 = 90^\circ 00' 19''$; $\beta_2 = 89^\circ 59' 57''$. По значению $\delta_A = 16''$ находим $a = 7,7$ мм. Затем определяем:

$$\Delta\beta = 206265 \cdot 7,7 / 200\,000 = 8'';$$

$$\delta\beta = |90^\circ - (\beta_1 \pm \Delta\beta_1)| = |90^\circ - (90^\circ 00' 19'' - 8'')| = 11'';$$

$$b = S_3 \cdot \frac{\delta_\beta}{\rho} = 10,6 \text{ мм}.$$

На особо ответственных объектах можно выполнять сплошной контроль построения сетки путем проложения азимутальных ходов. В этом случае между проконтролированными пунктами каркаса прокладывают ходы по линиям сетки, параллельным осям абсцисс и ординат, причем измеряют в них только углы поворота, а затем вычисляют дирекционные углы. Абсциссы вычисляют по ходам, параллельным оси ординат, ординаты - по ходам, параллельным оси абсцисс.

При использовании светодальномеров можно измерять в ходах только линии, образуя продольные линейные ходы, вытянутые вдоль оси ординат, и поперечные, вытянутые вдоль оси абсцисс. Стороны поперечных ходов в этом случае являются приращениями абсцисс, а стороны продольных ходов - приращениями ординат.

Оба способа могут быть использованы и для построения сетей 2-го порядка на небольших площадках, а также для сгущения и восстановления строительных сеток.

1.1.4.7. Перевычисление координат

Для увязки строительной сетки с соседними объектами перевычисляют ее координаты в государственную или местную систему, используя формулы:

$$X = a + x \cdot v \cdot \cos\theta - y \cdot v \cdot \sin\theta ;$$

$$Y = b + x \cdot v \cdot \sin\theta + y \cdot v \cdot \cos\theta ,$$

где X, Y - координаты пункта в государственной или местной системе;

x, y - координаты того же пункта в системе строительной сетки;

a, b - координаты условного начала в государственной (или местной) системе;

v - коэффициент изменения масштаба сети в связи с редуцированием на плоскость в проекции Гаусса и приведением к поверхности эллипсоида Красовского;

θ - разность дирекционных углов соответствующих направлений в государственной и строительной системах координат.

Для перевычисления достаточно знать координаты двух пунктов в той и другой системе. Однако, для контроля желательно иметь три пункта. Зная координаты двух пунктов X_1, X_2, Y_1, Y_2 в государственной системе и x_1, x_2, y_1, y_2 в строительной, элементы формул находят из выражений:

$$v \cdot \sin\theta = \frac{(x_1 - x_2) \cdot (Y_1 - Y_2) - (y_1 - y_2) \cdot (X_1 - X_2)}{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} ;$$

$$v \cdot \cos\theta = \frac{(x_1 - x_2) \cdot (X_1 - X_2) - (y_1 - y_2) \cdot (Y_1 - Y_2)}{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} ;$$

$$a = X_1 - x_1 \cdot \cos\theta + y_1 \cdot v \cdot \sin\theta ;$$

$$b = Y_1 - x_1 \cdot v \cdot \sin\theta - y_1 \cdot v \cdot \cos\theta .$$

В случае необходимости осуществляют переход от координат пунктов в государственной системе к координатам в строительной системе по формулам:

$$x = (X - a) \cdot \cos\theta / v - (y - b) \cdot \sin\theta / v ;$$

$$y = (X - a) \cdot \sin\theta / v + (y - b) \cdot \cos\theta / v .$$

Причем, величины $\cos\theta/v$ и $\sin\theta/v$ находят по известным значениям $v \cdot \cos\theta$ и $v \cdot \sin\theta$:

$$\frac{\sin\theta}{v} = \frac{v \cdot \sin\theta}{(v \cdot \sin\theta)^2 + (v \cdot \cos\theta)^2} ;$$

$$\frac{\cos\theta}{v} = \frac{v \cdot \cos\theta}{(v \cdot \sin\theta)^2 + (v \cdot \cos\theta)^2} ;$$

или вычисляют по формулам:

$$\frac{\sin \theta}{v} = \frac{(x_1 - x_2) \cdot (Y_1 - Y_2) - (y_1 - y_2) \cdot (X_1 - X_2)}{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2};$$

$$\frac{\cos \theta}{v} = \frac{(x_1 - x_2) \cdot (X_1 - X_2) - (y_1 - y_2) \cdot (Y_1 - Y_2)}{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}.$$

Для упрощения вычислений целесообразно при возможности совмещать начало координат строительной сетки с пунктом, координаты которого известны в государственной (местной) системе, и измерять с него примычный угол на смежный пункт государственной геодезической сети. Пункты, используемые для перевычисления координат, целесообразно располагать на одной линии сетки, так как в этом случае в формулах, служащих для нахождения $v \cdot \cos \theta$ и $v \cdot \sin \theta$, обращаются в нуль по одному члену в числителе и знаменателе.

1.1.4.8. Определение высот пунктов строительной сетки

Строительная сетка промышленных площадок служит высотной основой выноса в натуру проекта сооружения и производства исполнительных съемок. При установке точек по высоте в процессе монтажных работ горизонт инструмента должен (для контроля) определяться не менее чем от двух реперов, причем расхождение не должно превышать 3 - 4 мм, поэтому точности взаимного определения высот соседних реперов в среднем не должна превышать ± 2 мм. Из исследований было выявлено, что при такой точности высоты пунктов строительной сетки должны быть определены из нивелирования III класса.

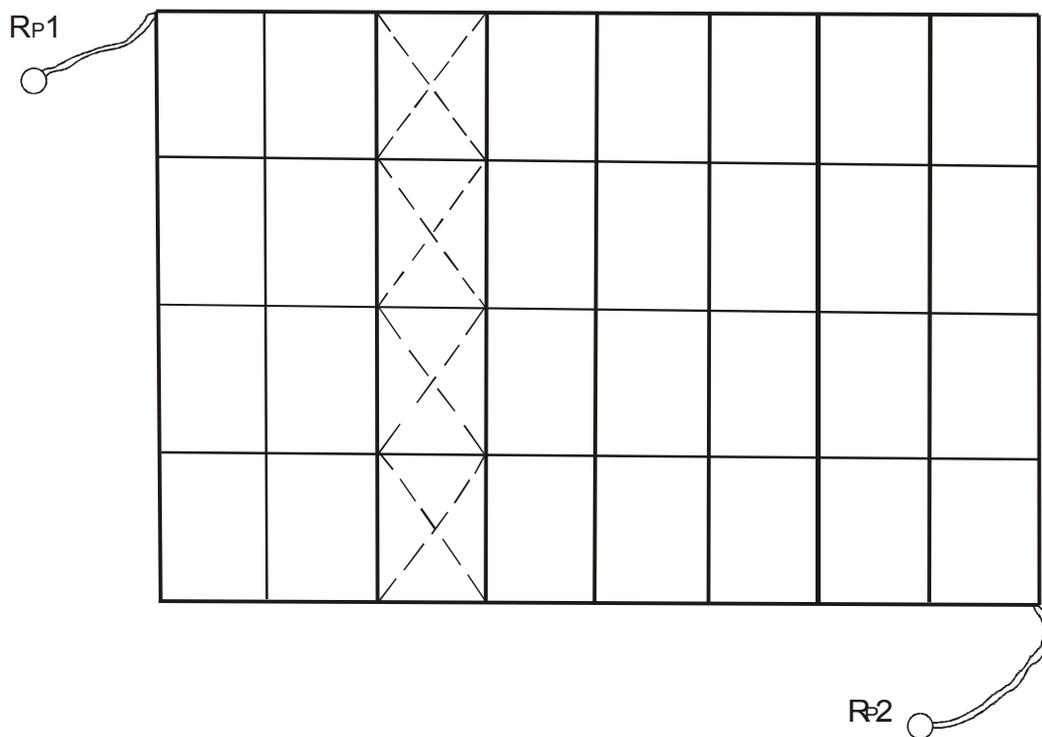


Рисунок 47 - Высотное обоснование строительной сетки

Как правило, нивелировку прокладывают по контуру строительной сетки, а затем делят на полигоны ходами, параллельными одной из осей строительной системы координат (выбирают более короткие стороны). На рис.47 двойными линиями показано расположение нивелирных ходов III класса на строительной сетке. Для обеспечения увязки высотной сети с соседними объектами осуществляют привязку строительной сетки не менее чем к двум реперам государственной нивелирной сети (на рис. 4. это Rp1 и Rp2). Однако чтобы не вносить в жесткую разбивочную сеть ошибок исходных данных, ее отметки вычисляют только от одного репера, а второй служит для контроля.

Поскольку при нивелировании III класса нормальная длина визирного луча составляет 75м, при построении сеток с длинами сторон квадратов 100 м можно повысить производительность труда, располагая станции на пересечении диагоналей квадратов. Передвигаясь по этим точкам $I_1, I_2, I_3 \dots$ (см. рис.47), можно одновременно нивелировать два хода.

Нивелировку уравнивают обычно по способу полигонов. На больших сетках для математической обработки нивелирования может оказаться целесообразным использование ЭВМ.

1.1.4.9. Методы построения сетей второго порядка

1.1.4.9.1. Полигонометрия

Полигонометрию 2-го порядка строят в виде вытянутых ходов (в случае сетки из одинаковых прямоугольников или квадратов - с равными сторонами), опирающихся на пункты полигонометрии 1-го порядка и прокладываемых по кратчайшему расстоянию между ними. Недостатком полигонометрии является отсутствие взаимной связи между соседними ходами. Поэтому, учитывая важность обеспечения достаточной точности взаимного положения соседних пунктов, следует несколько завышать точность измерений по сравнению с получаемой из расчетов на допуски разбивочных работ и исполнительных съемок. Это относится и к любым другим методам, при применении которых пункты внутри каркаса получают из отдельных взаимно не связанных построений.

Исходя из полученной средней квадратической ошибки ± 4.1 см положения пункта, находящегося в середине хода 2-го порядка, получим средний линейный сдвиг в конце хода ± 9 см, и предельно допустимую абсолютную невязку хода ± 18 см. При длине хода $l = 1,5$ км это приведет к предельной относительной невязке хода $1: 6\ 000 - 1: 10\ 000$. Учитывая сказанное выше, не следует прокладывать ходы 2-го порядка с предельной относительной ошибкой более $1: 10\ 000$.

Поскольку сети 2-го порядка служат для определения координат основной массы пунктов строительной сетки, при построении которой одинаково нежелательны деформации как в продольном, так и в поперечном направлении, расчет необходимой точности измерений в полигонометрии выполняют, исходя из принципа равных влияний продольных и поперечных ошибок, т. е. полагая, что ошибка положения пункта равна:

$$M^2 = m_t^2 + m_u^2,$$

где m_t , m_u - соответственно продольная и поперечная ошибки.

Следует принять:

$$m_t = m_u = M \cdot \sqrt{2}.$$

Сдвиг конечной точки вытянутого хода вычисляют по формулам:

$$m_t = \sqrt{[m_s^2]} ; \quad m_u = \frac{m_B}{\rho} \cdot L \cdot \sqrt{\frac{n+3}{12}} .$$

Средняя квадратическая ошибка в определении положения пункта в середине вытянутого хода полигонометрии между пунктами каркасной полигонометрии, равна:

$$m_c = M/2 \leq 4.1 \text{ мм},$$

где М- ошибка положения пункта в конце хода , она вычисляется для хода АВ по формулам:

$$M^2 = m_s^2 \cdot n \cdot \frac{m_B^2}{\rho^2} + \frac{n+3}{12} \cdot L^2 - \text{для вытянутого хода}$$

$$M^2 = m_s^2 \cdot n + \frac{m_B^2}{\rho^2} \cdot [D_{цт}^2] - \text{для изогнутого хода}$$

где n -число сторон хода;

$[D_{цт}^2]$ - сумма квадратов расстояний от центра тяжести до текущих точек.

Средняя квадратическая ошибка взаимного положения пунктов CD (рис.48):

$$m_{CD} = m_C \cdot \sqrt{2} = M \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \leq 18 \text{ мм}.$$

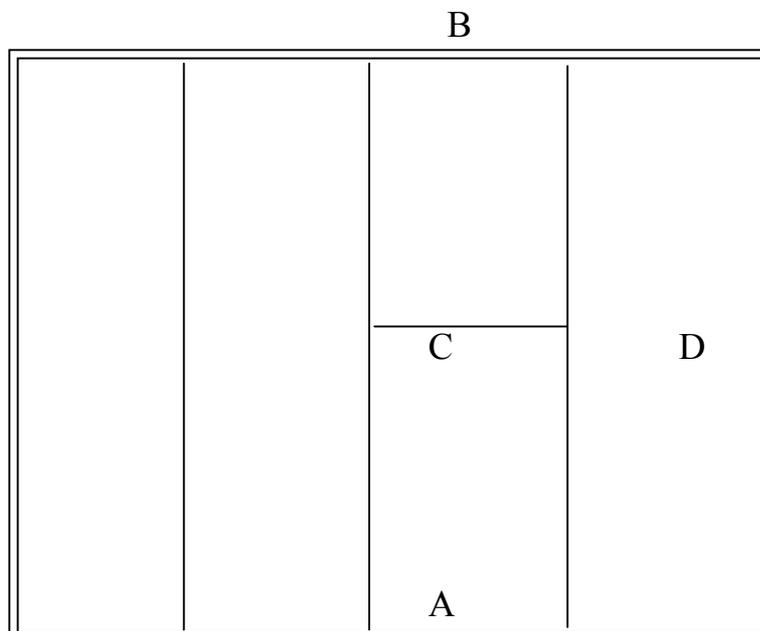


Рисунок 48.

1.1.4.9.2. Метод четырехугольников без диагоналей

Сети четырехугольников без диагоналей, заполняя каркас, создают сплошную сеть (рис.49). Все пункты этой сети взаимно связаны и своей формой эта сеть напоминает строительную сетку. Так как диагональные направления не измеряются, то этот метод с успехом используется на застроенных и залесенных площадках.

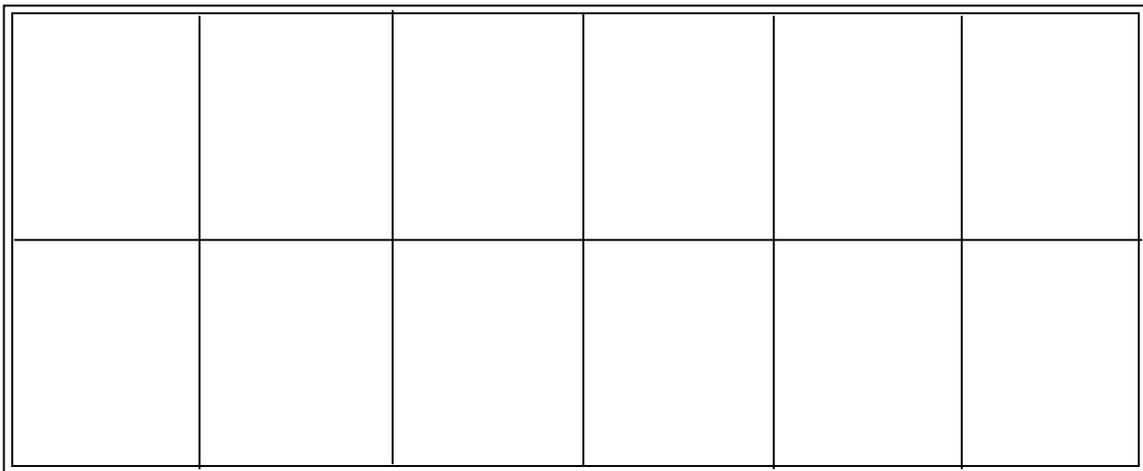


Рисунок 49 – Схема построения четырехугольников без диагоналей

При расчете точности измерений в сети, уравненной между пунктами каркаса, можно использовать таблицу 7.

Таблица 7

Система построения $S_x = S_y$	Q	Q_{Sx}	$Q_{\alpha x}$	Q_{Sy}	$Q_{\alpha y}$
3x3	0,59	0,60	0,41	0,59	0,41
3x4	0,67	0,76	0,41	0,59	0,44
3x5	0,71	0,84	0,41	0,59	0,46
4x3	0,76	0,59	0,44	0,72	0,41
4x4	0,67	0,76	0,45	0,76	0,45
4x5	0,81	0,84	0,45	0,77	0,47
5x3	0,71	0,59	0,46	0,84	0,41
5x4	0,81	0,77	0,47	0,84	0,45
5x5	0,86	0,86	0,47	0,86	0,47

Нормированные обратные веса вычислены для наиболее слабых элементов сети, независимо от конкретной длины ее сторон. При этом приняты следующие обозначения:

Q - корень из нормированного обратного веса положения пункта в самом слабом месте сети;

Q_{Sx} , Q_{Sy} - то же - для длин соответствующих сторон;

$Q_{\alpha x}$, $Q_{\alpha y}$ - то же - для дирекционных углов этих сторон.

Переход к сети с конкретными длинами сторон осуществляется по формулам:

$$m_{\alpha(Sx)} = \frac{m_{S^2}}{K_1 \cdot Q_{Sx}}; \quad m_{\alpha(Sy)} = \frac{m_{S^2}}{K_1 \cdot Q_{Sy}};$$
$$m_{\alpha(\alpha x)} = \frac{m_{\alpha_2}}{Q_{\alpha x}}; \quad m_{\alpha(\alpha y)} = \frac{m_{\alpha_2}}{Q_{\alpha y}};$$

где m_{S^2} и m_{α_2} - требуемая точность длин сторон и дирекционных углов этих сторон.

В заполняющих сетях $m_S=10$ мм, $m_\alpha=10''$.

Из этих четырех значений выбирают минимальное и вычисляют ошибку положения пункта:

$$M_{II} = K_1 \cdot m_{\alpha(\min)} \cdot Q, \quad K_1 = S/\rho'';$$

где S - длина стороны строительной сетки в мм.

1.1.4.9.3. Микротриангуляция

Микротриангуляцию строят для определения координат пунктов строительной сетки из цепочек между исходными сторонами полигонометрии 1-го порядка (рис. 50). В результате получают взаимосвязанные элементы двух рядов пунктов сетки. Недостаток метода заключается в том, что отсутствует взаимная связь между смежными цепочками. Поскольку обычно все цепочки имеют одинаковую протяженность и форму, при составлении проекта достаточно рассчитать требуемую точность измерений один раз.

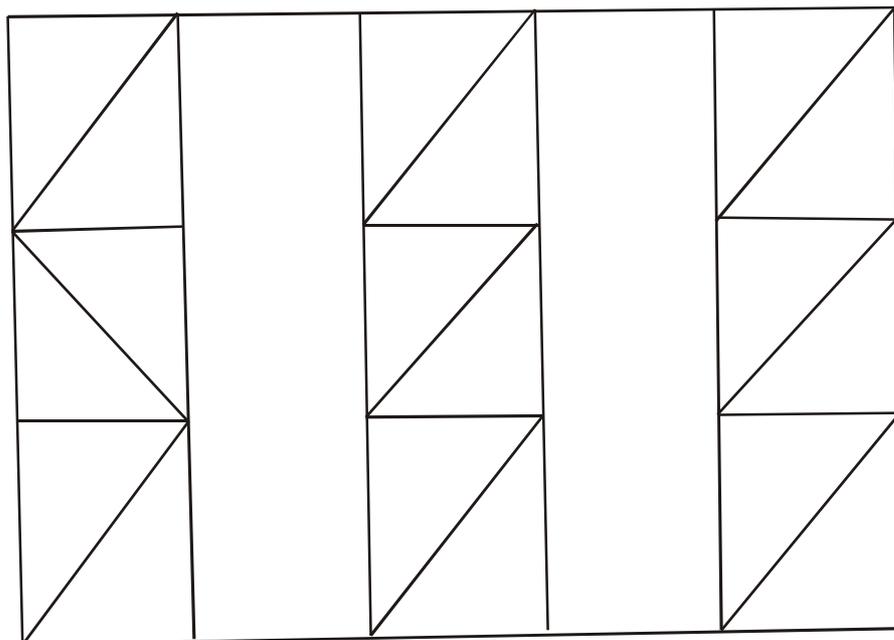


Рисунок 50 – Схема построения цепочек микротриангуляции

Угловые измерения в сети выполняют по трех штативной системе. Для расчета их точности и оценки точности уравненных элементов сети можно использовать табл. 8 (по аналогии с табл. 7).

Таблица 8

Система построения	Число треугольников	Q	Q_{Sx}	$Q_{\alpha x}$	Q_{Sy}	$Q_{\alpha y}$	Q_S	Q_α
$S_x = S_y$	6	1,1	0,94	0,66	0,72	0,61	0,9	1,3
	8	1,5	1,0	0,78	0,80	0,65	1,3	1,7
	10	1,8	1,1	0,82	0,84	0,72	1,6	2,0
$S_x = S_y/2$	6	1,4	1,4	0,66	0,84	1,2	1,0	1,8
	8	1,5	1,5	0,80	1,0	1,3	1,5	2,1
	10	1,6	1,6	0,80	1,1	1,4	1,7	2,4

Примечание: Q_S и Q_α - корни из нормированных обратных весов длины и дирекционного угла стороны между пунктами соседних цепочек в их середине.

Рассмотрим примеры расчета точности сети, принимая, как и в примерах для метода четырехугольников без диагоналей, те же исходные данные.

Пример 1. Число треугольников $n=10$, сетка квадратов $S_1 = S_2=S= 200$ м, $m_{S_2} = \pm 10$ мм, $m_{\alpha_2} = \pm 10''$, $M = \pm 40$ мм, $K_1 = 0.97$.

Для обеспечения требуемой точности определения длин сторон имеем:

$$m_{\alpha(Sx)} = \frac{m_S}{K_1 \cdot Q_{Sx}} = \frac{10}{0,97 \cdot 1,1} = \pm 9,4''; \quad m_{\alpha(Sy)} = \frac{m_S}{K_1 \cdot Q_{Sy}} = \frac{10}{0,97 \cdot 0,84} = \pm 12'';$$

$$m_{\alpha(\alpha x)} = \frac{m_{\alpha}}{Q_{\alpha x}} = \frac{10}{0,82} = \pm 12''; \quad m_{\alpha(\alpha y)} = \frac{m_{\alpha}}{Q_{\alpha y}} = \frac{10}{0,72} = \pm 14'';$$

$$m_{\alpha} = \frac{m_S}{Q_{\alpha}} = \frac{10}{2,0} = \pm 5''; \quad m_S = \frac{m_S}{K_1 \cdot Q_S} = \frac{10}{0,97 \cdot 1,6} = \pm 6,4'';$$

Приняв за окончательный более жесткий допуск $m_{\alpha(\min)} = \pm 5''$ получим ошибку положения пункта:

$$M = K_1 \cdot m_{\alpha(\min)} \cdot Q = 0,97 \cdot 5 \cdot 1,8 = \pm 8,7 \text{ мм.}$$

При уравнивании цепочки микротриангуляции между сторонами полигонометрии 1-го порядка применяют коррелятный способ. Отнеся в первую группу условия фигур и введя первичные поправки путем распределения невязок поровну, для нахождения вторичных поправок решают систему из четырех нормальных уравнений коррелят, соответствующих условиям базиса, дирекционных углов, абсцисс и ординат. Свободные члены этой системы находят по первично исправленным углам.

1.1.4.9.4. Метод геодезических засечек

На открытых площадках сети 2-го порядка могут быть построены методом геодезических засечек. На строительных сетках применяют двух фигурные засечки с двусторонним расположением вспомогательных пунктов. Сеть строят из отдельных цепочек (рис. 51, а, б), что позволяет взаимно увязать по три ряда пунктов и в то же время сократить число станций, на которых ведут измерения, приблизительно в три раза. Иногда создают сплошную сеть

(рис. 52), при которой число станций соответствует примерно половине пунктов сети 2-го порядка, но зато все вершины сетки взаимно увязаны.

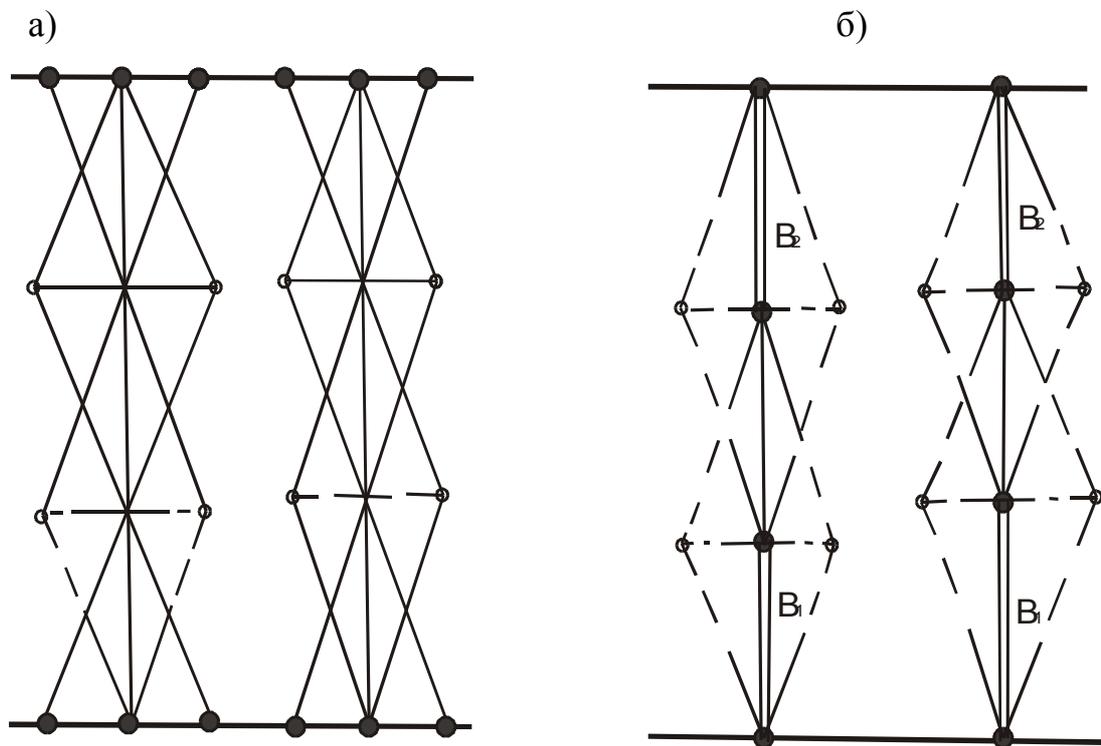


Рисунок 51

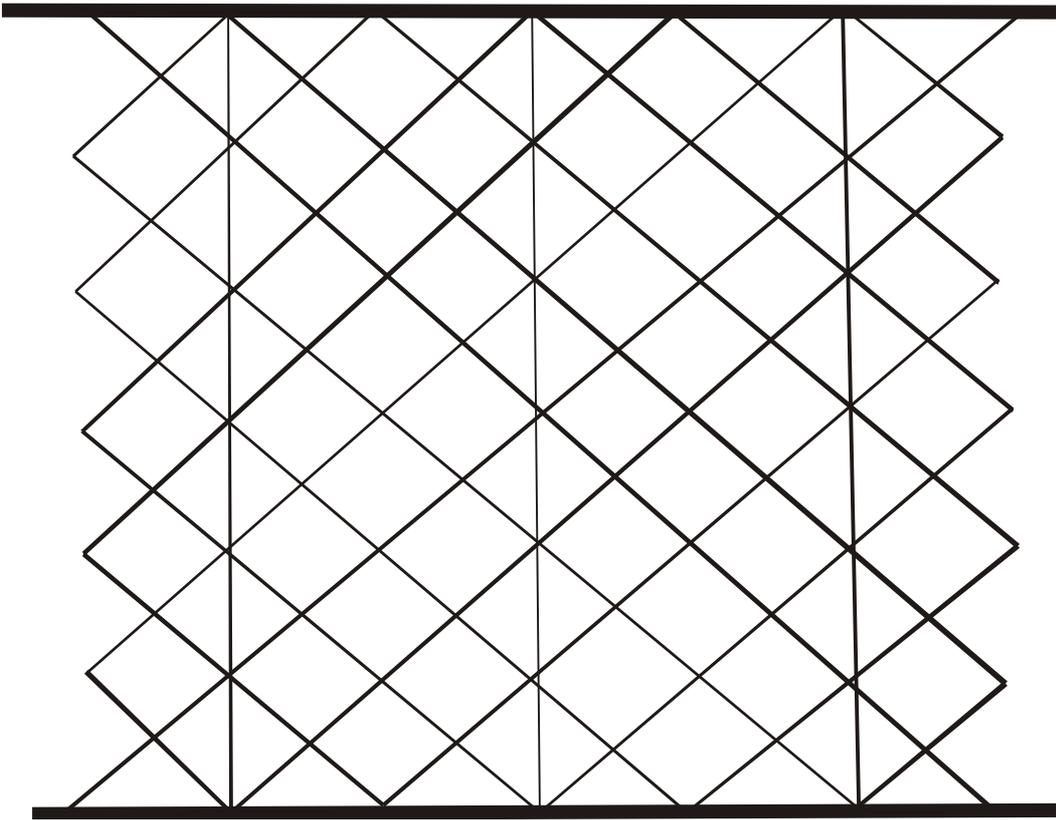


Рисунок 52 – Схема сплошной сети в виде цепочки геодезических засечек

Измерение углов на пунктах ходовой линии должно выполняться с особой тщательностью, так как приходится на каждом пункте наблюдать восемь направлений, что затягивает прием. При плохой видимости рекомендуется разбивать прием на две серии, включая в каждую два направления по ходовой линии и все направления по одну ее сторону.

Обычно переход от сети первого порядка к цепочке засечек осуществляют построением в местах примыкания сплошных треугольников (см. рис. 51, а; рис. 52). Иногда (см. рис. 51,б), измеряют крайние стороны ходовой линии в качестве базисов и передают на них дирекционные углы с пунктов первого порядка. Последний случай может оказаться более эффективным, когда стороны сети первого порядка измеряют светодальномером.

При проектировании сети и оценке точности ее элементов после уравнивания используют формулы:

$$m_{\alpha(Sx)} = \frac{m_S}{K_I \cdot Q_{Sx}}; \quad m_{\alpha(Sy)} = \frac{m_S}{K_I \cdot Q_{Sy}};$$

$$m_{\alpha(ax)} = \frac{m_{\alpha_2}}{Q_{ax}}; \quad m_{\alpha(ay)} = \frac{m_{\alpha_2}}{Q_{ay}};$$

$$m_{\alpha} = \frac{m_S}{Q_{\alpha}}; \quad m_S = \frac{m_S}{K_I \cdot Q_S}$$

и табл. 9 (по аналогии с табл. 7 и 8).

Таблица 3

Система построения	Число пучков засечек	Q	Q _{Sx}	Q _{ax}	Q _{Sy}	Q _{ay}	Q _S	Q _α
S _x = S _y	2	1,89	1,13	2,33	1,51	0,68	2,32	1,32
	3	2,24	1,26	2,45	1,57	0,71	2,58	1,85
	4	2,58	1,36	2,61	1,67	0,76	2,81	2,32
	5	3,12	1,49	2,66	1,71	0,78	3,11	3,16

В таб.9 приведены корни из нормированных обратных весов элементов в наиболее слабом месте сети. При этом S_x - сторона между двумя соседними боковыми пунктами, а S_y - между вспомогательным пунктом и пунктом ходовой линии. Величина Q соответствует боковому пункту, величины Q_S и Q_α - стороне между боковыми пунктами соседних цепочек.

1.1.4.9.5. Микротрилатерация

Использование современных светодальномеров позволяет строить для определения координат пунктов строительных сеток линейные сети взамен угловых или линейно-угловых. Такая замена может быть весьма эффективна при неблагоприятных атмосферных условиях, когда угловые измерения можно производить в небольшие промежутки времени, со спокойной видимостью, в то время как линейные можно вести непрерывно в течение всего рабочего дня.

Микротрилатерацию по аналогии с микротриангуляцией строят в виде цепочек между сторонами полигонометрии 1-го порядка (рис. 53).

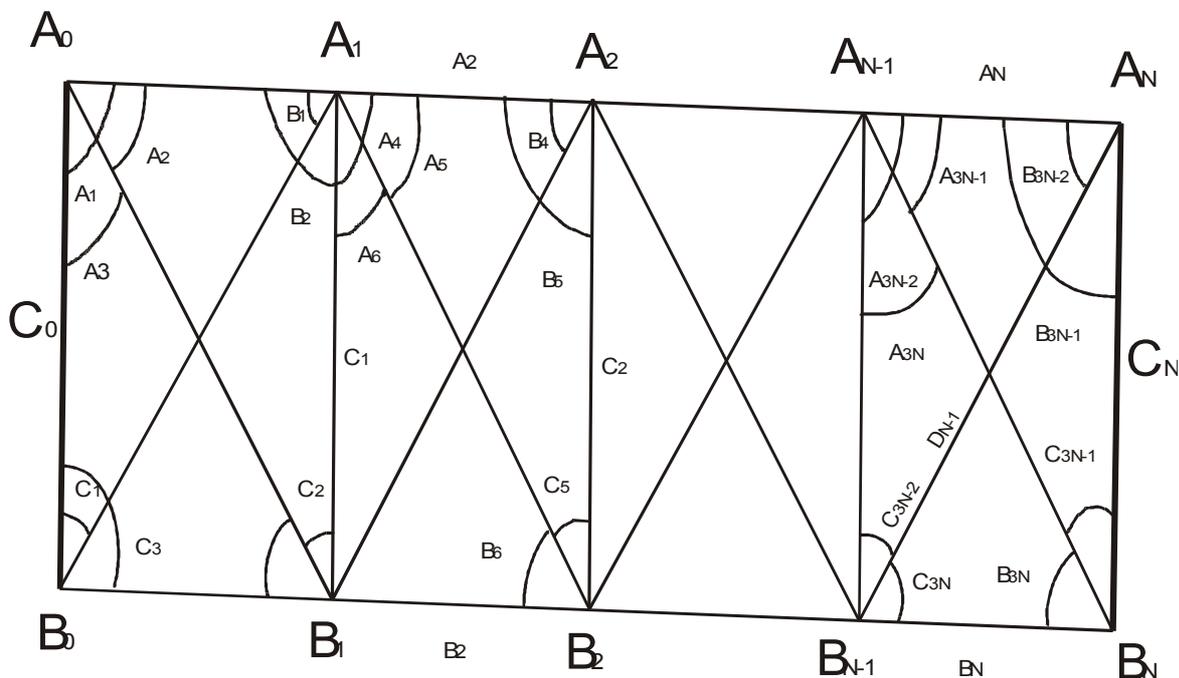


Рисунок 53 – Схема построения сети микротрилатерации

Для расчета точности измерений и оценки уравненных элементов сети в наиболее слабом ее месте можно использовать табл. 10. При этом для линейных сетей используют выражения:

- при оценке точности сторон и координат:

$$m_{S(ax)} = \frac{m_\alpha}{K_2 \cdot Q_{ax}}; \quad m_{S(Sx)} = \frac{m_S}{Q_{Sx}};$$

$$m_{S(ay)} = \frac{m_\alpha}{K_2 \cdot Q_{ay}}; \quad m_{S(Sy)} = \frac{m_S}{Q_{Sy}};$$

$$m_{S(\alpha)} = \frac{m_\alpha}{K_2 \cdot Q_\alpha}; \quad m_{S(S)} = \frac{m_S}{Q_S};$$

$$K_2 = \rho'' / S \text{ (мм)}.$$

Система построения	Число геод. Четырехуг	Q	Q _{Sx}	Q _{αx}	Q _{Sy}	Q _{αy}	Q _S	Q _α
S _x = S _y	2	1,00	0,58	0,82	0,82	0,82	1,15	0,82
	3	1,17	0,75	1,07	0,85	0,87	1,37	0,92
	4	1,50	0,79	1,17	0,87	0,93	1,84	1,09
	5	1,74	0,83	1,22	0,87	0,98	2,17	1,18

Пример. В сетке квадратов число геодезических четырехугольников микротрилатерации N=5, S_x=S_y=200 м.

Для определения стороны сетки со средней квадратической ошибкой ±10 мм и дирекционных углов с точностью ±10" имеем:

$$m_{S(\alpha x)} = \frac{m_{\alpha}}{K_2 \cdot Q_{\alpha x}} = 10/(1,03 \cdot 1,22) = \pm 7,8 \text{ мм}; \quad m_{S(Sx)} = \frac{m_S}{Q_{Sx}} = 10/0,83 = \pm 12 \text{ мм};$$

$$m_{S(\alpha y)} = \frac{m_{\alpha}}{K_2 \cdot Q_{\alpha y}} = 10/(1,03 \cdot 0,98) = \pm 9,9 \text{ мм}; \quad m_{S(Sy)} = \frac{m_S}{Q_{Sy}} = 10/0,87 = \pm 11 \text{ мм};$$

$$m_{S(\alpha)} = \frac{m_{\alpha}}{K_2 \cdot Q_{\alpha}} = 10/(1,03 \cdot 1,18) = \pm 8,2 \text{ мм}; \quad m_{S(S)} = \frac{m_S}{Q_S} = 10/2,17 = \pm 4,6 \text{ мм};$$

$$K_2 = \rho'' / S \text{ (мм)} = 206265 / 200\,000 = 1,03.$$

Принимая за окончательный наиболее жесткий допуск $m_S \min = \pm 4,6$ мм, получаем ошибку положения пункта:

$$M = 4,6 \cdot 1,74 = \pm 8,0 \text{ мм}.$$

1.1.4.9.6. Метод линейных геодезических засечек

Метод линейных геодезических засечек позволяет сократить число установок светодальномера по сравнению с микротрилатерацией примерно в три раза. Перемещая светодальномер по ходовой линии $B_0 - B_1 - B_2 - \dots - B_{r+1}$, измеряют ее стороны и одновременно расстояния до двух рядов боковых пунктов $A_1 - A_2 - A_3 - \dots - A_k$ и $C_1 - C_2 - \dots - C_r$ (рис. 54), на которых устанавливают только отражатели. В результате получают координаты трех взаимно связанных рядов пунктов строительной сетки.

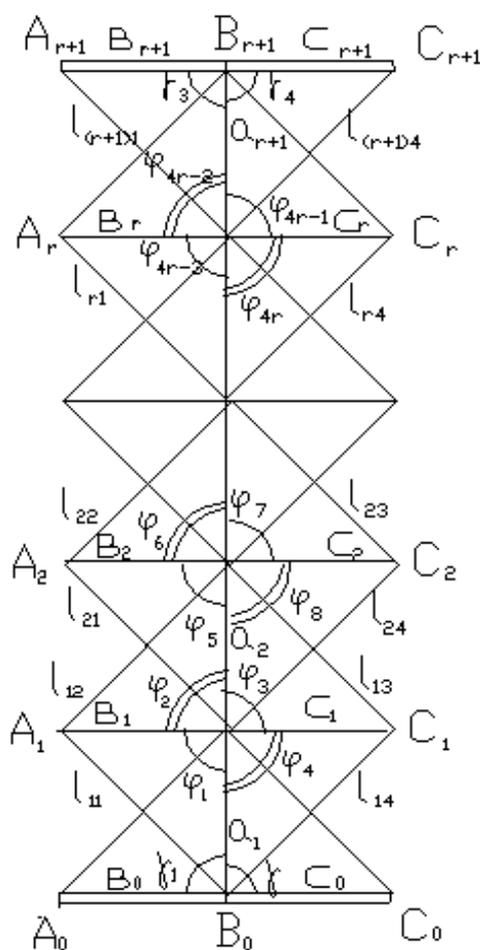


Рисунок 54 - Метод линейных геодезических засечек¹

¹ Бронштейн Г.С. Строительные геодезические сетки. - М.: Недра, 1984, с.160

Система построения	Число пучков	Q	Q _{Sx}	Q _{αx}	Q _{Sy}	Q _{αy}	Q _S	Q _α
S _x = S _y	1	1,26	1,00	0,76	0,76	1,12	1,08	1,41
	2	1,41	1,59	1,05	0,80	1,21	1,23	1,56
	3	1,66	1,67	1,10	0,81	1,30	1,37	1,73
	4	1,96	1,83	1,14	0,86	1,38	2,00	1,92

При этом для линейных сетей используют выражения:

- при оценке точности сторон и координат

$$m_{S(\alpha x)} = \frac{m_{\alpha}}{K_2 \cdot Q_{\alpha x}}; \quad m_{S(Sx)} = \frac{m_S}{Q_{Sx}};$$

$$m_{S(\alpha y)} = \frac{m_{\alpha}}{K_2 \cdot Q_{\alpha y}}; \quad m_{S(Sy)} = \frac{m_S}{Q_{Sy}};$$

$$m_{S(\alpha)} = \frac{m_{\alpha}}{K_2 \cdot Q_{\alpha}}; \quad m_{S(S)} = \frac{m_S}{Q_S};$$

$$K_2 = \rho'' / S \text{ (мм)},$$

Q - наибольшие ошибки положения боковых пунктов;

Q_{Sx} и Q_{αx} - наибольшие ошибки сторон и дирекционных углов между соседними боковыми пунктами;

Q_{Sy} и Q_{αy} - наибольшие ошибки сторон и дирекционных углов между пунктами ходовой линии и соседним боковым;

Q_S и Q_α - наибольшие ошибки сторон и дирекционных углов между боковыми пунктами соседних цепочек.

Рассмотрим пример расчета точности измерений. В сетке квадратов со стороной S = 200 м при протяженности цепочки 1 км число пучков засечек r=4. Требуется, чтобы средняя квадратическая ошибка стороны не превышала 10 мм, а ее дирекционного угла 10". Используя вышеуказанные формулы и табл.5, можно решить данную задачу (см. предыдущий способ).

Для того чтобы обеспечить все допуски, примем за окончательный самый жесткий допуск $m_{S \min} = \pm 5,0$ мм. При этом средняя квадратическая ошибка положения бокового пункта составит $M = 5,0 \cdot 1,96 = \pm 9,8$ мм.

1.2. ИНЖЕНЕРНО- ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1.2.1. Общие сведения о проектировании

1.2.1.1. Проект и его содержание

Строительство и реконструкция населенных пунктов (городов, поселков, сел) и промышленных предприятий осуществляются по проектам планировки и застройки.

Их целью является организация застраиваемой территории по экономическим, архитектурным, гигиеническим и техническим требованиям.

Проект - комплекс технических документов, содержащих технико-экономическое обоснование, расчеты, чертежи, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для строительства или реконструкции объекта.

Проект состоит из 3 основных частей:

- экономической части;
- строительной части;
- технологической части.

Проекты гражданских зданий технологической части не имеют.

Основным документом экономической части проекта является смета, которая служит основанием для финансирования строительства и контролем за правильным расходованием средств.

Смета включает в себя полную стоимость строительства сооружения со всеми затратами, необходимыми для подготовки и осуществления строительства и пуска его в эксплуатацию.

В строительную часть входит:

1. Генеральный план - это крупномасштабный топографический план с проектом размещения основных элементов сооружений.
2. Проект организации строительства ПОС.
3. Строительный генеральный план.
4. План вертикальной планировки.
5. Проектные продольные и поперечные профили трасс.
6. Размеры отдельных элементов сооружений.

Технологическая часть (только для промышленных сооружений) определяет технологию и организацию производства, вид предназначаемого и использованию оборудования, степень автоматизации.

По каждому объекту назначается главный инженер проекта (ГИП). Проектирование ведется по отдельным этапам, которые называются стадиями строительства.

Обычно проектирование ведется в 2 этапа, но при строительстве сложных комплексов жилых массивов - в 3 этапа:

1. ТЭО - технико-экономическое обоснование;
2. ТП -технический проект;
3. РЧ - рабочие чертежи.

На всех трех стадиях выполняются изыскательные работы (рисунок 55).



Рисунок 55 – Этапы проектирования

1.2.1.2. Геодезическая подготовка проектов для выноса в натуру красных линий в плане

В основе расчета элементов проекта детальной планировки и застройки лежит принцип перехода от общего к частному.

Исходными линиями, определяющими положение застройки на местности, являются **красные линии**.

Целью геодезических расчетов, выполняемых при горизонтальной и вертикальной планировке, является сохранение в процессе строительства предусмотренных в проекте геометрических размеров (длин, ширины, углов, радиусов, кварталов улиц, площадей, парков, мостов и т.д.)

Красными линиями называются границы между всеми видами улиц (проездами) и зонами жилой застройки, водных бассейнов и т. д.

Здания вдоль улиц размещают по линии застройки, которая отступает от красной линии вглубь территории не менее чем на 6м на магистральных и 3м - на жилых.

Красные линии могут состоять только из прямых линий или линий, сопряженных круговыми кривыми.

Проект красных линий составляется на плане 1:500 - 1:2000. К элементам, определяющим техническое содержание проекта, относят (рис. 56):

- длину красных линий между углами кварталов (l) или границами микрорайонов (L);
- ширину проездов (a);
- величину углов между красными линиями ;
- радиусы закруглений и элементы кривых по красным линиям.

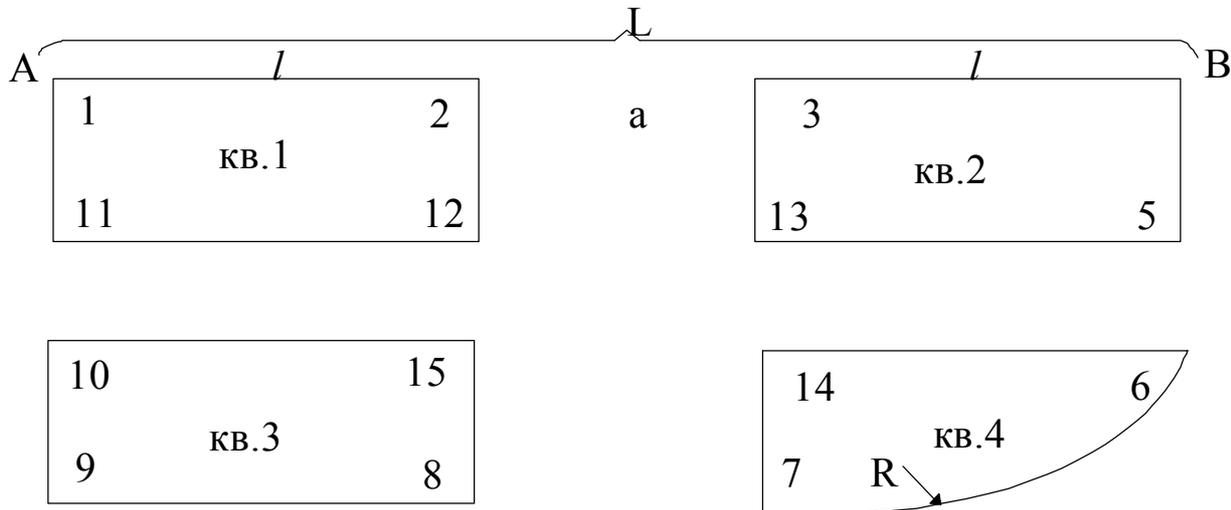


Рисунок 56 – Схема проекта красных линий

Геодезическая подготовка проекта заключается в определении координат углов красных линий микрорайона и кварталов и вычислении разбивочных элементов для выноса углов красных линий в натуру.

1-ый этап (подготовка) выполняется в следующей последовательности:

1. Координаты углов красных линий микрорайона определяют графически с плана. Если несколько кварталов примыкают к прямой магистрали или улице, то графически измеряют только координаты в начале и конце группы кварталов.
2. По координатам вычисляют длины красных линий L микрорайона и дирекционные углы их направлений (например, L_{1-4}):

$$L_{1-4} = \sqrt{(Y_4 - Y_1)^2 + (X_4 - X_1)^2} ;$$

$$a_{1-4} = \arctg \frac{Y_4 - Y_1}{X_4 - X_1} .$$

3. Аналитическим путем определяют координаты углов кварталов, как створных точек, расположенных на красных линиях микрорайона.

- 3.1. Измеряют на плане длины кварталов l (l_{1-2}, l_{3-4});
- 3.2. Уравнивают графические размеры кварталов так, чтобы их суммарная длина с номинальной шириной проездов была равна общей длине красной линии на участке между углами поворота, полученной аналитическим путем.
- 3.3. Оставляя постоянной ширину проездов и зная суммарную длину участка, вычисляют невязку и распределяют ее на все длины кварталов:

$$f_s = L - (m \cdot a + n \cdot l);$$

$$f_s \leq 0.8 \cdot M \cdot n,$$

m - количество проездов;

a - ширина проездов;

l - длина красной линии квартала;

L - длина красной линии микрорайона;

n - число линий в створе;

M - знаменатель масштаба.

4. По уравненным длинам красных линий кварталов и дирекционным углам красных линий микрорайона находят координаты углов кварталов по внешнему контуру (т 2, 3 и.д.)

5. Координаты внутренних углов кварталов определяют, как координаты точек пересечения двух прямых, заданных координатами.

Вычисление координат выполняется с точностью до 1м.

II -ой этап: вычисление разбивочных элементов для выноса красных линий в натуру.

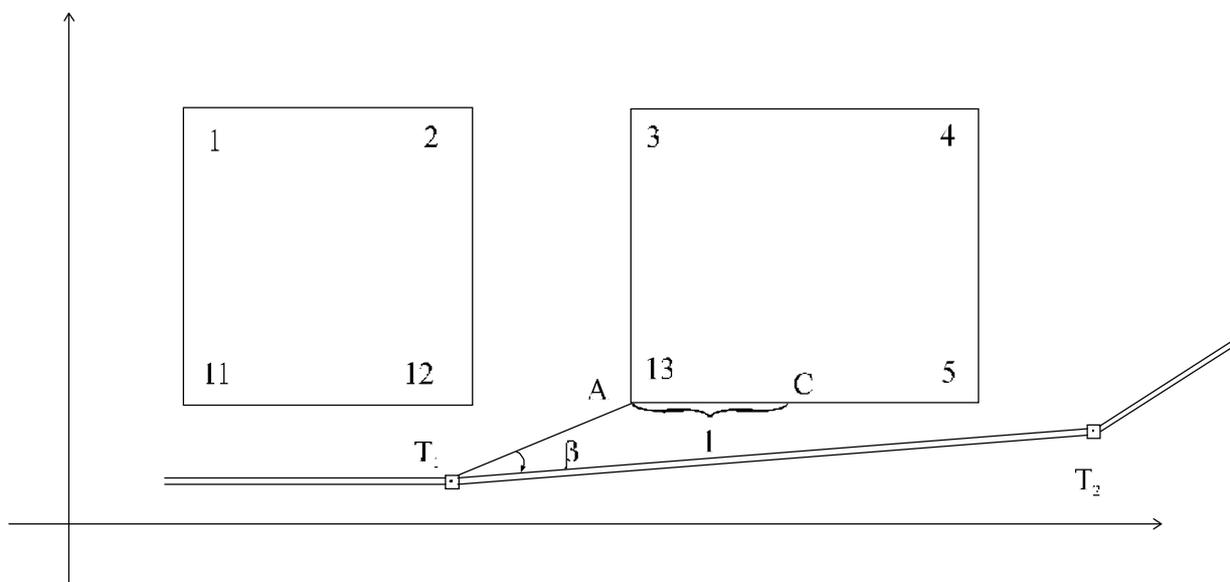
Исходными данными для расчетов являются:

1. вычисленные координаты углов кварталов.

2. координаты точек геодезической основы в районе строительства.

Геодезическая подготовка заключается в вычислении разбивочного угла β от стороны съемочного обоснования $T_1 - T_2$ и разбивочной длины от точки съемочного обоснования T_1 до выносимого в натуру угла квартала А (рис. 57).

Рисунок 57 – Проект выноса красных линий в натуру



$$\beta = \arctg \frac{Y_A - Y_{T_1}}{X_A - X_{T_1}} - \alpha_{T_1-T_2},$$

$$L = \sqrt{(Y_A - Y_{T_1})^2 + (X_A - X_{T_1})^2}$$

Контроль выноса в натуру концов красных линий: на красной линии выбирают точку, координаты которой не снимают с плана, а вычисляют. Для этого удаление выбранной точки (С) от конца красной линии задается целым числом метров. По заданной величине удаления и дирекционному углу вычисляют координаты X и Y. Вычисляют разбивочные элементы для выноса этой точки в натуру. Если после выноса в натуру точки С она оказалась в створе, то конечные точки вынесены верно.

1.2.1.3. Геодезическая подготовка проекта для выноса зданий от красных линий

Для выноса зданий от красных линий необходимо сделать ряд геодезических вычислений. Для этого необходимы следующие исходные данные:

1. Генплан с проектируемыми зданиями;
2. Характеристика зданий;

3. Координаты концов красных линий, дирекционные углы и длины;
4. Угол разворота зданий относительно красных линий;
5. Норма санитарного разрыва между зданиями.

Порядок вычислений:

1. Вычисляют координаты углов зданий, расположенных в створе красных линий:
 - 1.1. Измеряют на плане расстояния между углами зданий и концами красной линии (l_1, l_2);
 - 1.2. длину между углами зданий вдоль красной линии вычисляют по формуле :

$$l = (b_1 + b_{c.p.}) / \sin \varphi$$

где b_1 - ширина здания ;
 $b_{c.p.}$ - норма санитарного разрыва между зданиями ;
 φ - угол разворота зданий относительно красной линий.

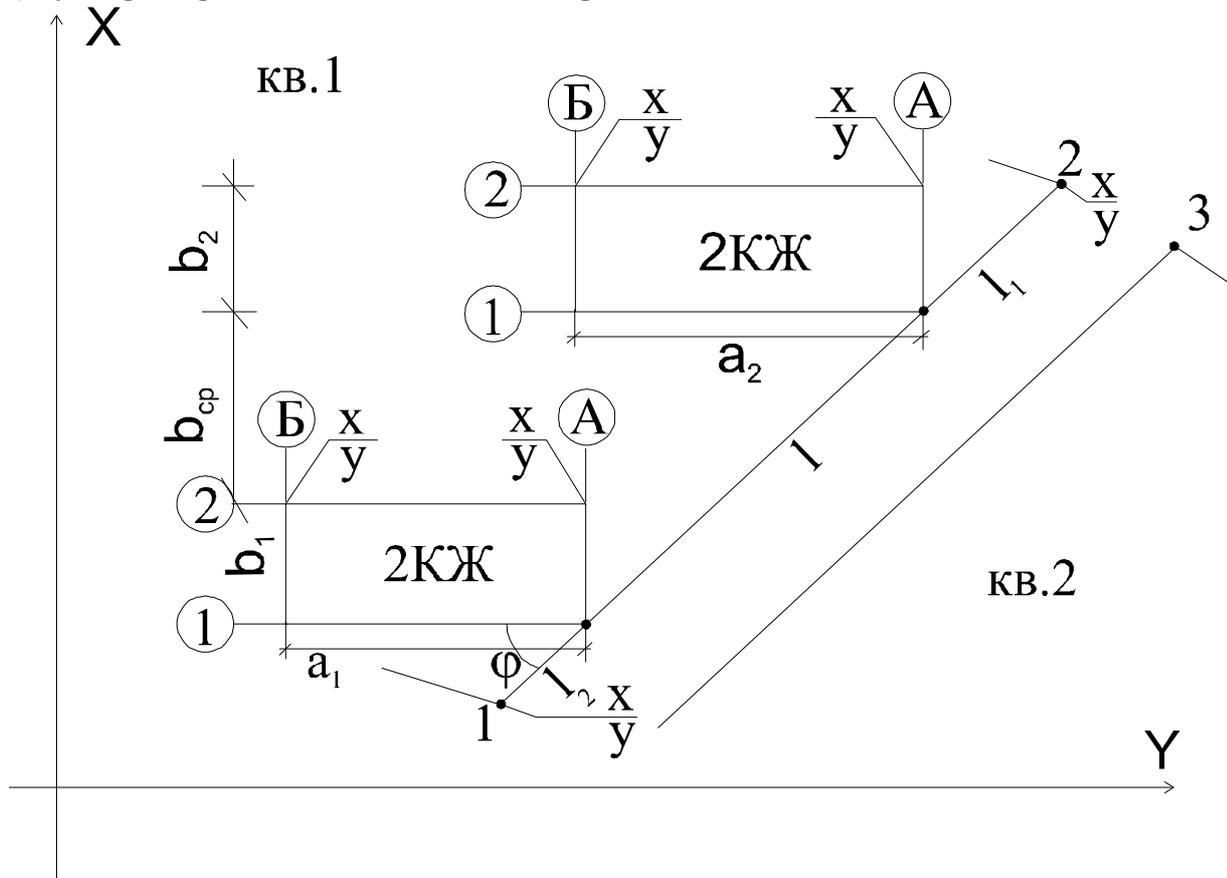


Рисунок 58 – Разбивочный чертеж для выноса проекта зданий от красных

- 1.3. Уравнивают измеренные на плане длины таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$(l_1 + l_2 + l) - \sqrt{(X_{T2} - X_{T1})^2 + (Y_{T2} - Y_{T1})^2} \leq f_{дон};$$

невязку распределяют в измеренные на плане длины в виде поправок с обратным знаком пропорционально длинам.

- 1.4. По уравненным длинам и дирекционному углу красной линии вычисляют приращения, а затем и координаты углов зданий.

2. Вычисляют координаты остальных углов зданий, используя вычисленные координаты углов, длину, ширину зданий и углы между сторонами зданий, равные 90° .

На разбивочном чертеже указывают (рис. 58):

- положение и координаты концов красной линии;
- разбивочные элементы для выноса зданий в натуру (размеры зданий, угол разворота относительно красных линий);
- величину санитарного разрыва, координаты углов зданий.

1.2.1.4. Основные математические зависимости, используемые при расчете геодезических элементов проекта

При геодезической подготовке проектов вычисляют координаты важнейших точек сооружений и их привязки к пунктам геодезической основы или главным осям сооружений.

Основными задачами подготовки являются:

- 1) Определение дирекционного угла и длины линии, заданной координатами

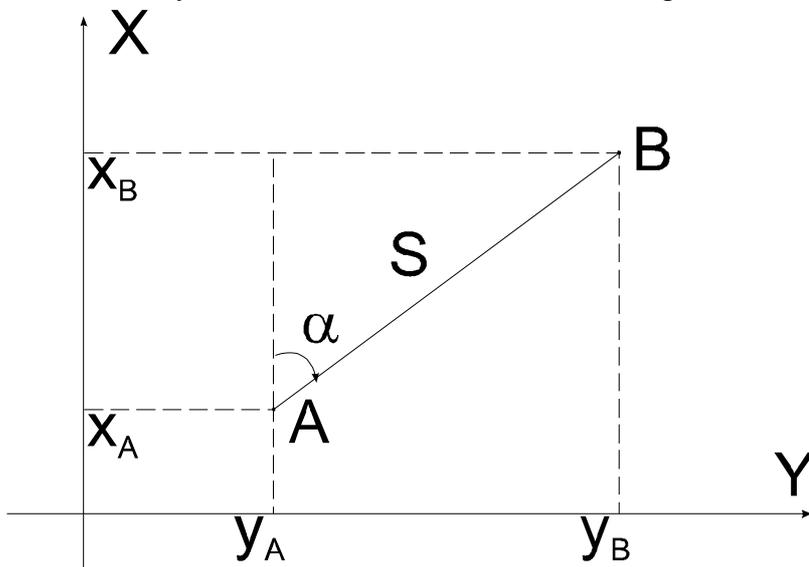


Рисунок 59.

$$\alpha_{A-B} = \arctg \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A};$$

$$S = (X_B - X_A) / \cos \alpha_{B-A};$$

$$S = (Y_B - Y_A) / \sin \alpha_{B-A};$$

$$S = \sqrt{(Y_B - Y_A)^2 + (X_B - X_A)^2}$$

X_A, Y_A, X_B, Y_B - координаты начального и конечного пунктов линии.

- 2) Определение координат промежуточных пунктов створа

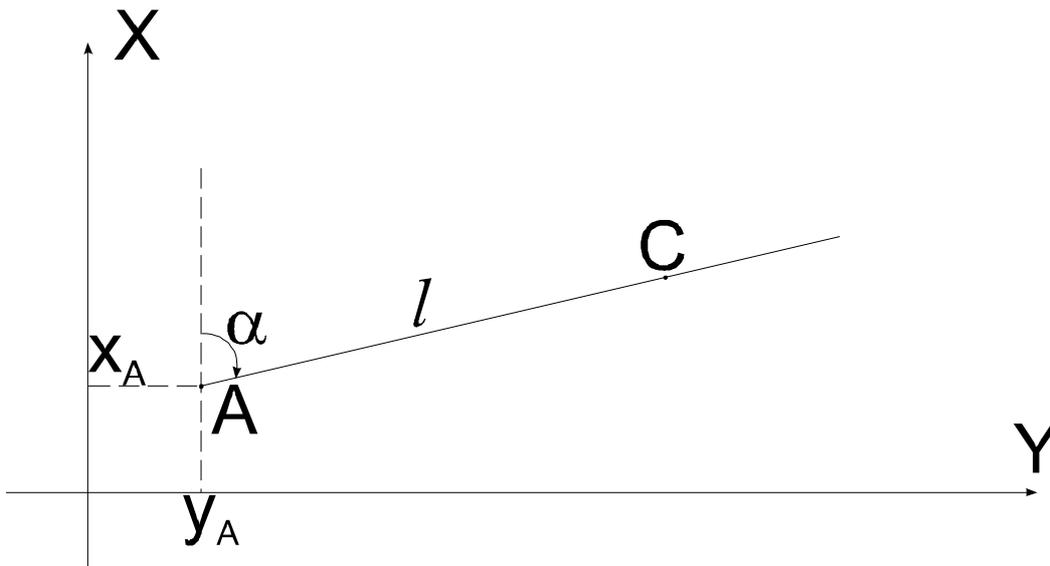


Рисунок 60.
 $X_C = X_A + l \cdot \cos \alpha$
 $Y_C = Y_A + l \cdot \sin \alpha$

l - расстояние до промежуточной точки от начала створа (т. А)

α - дирекционный угол створа, определяемый по формуле приведенной ниже.

3) Определение координат точки пересечения двух прямых, заданных координатами

$$X_K = X_C - R(X_D - X_C);$$

$$Y_K = Y_C - R(Y_D - Y_C);$$

$$R = \frac{(X_B - X_A)(Y_C - Y_A) - (Y_B - Y_A)(X_C - X_A)}{(X_B - X_A)(Y_D - Y_C) - (Y_B - Y_A)(X_D - X_C)}$$

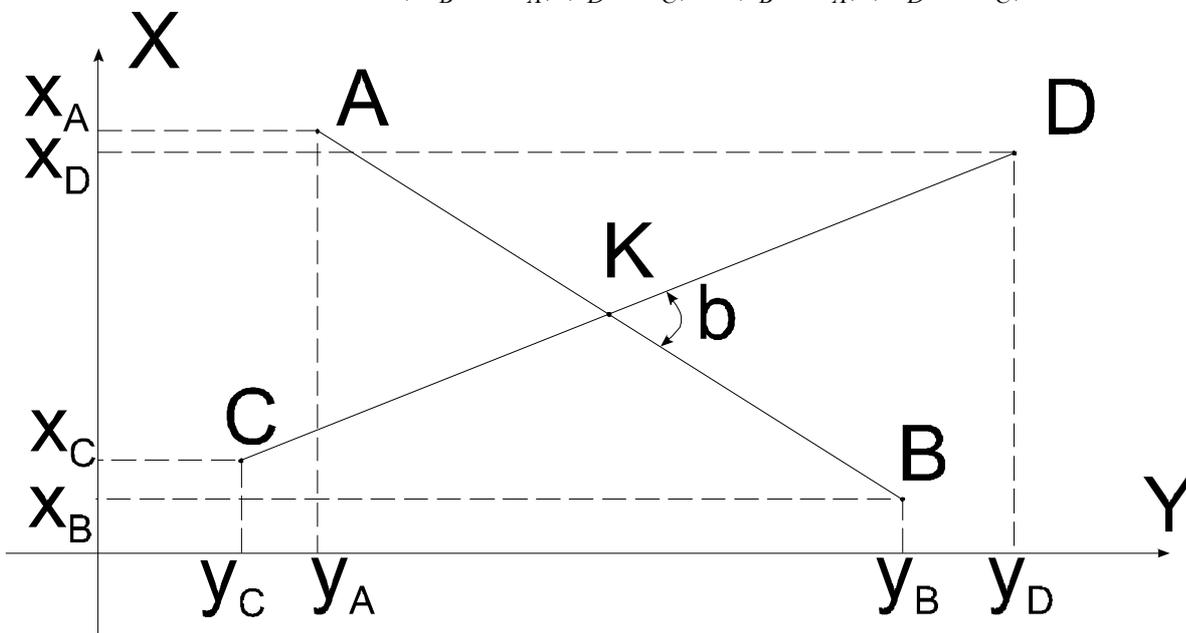


Рисунок 61.

4) Определение угла β , составленного двумя заданными прямыми

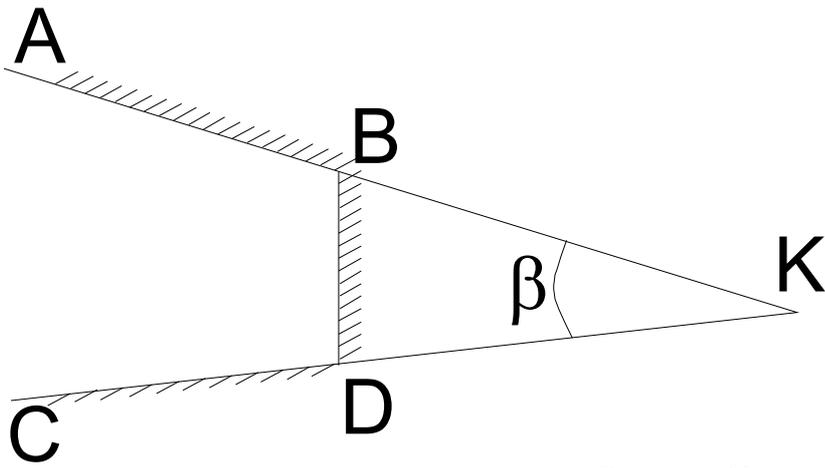


Рисунок 62.

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} - \operatorname{arctg} \frac{Y_D - Y_C}{X_D - X_C}$$

1.2.2. Геодезическая подготовка для разбивки зданий способом перпендикуляров

При отсутствии в натуре зданий между сторонами теодолитного хода и красной линией застройки, для разбивки может быть применен способ перпендикуляров.

В основу способа положена разбивка проектной точки Р от линии геодезической основы АВ, чаще - от линии строительной сетки, полигонометрии, теодолитного хода, красной линии (рис. 63), взятой за начало частной системы координат, и линии АВ - в частной системы координат, и линии АВ - в качестве частной оси абсцисс.

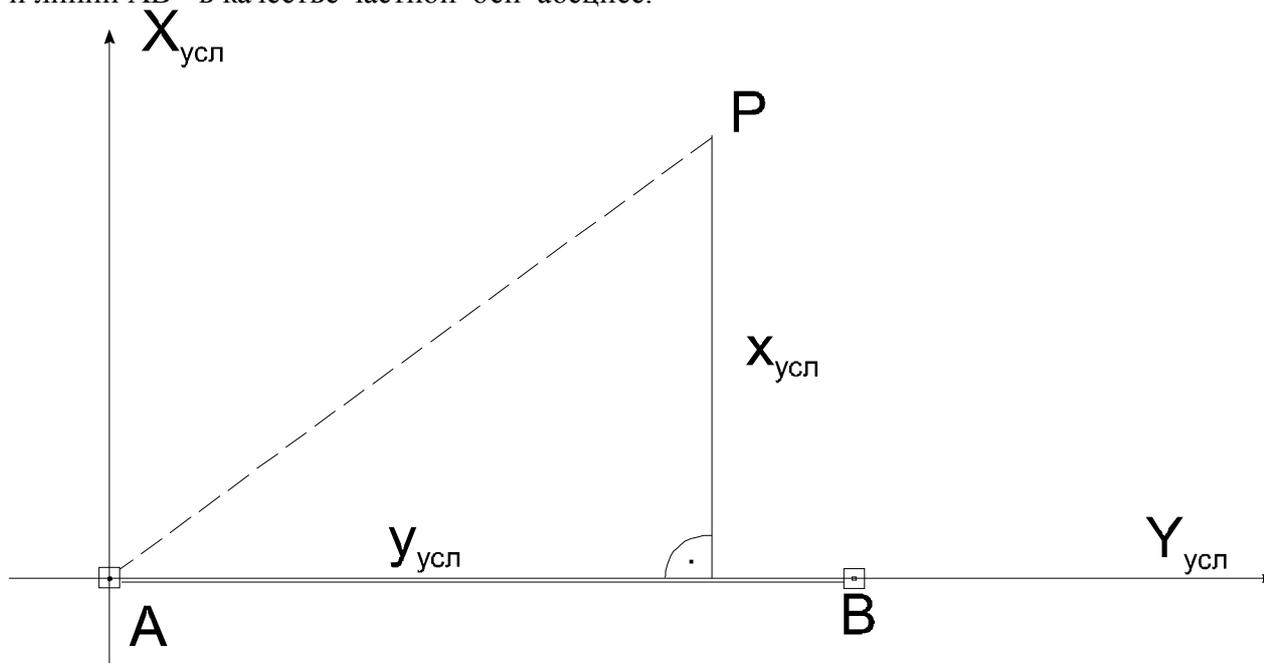


Рисунок 63 – Схема разбивки точки способом перпендикуляров

Прямоугольные координаты определяют по формулам:

$$X_{\text{усл}} = (X_p - X_a) \cdot \cos \alpha_0 + (Y_p - Y_a) \cdot \sin \alpha_0;$$

$$Y_{\text{усл}} = (Y_p - Y_a) \cdot \cos \alpha_0 + (X_p - X_a) \cdot \sin \alpha_0,$$

где X_a, X_p, Y_a, Y_p - абсолютные координаты исходной и проектной точек,

α_0 - дирекционный угол опорной линии АВ.

Знаки ординат указывают направление откладывания их от створных точек линии АВ: при положительной - вправо, при отрицательной - влево. Если абсцисса X отрицательная, то ее откладывают от точки А в противоположном направлении линии АВ.

Для вынесения проекта планировки в натуре составляют разбивочный чертеж, на котором изображают схему разбивки и подписывают все разбивочные элементы и элементы для контроля:

- длины линий и их дирекционные углы;
- разбивочные углы на опорных пунктах;
- контрольные углы на определяемых пунктах;
- линейные размеры зданий;
 - расстояния между сооружениями;
 - координаты углов зданий.
-

1.2.3. Вынос на местность красных линий по заданным промерам от осей проезда

Вынос в натуру красных линий осложняется, если пользоваться только имеющимися пунктами геодезической сети. Для упрощения работ по выносу обычно закрепляют оси проезда (или для сохранения пунктов - смещенную ось) и выносят относительно оси проезда красную линию (рис. 64).

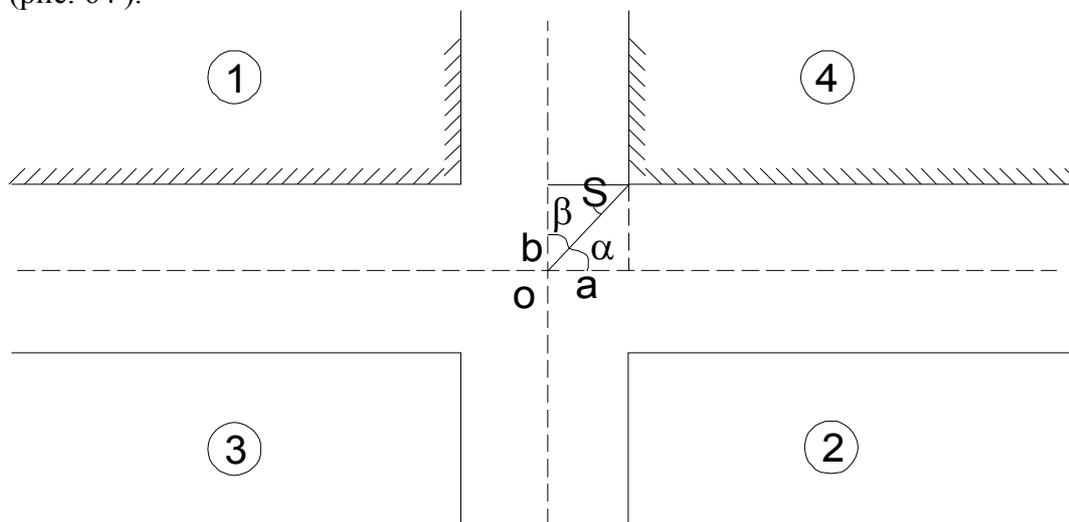


Рисунок 64 - Привязка точек застройки к осям улиц

Красную линию можно выносить построением угловых точек кварталов. Для построения этих точек по координатам вычисляют длины и дирекционные углы линий, соединяющих точки пересечения осей проездов с прилегающими углами кварталов.

На участке пересечения улиц возможны три варианта вычисления угловых и линейных элементов.

1) Одинаковые по ширине улицы пересекаются под прямым углом (рис. 65).

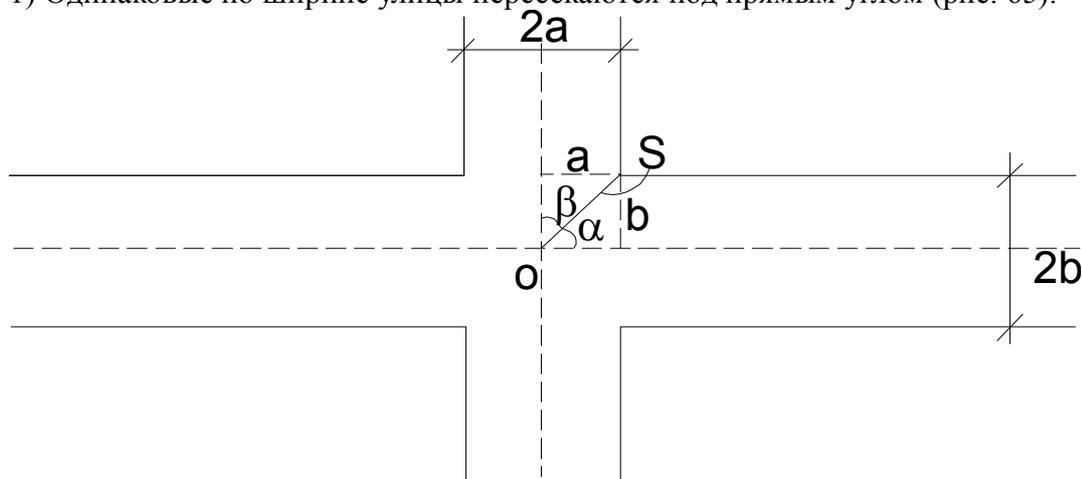


Рисунок 65.

$$a = b$$

$$\beta = 45^\circ$$

$$S = a \cdot \sqrt{2}$$

2) Различной ширины проезды пересекаются под прямым углом (рис. 65).

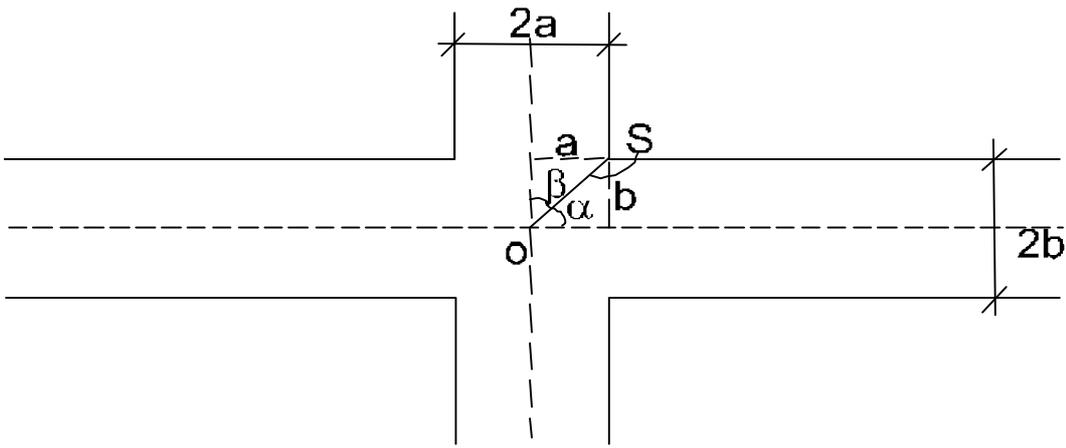


Рисунок 65.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{b}{a}$$

$$S = \sqrt{a^2 + b^2}$$

3) Одинаковая ширина, но пересечение под острым углом (рис. 66).

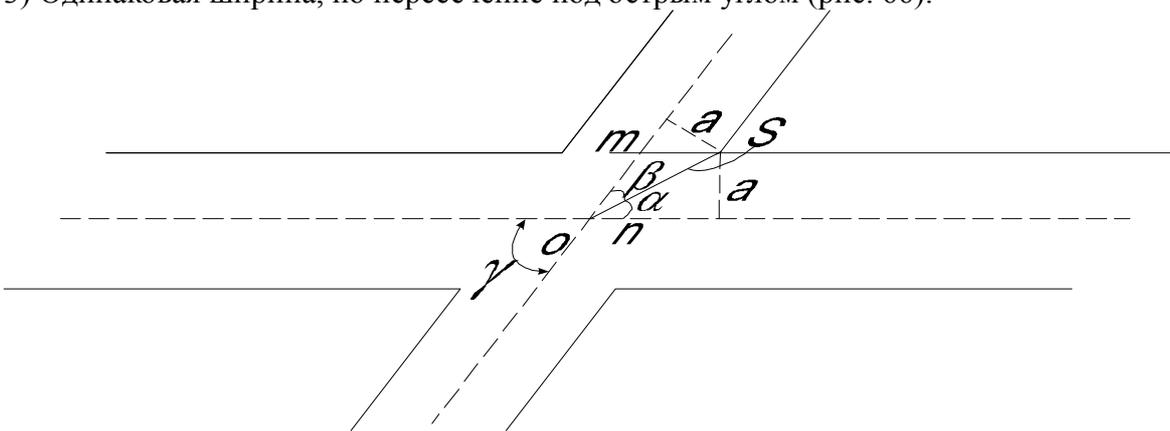


Рисунок 66.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a \cdot \sin \gamma}{a + a \cdot \cos \gamma}$$

$$S = \frac{a}{\sin \alpha}$$

4) Различная ширина и пересечение под острым углом (рис. 67)

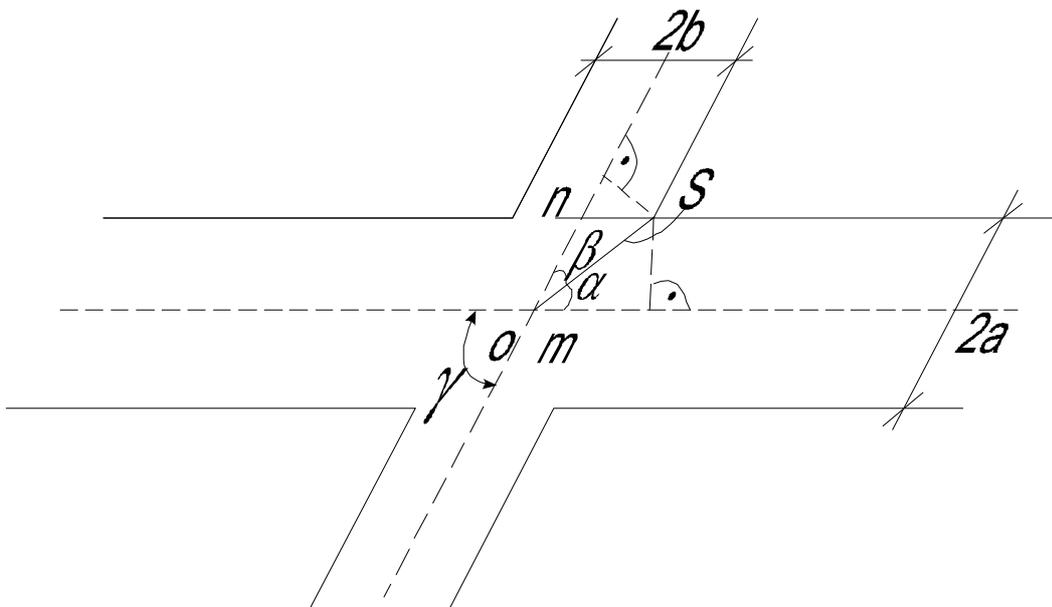


Рисунок 67.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a \cdot \sin \gamma}{b + a \cdot \cos \gamma};$$

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b \cdot \sin \gamma}{a + b \cdot \cos \gamma};$$

$$S = \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta};$$

прямоугольные координаты:

$$m = \frac{b + a \cdot \cos \gamma}{\sin \gamma};$$

$$n = \frac{a + b \cdot \cos \gamma}{\sin \gamma}.$$

1.2.4. Вертикальная планировка площадки строительства методом проектных горизонталей

1.2.4.1. Основные математические зависимости при расчете геодезических элементов вертикальной планировки

1) Нахождение проектных отметок точек на наклонной прямой.

Рассмотрим на конкретных примерах методы решения задач, связанных непосредственно с проектированием новой поверхности.

Во всех случаях проектирования рельефа возникает необходимость нахождения точки с заданной отметкой H_c на прямой, проходящей через точки A и B с известными отметками H_a и H_b .

Возможны несколько вариантов решения этой задачи:

а) *графический способ:*

Дано : H_A, H_B, H_C .

Найти : местоположение точки C на AB (рис. 68)

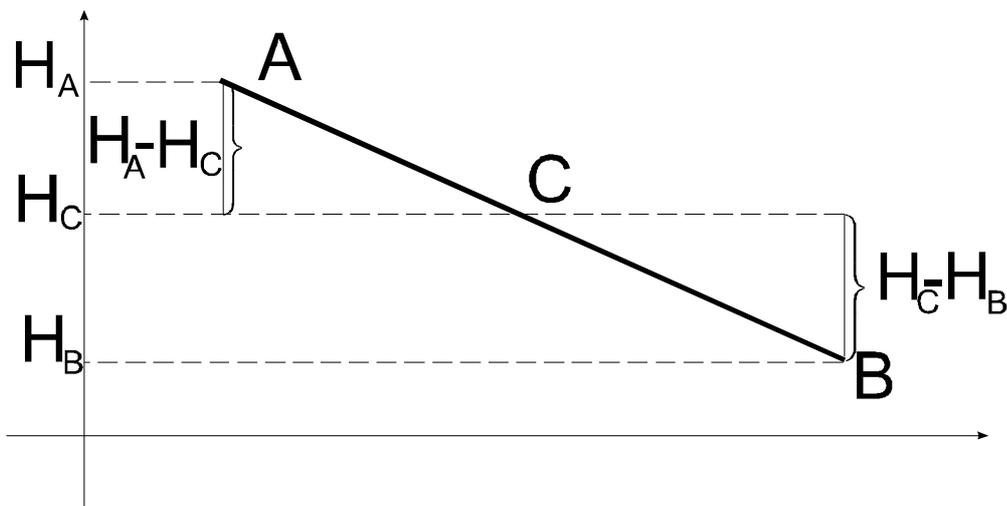


Рисунок 68 – Графический способ нахождения отметки точки

б) *аналитический способ:*

Дано: H_A, H_B, l_{A-B}

Найти: l_{A-C}

$$\frac{l_{A-C}}{l_{A-B}} = \frac{H_C - H_A}{H_B - H_A}$$

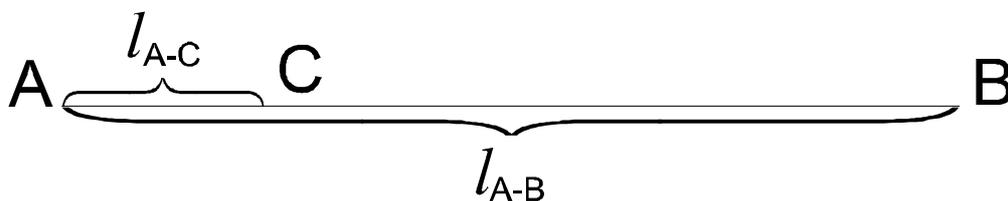


Рисунок 69 – Аналитический способ нахождения отметки точки

в) *градуирование прямой (рис. 70):*

Дано : $H_A, H_B, l_{A-B}, h=0.2 \text{ м}$

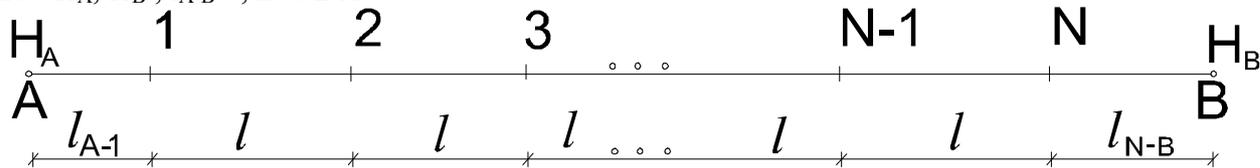


Рисунок 70.

Определить: местоположение точек, соответствующих отметкам горизонталей при их сечении $h=0.2 \text{ м}$ (l_{A-1}, l, l_{N-B}).

Порядок вычислений:

- определение уклона линии A-B :

$$i = (H_B - H_A) / l_{A-B};$$

- вычисляют превышение между точкой А и ближайшей к ней большей по значению горизонталью, кратной высоте сечения рельефа h :

$$h_1 = H_1 - H_A;$$

- зная превышение и уклон, определяем величину заложения между точкой А и ближайшей к ней горизонталью:

$$l_{A-1} = h_1 / i = (H_1 - H_A) / i;$$

- находим заложение между точкой В и ближайшей горизонталью:

$$l_{N-B} = (H_B - H_N) / i;$$

H_N - отметка кратной h ближайшей по значению к точке В меньшей горизонталью.

- определяем заложение между соседними горизонталями :

$$l = h / i;$$

h - сечение горизонталей или разность между соседними отметками.

- откладываем по линии АВ полученные значения заложений с учетом масштаба плана, находим места горизонталей.

2) Изображение проектных горизонталей площадки, ограниченной линиями, проведенными через точки с известными проектными отметками

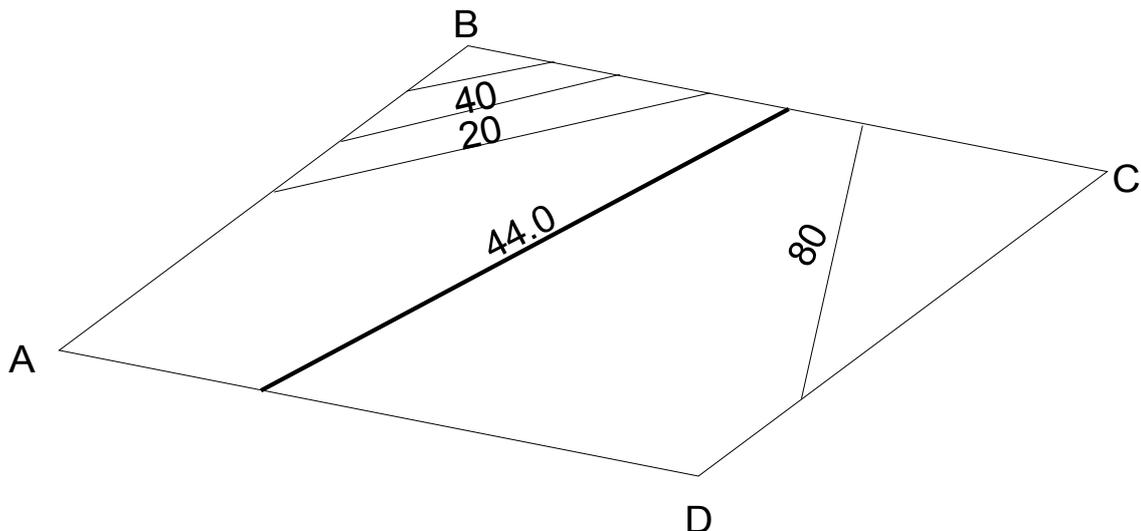


Рисунок 71 – Построение проектных горизонталей на площадке

Дано : H_A, H_B, H_C, H_D, h .

Порядок вычислений:

- 1) производят градуирование прямых, оконтуривающих площадку, и находят места проектных горизонталей на прямых.
- 2) проводят линии через точки с одинаковыми значениями и подписывают над ними их высоты.

3) Построение проектных горизонталей на площадке с неизменными продольными и поперечными уклонами

Дано: $H_A, H_B, H_C, H_D, h, i_{\text{прод}}, i_{\text{попер}}, B$

Выполняют градуирование лишь одной из длинных сторон площадки и строят лишь одну горизонталь (рис. 72, $H=22.0$ м)

Неизменность уклонов в продольном и поперечном направлениях позволяет провести остальные горизонтали, параллельные горизонтали, уже построенной через точки, найденные на градуированной стороне.

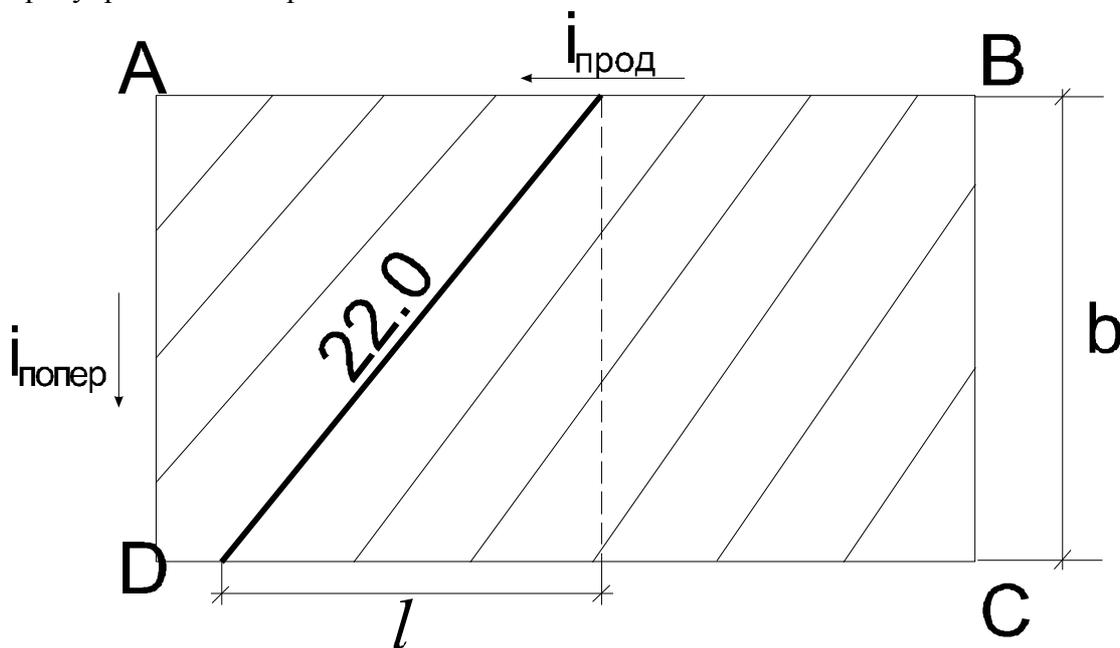


Рисунок 72 – Построение проектных горизонталей на площадке с неизменным уклоном

$$h_1 = i_{\text{попер}} \cdot b$$

$$l = h_1 / i_{\text{прод}}$$

$$l = (i_{\text{попер}} \cdot b) / i_{\text{прод}}$$

Так выполняют проектирование горизонталей на проезжей части улицы, которую можно представить в виде 2-х плоскостей, разделенных по оси и имеющих уклон, как в продольном, так и в поперечном направлении (рис. 73).

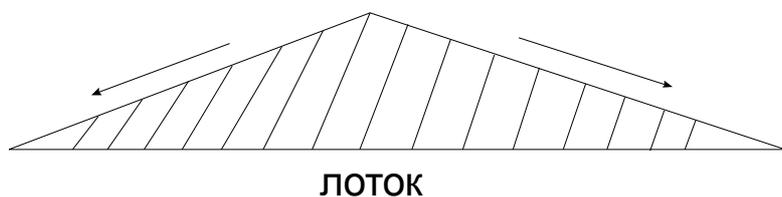


Рисунок 73.

В этом случае находят положение на оси горизонталей, кратных 1 метру аналитическим путем (рис. 74).

Дано: $H_{\text{пр1}}, H_{\text{пр2}}, H_{\text{пр3}}$ - проектные отметки рельефа;

Выбрано: a, h, L .

Найти: l, l_2, c

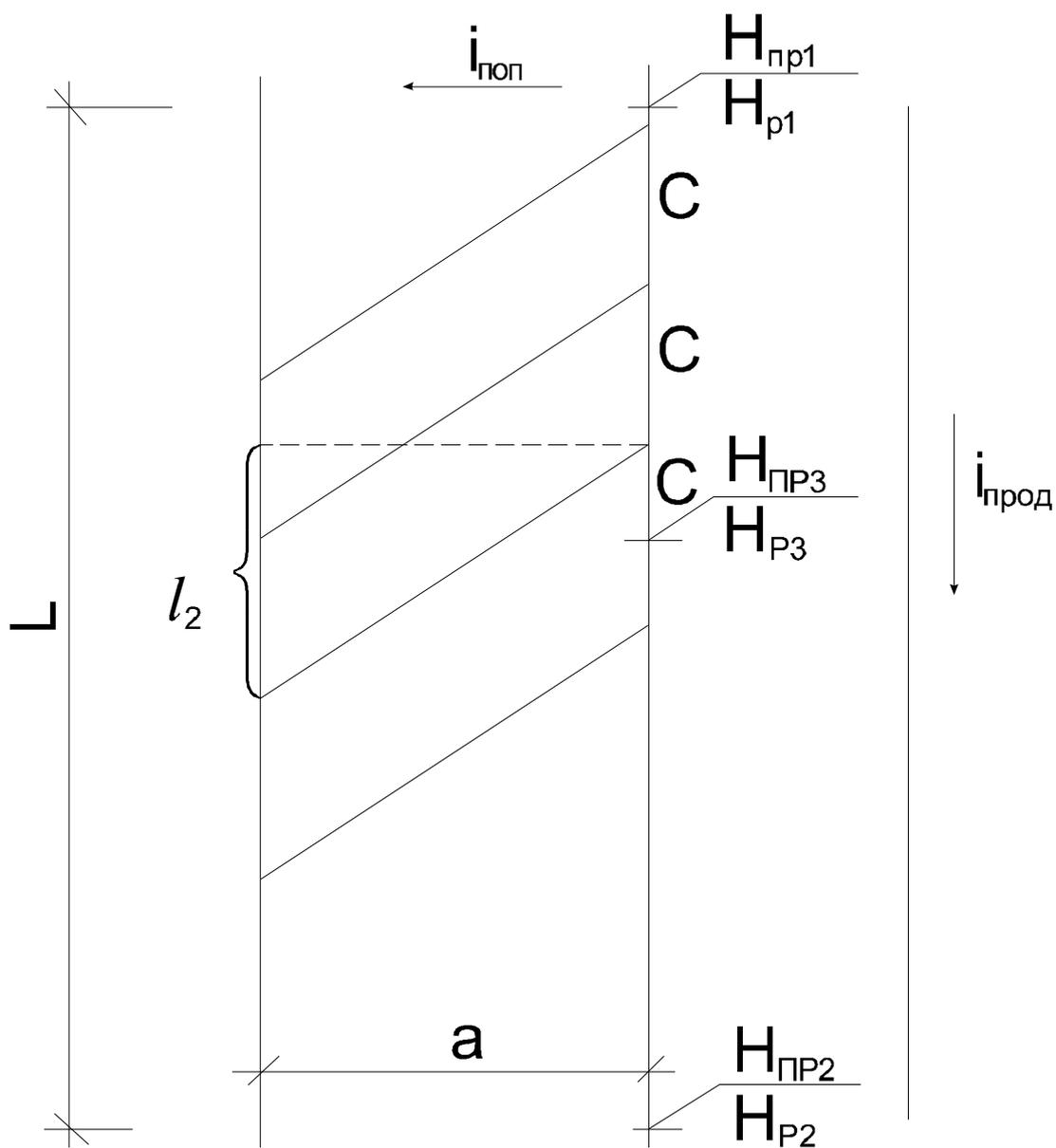


Рисунок 74 – Построение проектных горизонталей на участке проезжей части улицы

$$l = L \cdot \frac{H_{np1} - H_{np3}}{H_{np1} - H_{np2}}$$

$$l/L = \frac{H_{np1} - H_{np3}}{H_{np1} - H_{np2}}$$

Для построения проектных горизонталей необходимо знать: - l_2 (на лотке):

$$l_2 = L \cdot i_{non} / i_{прод}$$

Расстояние между проектными горизонталями с:

$$c = h / i,$$

где h - высота сечения рельефа.

1.2.4.2. Вертикальная планировка площадки строительства способом проектных горизонталей

Составной частью генплана строительства является проект вертикальной планировки, имеющей целью преобразование существующего рельефа застраиваемой территории с целью размещения застройки и подземных коммуникаций, благоустройства, обеспечения транспортных связей, поверхностного стока при максимальной сохранности природной среды и с минимальным перемещением земляных масс.

Преобразование рельефа на плане выполняют тремя способами :

- способом проектных горизонталей
- способом профилей
- комбинированным способом.

Способ горизонталей состоит в изображении проектного рельефа горизонталями. В начале проектирования изучают структуру существующего рельефа и производят его членение на ряд оформляющих плоскостей, граничащих между собой по линиям тальвегов и водоразделов и максимально приближающихся к естественному рельефу. Выбрав на месте сопряжения плоскостей отметки опорных точек, производят обычную рисовку рельефа. Сечение рельефа проектными горизонталями устанавливается необходимой его детализацией и обычно составляет 0.1, 0.2, 0.25 и 0.5 м. Проектные отметки точек получают графически по проектным горизонталям.

Метод профилей заключается в том, что на плане территории, подлежащей планировке, разбивается сетка размером 50x20 м из профильных линий и поперечников к ним по наиболее характерным контурам проекта (осям дорог, проездов, красным линиям) и местам с явно выраженным изменением профиля (водораздел, тальveg и т.д.). На составленные профили наносят проектные отметки опорных точек и, руководствуясь величиной допустимых минимальных и максимальных уклонов, намечают проектные линии, определяющие высотное положение будущих сооружений. Затем, определяют графически и вычисляют при помощи расстояний и уклонов проектные отметки характерных точек сооружений.

Недостаток метода: малая наглядность общего решения и приближенность решения на сложном рельефе.

1.2.5. Составление проекта вертикальной планировки

Естественный рельеф местности обычно не удовлетворяет требованиям движения транспорта а также требованиям благоустройства застроенных территорий:

- уклоны на запроектированных проездах могут превышать допустимые для нужных категорий дорог;
- если рельеф горизонтальный, то затрудняется отвод наземных вод.

Поэтому, параллельно с горизонтальной планировкой города составляют проект вертикальной планировки, предусматривающий искусственное изменение рельефа с целью приспособления его к застройке.

Обычно, планировку выполняют таким образом, чтобы:

- атмосферные воды имели по возможности свободный сток из кварталов на городские улицы и далее по ним в ближайшие водоемы или водостоки;
- проектные уклоны на проездах удовлетворяли требованиям движения транспорта.

Чертеж с нанесенными на нем проектом вертикальной планировки называют схемой вертикальной планировки.

Составляют схему в масштабе 1:5000-1:10000 с высотой сечения рельефа $h=1-2$ м. На схеме показывают красные линии застройки, проектные отметки планировки в характерных местах, проектируемые улицы, направление стока воды, уклоны, расстояния до точек перегиба рельефа, фактические горизонталы, проектные отметки и отметки существующего рельефа, точки перегиба продольного профиля (рис. 75).

Утвержденная схема вертикальной планировки служит обязательным документом для всех ведомств, выполняющих застройку.

На основании схемы вертикальной планировки составляют технический проект в масштабе 1:1000 - 1:500. Кроме данных, указанных на схеме вертикальной планировки, на проект выписывают отметки "чистого пола" и изображают рельеф местности в виде проектных горизонталей. Наличие технического проекта дает возможность правильно заложить фундаменты зданий, трубопроводы и кабельную сеть при еще неосуществленной вертикальной планировке площадки.

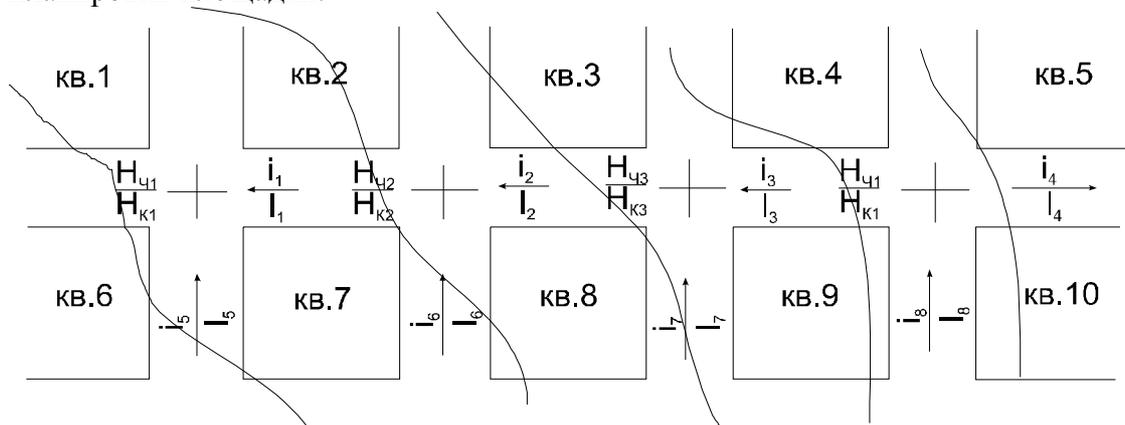


Рисунок 75 – Фрагмент проекта вертикальной планировки

1.2.6. Проектирование площадки с соблюдением баланса земляных работ

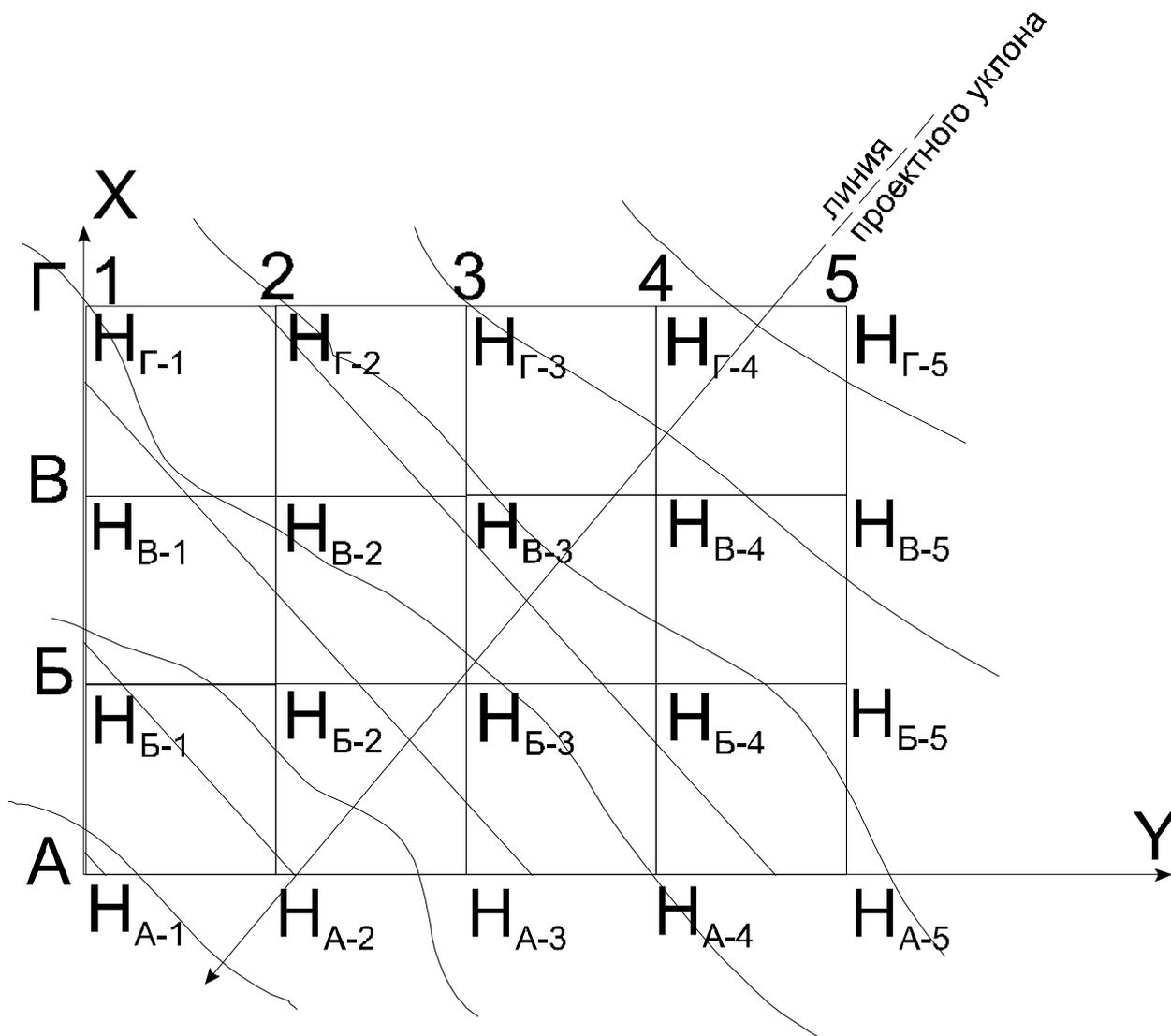


Рисунок 76 – Проект вертикальной планировки площадки

Порядок выполнения (рис. 76):

1. На проектируемом под застройку участке топографической карты разбивают сетку квадратов с длиной стороны 20м.
2. Интерполированием определяют черные отметки вершин квадрата и записывают в нижний правый угол.
3. Вычисляют проектную отметку центра тяжести по формуле:

$$H_{Ц.Т.} = \frac{\sum H_{(1)} + 2 \cdot \sum H_{(2)} + 3 \cdot \sum H_{(3)} + 4 \cdot \sum H_{(4)}}{4 \cdot n} m,$$

где $H_{(1)}$, $H_{(2)}$, $H_{(3)}$, $H_{(4)}$ - отметки вершин квадратов, относящиеся соответственно к одному, двум, трем и четырем квадратам;

n - число квадратов.

Отметку центра тяжести можно вычислить и по другой формуле :

$$H_{Ц.Т.} = H_{\min} + \frac{\sum h_{y(1)} + 2 \cdot \sum h_{y(2)} + 3 \cdot \sum h_{y(3)} + 4 \cdot \sum h_{t(4)}}{4 \cdot n},$$

где $h_{y(1)}$, $h_{y(2)}$, $h_{y(3)}$, $h_{y(4)}$ - условные превышения, общие для одного, двух, трех и четырех квадратов.

H_{\min} - условная наименьшая из фактических отметок вершин квадратов.

$$h_{y(i)} = H(i) - H_{\min}.$$

4. Для построения проектных горизонталей и определения высотных проектных отметок вершин квадратов через центр тяжести проводят прямую линию, параллельную горизонталям местности. Линия, перпендикулярная к ней, будет указывать направление проектного уклона (рис. 77). Величина проектного уклона и высота сечения проектных горизонталей задаются в проекте.

5. Определяем на линии проектного уклона местоположение проектных горизонталей.

Возможно два варианта :

а) *Ц.т. кратная h* :

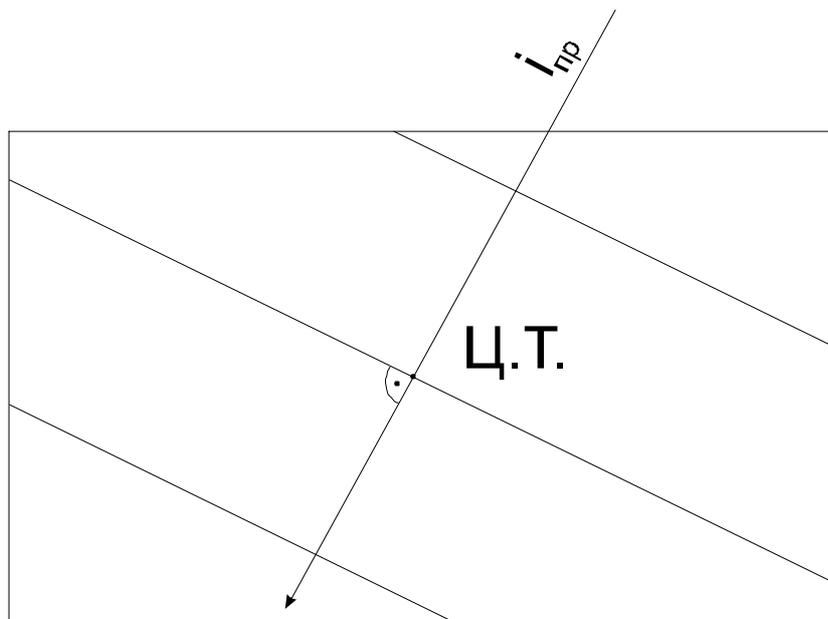


Рисунок 77.

$$c = \frac{h}{i_{пр.}}$$

б) *Ц.т. не кратная h* :

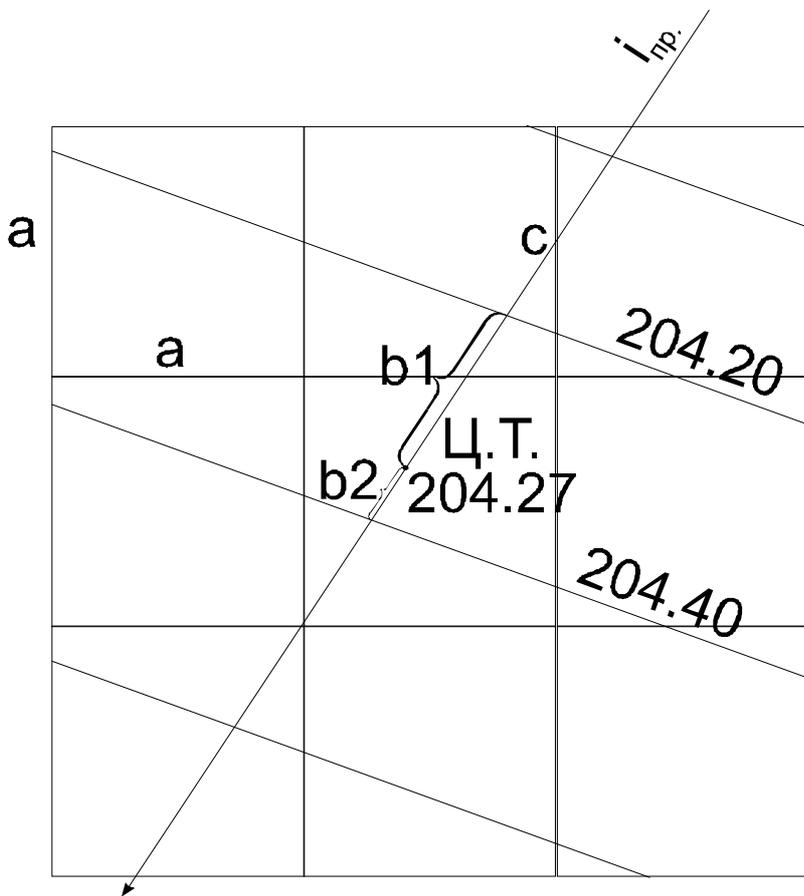


Рисунок 78.

$$c = b_1 + b_2;$$

$$b_1 = \frac{h_1}{i_{пр.}};$$

$$b_2 = \frac{h_2}{i_{пр.}};$$

$$h_1 = H_{Ц.Т.} - H_{\min};$$

$$h_2 = H_{\max} - H_{Ц.Т.}$$

H_{\max} и H_{\min} - отметки ближайших к центру тяжести проектных горизонталей с заданной высотой сечения рельефа (рис. 78):

$$H_{\max} = 204.40 \text{ м}; \quad H_{\min} = 204.20 \text{ м}; \quad H_{Ц.Т.} = 204.27 \text{ м}.$$

6. Откладываем расстояния a, b и c от центра тяжести по линии уклона и проводим через полученные точки проектные горизонтали.

7. Вычисляем проектные отметки каждой вершины квадрата :

$$H_{np.1} = H_{\min} + h;$$

$$\frac{h}{h_1} = \frac{a}{l}; h_1 = \frac{h \cdot l}{a},$$

a - сторона сетки;

l - удаление вершины квадрата от младшей горизонтали, имеющей отметку H_{\min} ;

h - высота сечения проектных горизонталей (0.2)

h_1 - превышение между известной горизонталью и кратной отметкой;

l и n определяются графически с плана.

8. Вычисляют рабочие отметки вершин квадратов для построения линии нулевых работ и подсчета объемов насыпей и выемки:

$$h_{p_i} = H_i - H_i',$$

H_i - проектные (красные) отметки;

H_i' - фактические (черные) отметки.

Рабочие отметки выписывают в левый верхний угол.

9. Определяют положение линии нулевых работ.

Возможно 2 способа: аналитический и графический.

а) аналитический (рис. 79):

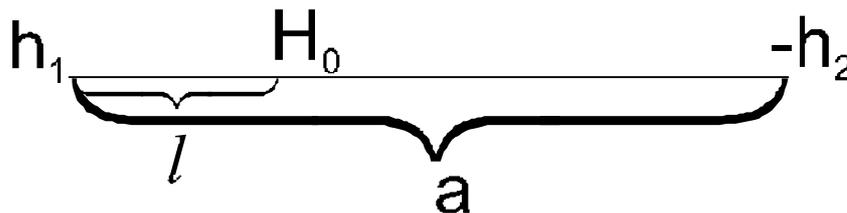


Рисунок 79.

$$l = \frac{a \cdot |h_1|}{|h_1| + |h_2|}$$

где a- длина стороны квадрата;

h_1, h_2 - абсолютные значения рабочих отметок двух соседних вершин квадратов.

Точки нулевых работ находят только на тех сторонах, концы которых имеют рабочие отметки разных знаков.

б) графический (рис. 80)

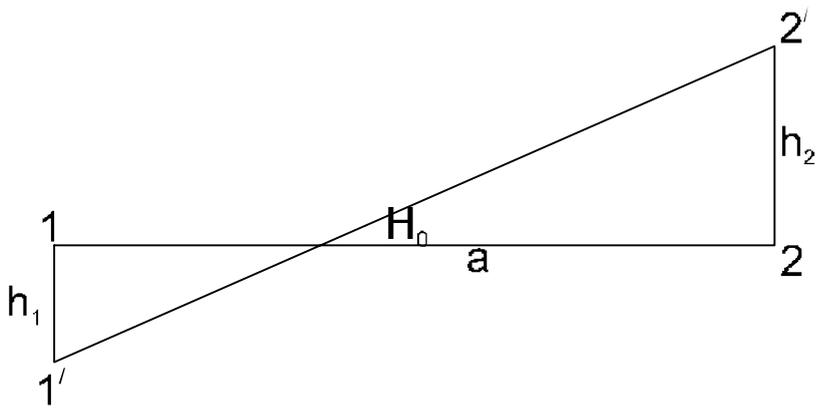


Рисунок 80.

Откладываем от сторон квадрата в одном и том же масштабе h_1, h_2 . Соединяем точки $1', 2'$. Точка пересечения отрезков $1-2$ и $1'-2'$ дает точку нулевых работ.

1.2.7. Подсчет объемов земляных работ

1) В целых квадратах объем подсчитывается по формуле (рис. 81):

$$V_H = 0,25 \cdot a^2 \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4);$$

$$V_B = 0,25 \cdot a^2 \cdot (|h_1| + |h_2| + |h_3| + |h_4|);$$

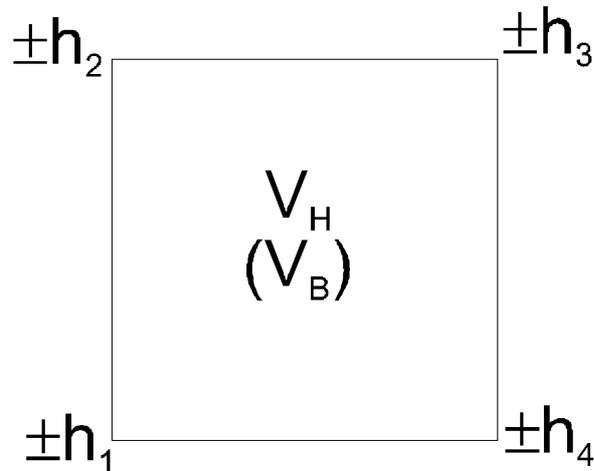


Рисунок 81.

2) Если квадрат имеет разные знаки рабочих отметок (рис. 82-84):

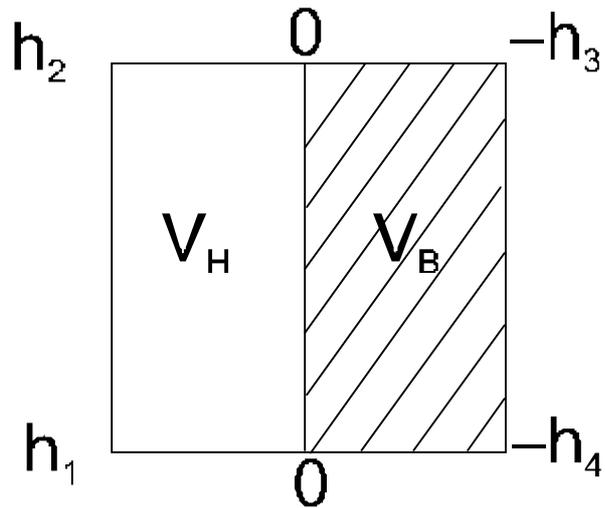


Рисунок 82.

$$V_H = 0,125 \cdot a^2 \cdot (h_1 + h_2) \cdot \left(\frac{h_1}{h_1 - h_4} - \frac{h_2}{h_2 - h_3} \right);$$

$$V_B = 0,125 \cdot a^2 \cdot (h_3 + h_4) \cdot \left(\frac{h_4}{h_4 - h_1} - \frac{h_3}{h_3 - h_2} \right).$$

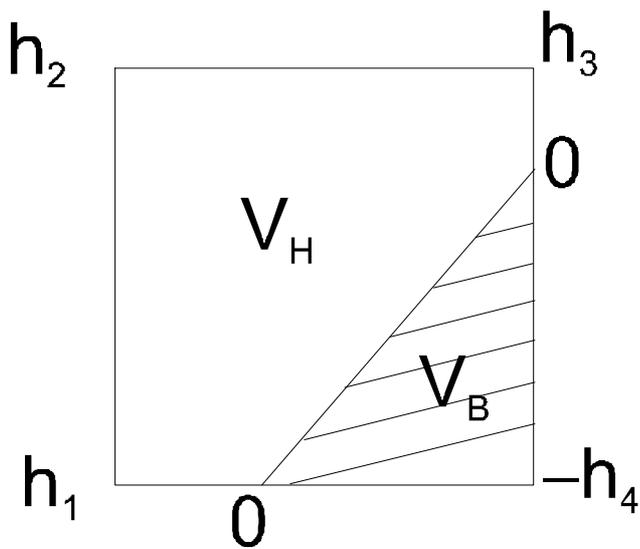


Рисунок 83.

$$V_H = 0,25 \cdot a^2 \cdot (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) - V_B;$$

$$V_B = 0,167 \cdot a^2 \cdot h_4 \cdot K_4.$$

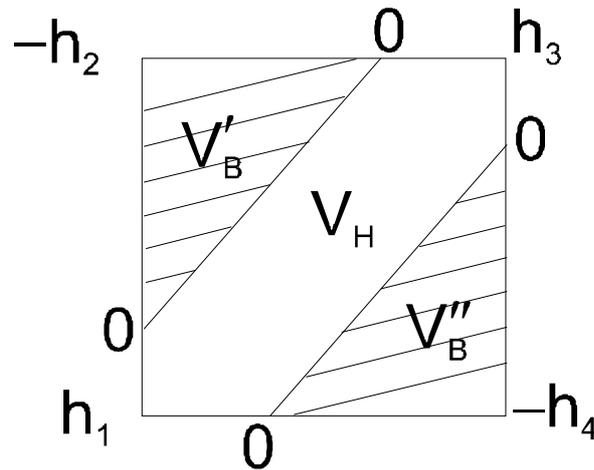


Рисунок 84.

$$V_H = 0,125 \cdot a^2 \cdot (h_1 + h_3) \cdot [2 - (K_2 + K_4)];$$

$$V_B = V'_B + V''_B = 0,167 \cdot a^2 \cdot (K_2 \cdot h_2 + K_4 \cdot h_4).$$

где a - размер сетки квадратов;

h_1, h_2, h_3, h_4 - рабочие отметки;

V_B, V_H - объем выемки и насыпи;

K_2, K_4 - коэффициенты, определяемые по формуле:

$$K_2 = \frac{h_2^2}{(h_2 - h_1) \cdot (h_2 - h_3)};$$

$$K_4 = \frac{h_4^2}{(h_4 - h_1) \cdot (h_4 - h_3)}.$$

Другие формулы для вычисления объема, в том числе и по треугольным призмам даются в монографии В.И. Мулина "Расчет основных технико-экономических показателей вертикальной планировки", М., Стройиздат, 1974.

Баланс земляных работ определяют по разности суммарных объемов с учетом объема выемки от оснований сооружений и подземных коммуникаций. При подсчете баланса объем выемки умножают на коэффициент остаточного разрыхления грунта, который равняется 1.01-1.025- для песчаных грунтов, 1.015-1.05- для суглинистого грунта и 1.04-1.09- для глинистых грунтов. Дебаланс δh не должен превышать 4-5% объема насыпи или выемки. В противном случае производится подъем или опускание всей территории.

$$\delta_h = \frac{\sum V_H - \sum V_B}{2F},$$

где F - общая площадь территории площадки.

1.2.8. Проектирование наклонной плоскости без соблюдения баланса земляных работ

В этом способе проектные отметки вершин квадратов вычисляются аналитически. Одна из отметок (проектная) задается в проекте или выбирается в зависимости от фактических элементов рельефа. Широко применяются два способа: аналитический и способ проектных горизонталей.

а) аналитический способ: $H_{пр.6} = H_{ф6}$

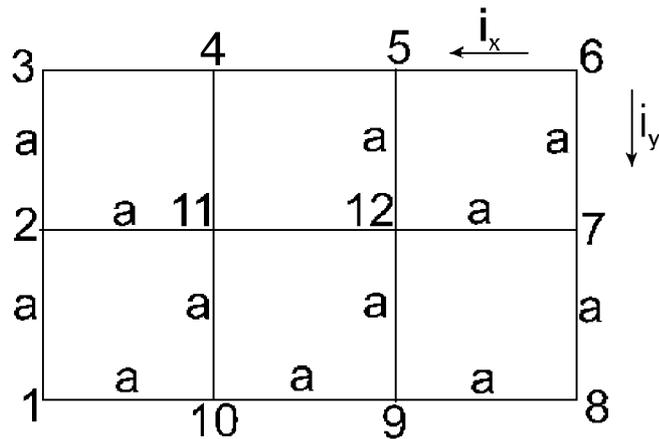


Рисунок 85.

Порядок выполнения расчетов:

1. Интерполированием горизонталей рельефа определяют черные отметки вершин квадрата.
2. Проектную отметку выбирают из числа черных отметок или задают в проекте.
3. Вычисляют проектные отметки вершин квадратов.

Исходные данные: $H_{пр.6}$, i_x , i_y , a .

Знаки "+", "-" - характеризуют повышение или понижение рельефа.

4. Вычисляют рабочие отметки.
5. Строят проектные горизонтали.

б) способ проектных горизонталей (рис. 86):

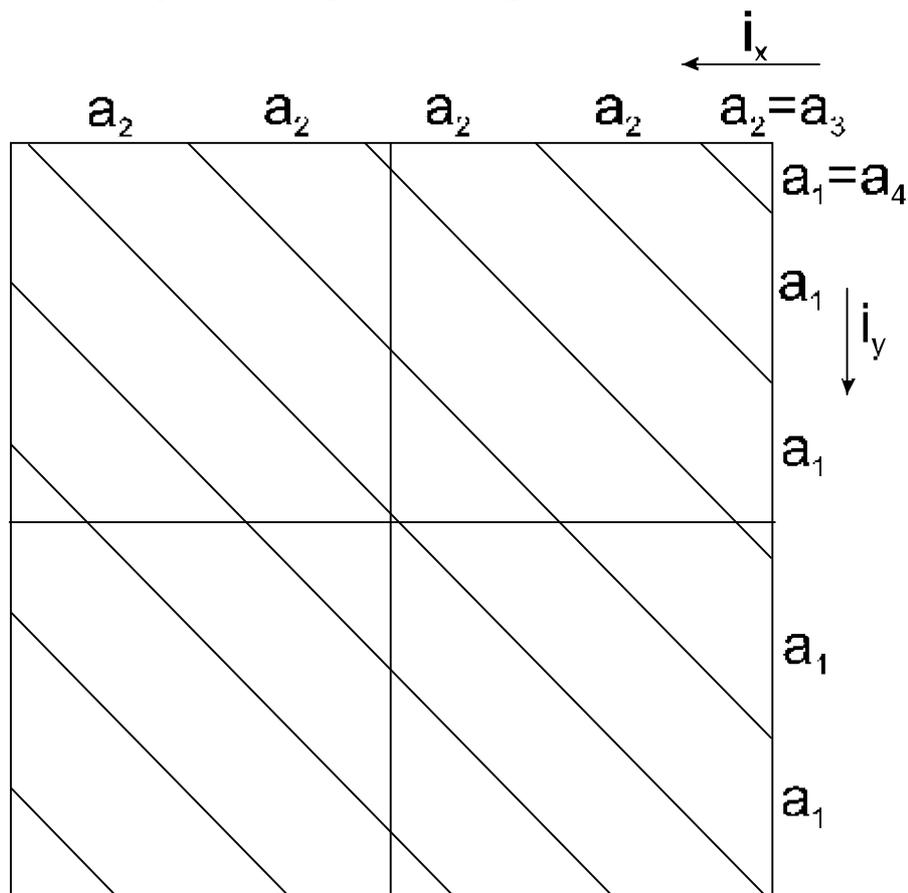


Рисунок 86.

Дано: h - высота сечения рельефа;

i_x, i_y - уклоны.

Построить проектные горизонталю.

- если H_1 кратно высоте сечения рельефа h , то вычисляют:

$$a_1 = \frac{h}{i_y}, \quad a_2 = \frac{h}{i_x};$$

- если H_1 не кратно высоте сечения рельефа, то вычисляют не полные расстояния до первой от угла 1 горизонтали a_3 и a_4 .

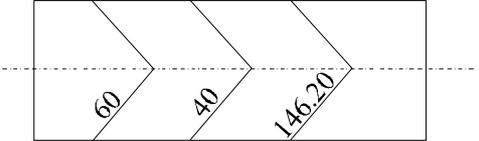
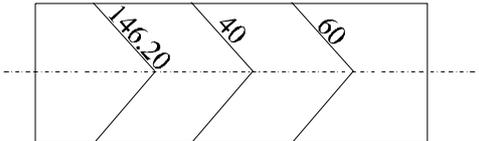
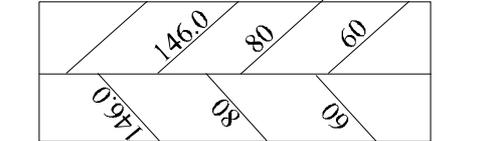
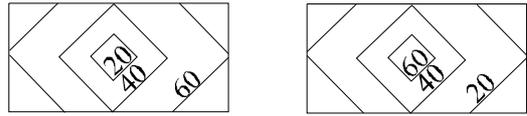
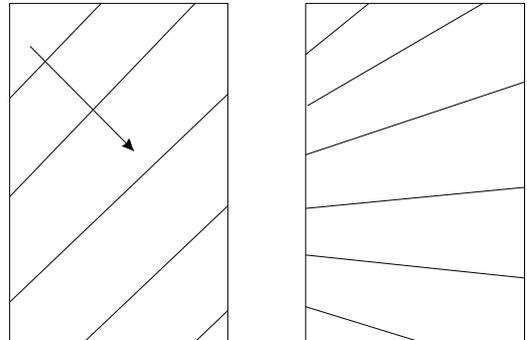
Например:

$$H_1 = 103,5 \text{ м}; \quad H_{пр.1} = 103,6 \text{ м}; \quad h_1 = H_{пр.1} - H_1.$$

$$a_4 = \frac{h_1}{i_y}, \quad a_3 = \frac{h_1}{i_x}.$$

Вычисление проектных отметок вершин квадратов выполняются аналогично рассмотренной ранее методике.

1.2.9. Условные обозначения, используемые при составлении проекта вертикальной планировки

	<p>Угол, образованный горизонталью и направленный в сторону более низких отметок, образует ГРЕБЕНЬ</p>
	<p>Угол, образованный горизонталью и направленный в сторону более высоких отметок, образует ЛОТОК</p>
	<p>Пересечение равноименных горизонталей показывает <i>вертикальную стенку</i>, высота которой равна разнице отметок пересекающихся горизонталей</p>
	<p>Замкнутые горизонтали, concentрически расположены одна в другой, изображают <i>котловину</i>, если внутри находятся более низкие горизонтали; и <i>холм</i>, если внутри лежат более высокие горизонтали</p>
	<p>Поверхность воды с планируемой площади стекает по <i>линии наибольшего ската</i>, т.е. в направлении, перпендикулярном горизонталям. Горизонтالي, представляющие <i>криволинейную плоскость</i>, изображаются в виде веера или могут быть параллельны друг другу, но на различном расстоянии одна от другой</p>

1.3. РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

1.3.1. Общие сведения о разбивочных работах

Разбивка запроектированных зданий или сооружений заключается в указании на местности их характерных точек и линий, по которым в процессе строительства при помощи простых приспособлений определяют положение всех частей зданий или сооружений. Способы перенесения точек сооружений в натуру аналогичны способам определения положения точек при съемке (полярных и прямоугольных координат, прямой угловой засечки и т. п.).

Разбивка ведется с пунктов геодезической основы, созданной еще при съемке местности для проектирования или до начала строительства. Величины необходимых разбивочных элементов проекта (углов и длин линий) предварительно определяют графически или аналитически по проектному плану.

Выбор метода подготовки элементов проекта зависит от формы, размеров, материала, способа ведения строительных работ, определяющих вместе точность возведения сооружения.

Разбивочный чертеж с указанием на нем необходимых данных (дирекционных углов, углов, длин линий, опорных и определяемых точек) подготавливают заранее и вычерчивают на чертежной бумаге, подшиваемой затем в специальные альбомы.

Способ разбивочных работ выбирают в зависимости от необходимой точности разбивки точки, наличия геодезических приборов; условий местности, способа ведения строительных работ, квалификации персонала и т. и. При этом различают метод непосредственной разбивки, состоящий в непосредственном построении разбивочных величин с заданной точностью, и метод редуцирования, основанный на предварительной разбивке точки, близкой к проектной, с последующим ее смещением в проектное положение. Метод непосредственной разбивки применяют, как правило, на работах меньшей точности, а метод редуцирования - на работах, требующих высокой точности разбивки (мостов, плотин и т. п.).

1.3.2. Способы разбивочных работ

1.3.2.1. Способ полярных координат

Для перенесения в натуру проектной точки Р строят в опорном пункте А полярный угол β , откладывают расстояние S и фиксируют точку (рис. 87).

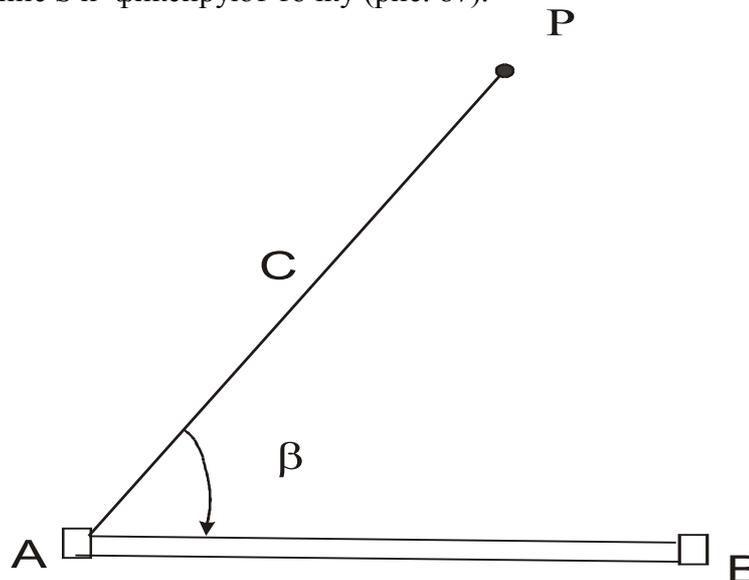


Рисунок 87 - Способ полярных координат

Точность разбивки этой точки без учета погрешностей исходных данных определяют по формуле:

$$m_p = \sqrt{\left(\frac{S \cdot m_\beta}{\rho}\right)^2 + m_s^2 + m_e^2 + m_{el}^2 + m_\phi^2},$$

где m_s - средняя квадратическая погрешность отложения расстояния S ;

m_β - средняя квадратическая погрешность построения угла β ;

m_e, m_{el} - средние квадратические смещения разбиваемой точки, обусловленные соответственно неточностью центрирования теодолита и визирной марки на исходной стороне;

m_ϕ - средняя квадратическая погрешность фиксации разбиваемой точки.

При условии равного влияния погрешностей угловых и линейных измерений имеем:

$$m_\beta \leq \frac{m_p \cdot \rho}{1,5 \cdot S}; \quad m_s \leq \frac{m_p}{1,5}; \quad \frac{m_s}{S} \leq \frac{m_p}{1,5 \cdot S}; \quad m_e = m_{el} = m_\phi \leq \frac{m_p}{5,22}.$$

1.3.2.2. Способ створно-линейных координат

Этот способ применяют в случае, если разбиваемая точка находится на опорной линии между ее концами или на ее продолжении. Теодолит и визирную цель размещают на концах опорной линии и по направлению визирования трубой теодолита откладывают проектное расстояние S и фиксируют точку C (рис. 88,а). Погрешность разбивки точки определяют по формуле:

$$m_C = \sqrt{m_{ств}^2 + m_s^2 + m_\phi^2}; \quad m_{ств} = \sqrt{m_e^2 + m_{el}^2 + m_{виз}^2 + m_u^2},$$

где $m_{ств}$ - погрешность створа;

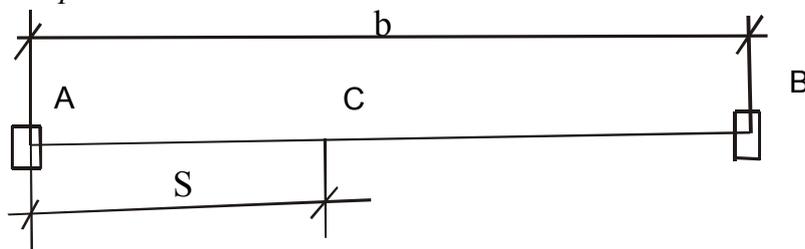
m_s - погрешность построения длины S ;

m_ϕ - погрешность фиксации точки;

m_u - СКО исходных пунктов;

$m_{виз}$ - СКО фокусирования (визирования).

а) разбиваемая точка на опорной линии



Б)

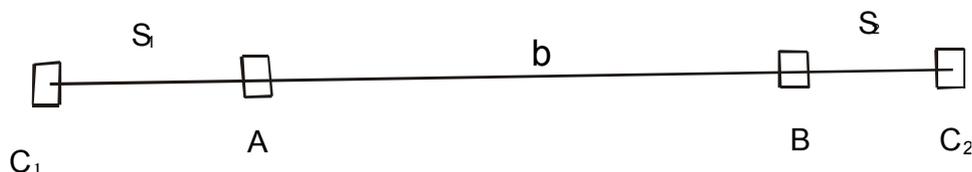


Рисунок 88 – Способ створно-линейных координат

Если разбиваемая точка находится на продолжении опорной линии (рис. 88,б), то створ задается либо поворотом трубы через зенит, либо построением угла в 180° (в обоих случаях при двух положениях круга и аналогично полярному способу). Более производительный и точный первый способ.

б) точка вне опорной линии.

Если точку Р разбивают на продолжении створа АВ, то погрешность построения самого створа возрастает пропорционально его длине, поэтому применять этот способ на большом протяжении не рекомендуется.

Пример. Требуется разбить точку Р в створе линии строительной сетки длиной 200 м, имеющей предельную относительную погрешность 1: 10 000, на расстоянии 75 м при помощи теодолита типа Т-2 в комплекте с визирными марками, снабженными оптическими центрами (линейные элементы центрировки и редукции $e = e_1 = 0.5$ мм), и мерного прибора, обеспечивающего измерение линии с погрешностью $m_S = 5$ мм.

В результате расчета получено:

$$m_e = \frac{l}{\sqrt{2}} \cdot \frac{b-S}{S}; \quad m_e = 0,2 \text{ мм};$$

$$m_{e1} = \frac{l_1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{S}{b}; \quad m_{e1} = 0,1 \text{ мм};$$

$$m_{\text{виз}} = \frac{30'' \cdot \sqrt{2} \cdot S}{v \cdot \rho}; \quad m_{\text{виз}} = \frac{30'' \cdot \sqrt{2} \cdot 200000}{25 \cdot 206265} = 1,6 \text{ мм},$$

где b - длина створа;

$30''$ - средняя разрешающая способность невооруженного глаза;

v - увеличение зрительной трубы.

При фиксации точки с погрешностью $m_\phi = 0.5$ мм получим:

$$m_p = \sqrt{0,2^2 + 0,1^2 + 1,6^2 + 5,0^2 + 0,5^2} = 6,1 \text{ мм}.$$

Здесь влияние отложения длины оказалось доминирующим.

1.3.2.3. Способ прямоугольных координат

В основу способа положена разбивка проектной точки Р от линии геодезической основы АВ, чаще - от линии строительной сетки, полигонометрии или теодолитного хода (рис. 89) по прямоугольным координатам х и у относительно точки А, взятой за начало частной системы координат, и линии АВ - в качестве частной оси абсцисс.

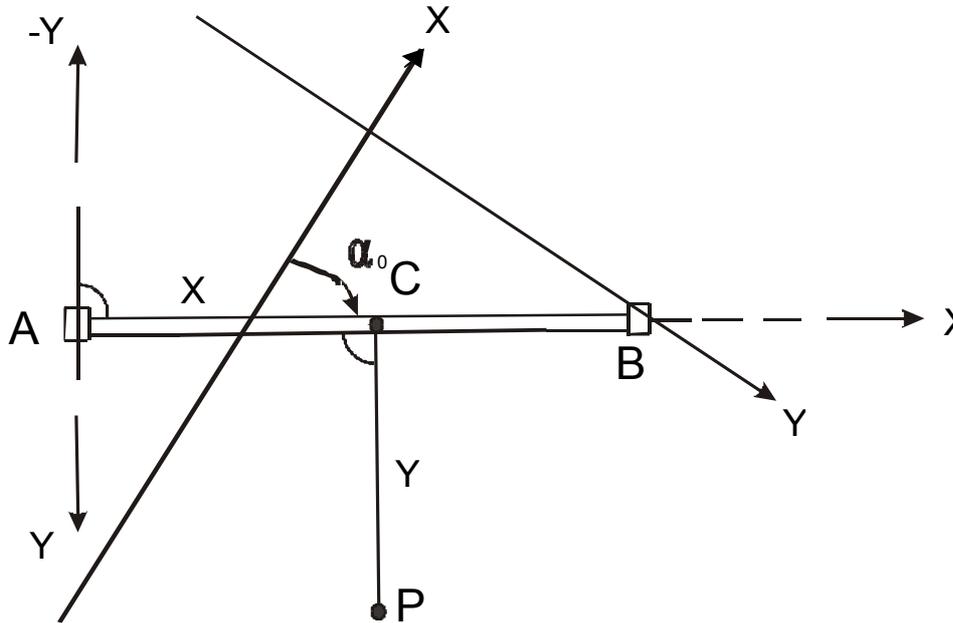


Рисунок 89 - Разбивка точки способом прямоугольных координат

Прямоугольные координаты определяют по формулам:

$$x = (X_P - X_A) \cdot \cos \alpha_0 + (Y_P - Y_A) \cdot \sin \alpha_0;$$

$$y = (Y_P - Y_A) \cdot \cos \alpha_0 - (X_P - X_A) \cdot \sin \alpha_0,$$

где X_A, X_P, Y_A, Y_P - абсолютные координаты исходной и проектной точек;

α_0 - дирекционный угол опорной линии АВ.

Знаки ординат указывают направление откладывания их от створных точек линии АВ: при положительной - вправо, при отрицательной - влево. Если абсцисса х отрицательная, то ее откладывают от точки А в противоположном направлении линии АВ.

Для разбивки точки теодолит устанавливают в пункте А и ориентируют по линии АВ при помощи визирной цели, установленной в пункте В. Затем вдоль линии визирования откладывают расстояние х и фиксируют створную точку С. Устанавливают в ней теодолит, строят прямой угол при двух положениях круга с выбором средней точки и, отложив ординату у, фиксируют проектную точку Р.

Среднюю квадратическую погрешность точки Р определяют по формуле:

$$m_P = \sqrt{m_x^2 + \left(\frac{y \cdot m_p}{\rho}\right)^2 + 2 \cdot (m_e^2 + m_{e1}^2 + m_\phi^2) + m_y^2}.$$

Здесь в скобки заключены погрешности установок и фиксации, влияние которых невелико.

Поэтому, применив к отдельным членам подкоренного выражения принцип комбинированного влияния (равного и неравного в зависимости от величины составляющих), получим:

$$m = \frac{m_p}{\sqrt{2 \cdot v^2 + 1}}; \quad T \geq \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{m}; \quad m \leq \frac{m_p}{y}; \quad m_e = m_{e1} = m_\phi \leq \frac{m}{\sqrt{6}},$$

где Т - знаменатель предельной относительной погрешности линейных измерений при откладывании расстояний;

m - некоторая вспомогательная погрешность;

v - коэффициент соотношения погрешностей, принимаемый в зависимости от имеющихся инструментов и условий производства работ (обычно $v = 2, 2.5$ или 3).

Пример. Определить, с какой погрешностью следует производить разбивку проектной точки с прямоугольными координатами $x = 80$ м и $y = 60$ м, если ее среднее квадратическое отклонение от проекта не должно превышать $m_p = 25$ мм.

Приняв $v = 2$, получим $T \geq 3\ 000$; $m_\beta < 57''$; $m_e = m_{e1} = m_\phi = 3.4$ мм. По этим данным выбирают приборы для производства работ: теодолит $30''$ точности, рулетку, тонкую веха. Приборы центрируют средним нитяным отвесом, точки фиксируют шпилькой на колышке.

1.3.2.4. Способ полярно-прямоугольных координат

Этот способ является модификацией способа прямоугольных координат с той лишь разницей, что координаты строят на вспомогательной линии AB' , составляющей угол φ с линией геодезической основы AB .

Например, по условиям строительства необходимо разбить ряд точек P_1, P_2, \dots, P_n , находящихся на одной прямой или нескольких параллельных прямых с заданным дирекционным углом α (рис. 90). При известных дирекционных углах α и α_0 направлений AB и AB' определяют угол $\varphi = \alpha - \alpha_0$. Откладывая его от направления AB , строят вспомогательную линию AB' . Она является базовой для построения прямоугольных координат x и y пунктов застройки, найденных по формулам:

$$x = (X_p - X_A) \cdot \cos \alpha_0 + (Y_p - Y_A) \cdot \sin \alpha_0$$

$$y = (Y_p - Y_A) \cdot \cos \alpha_0 + (X_p - X_A) \cdot \sin \alpha_0$$

с использованием дирекционного угла α линии AB' .

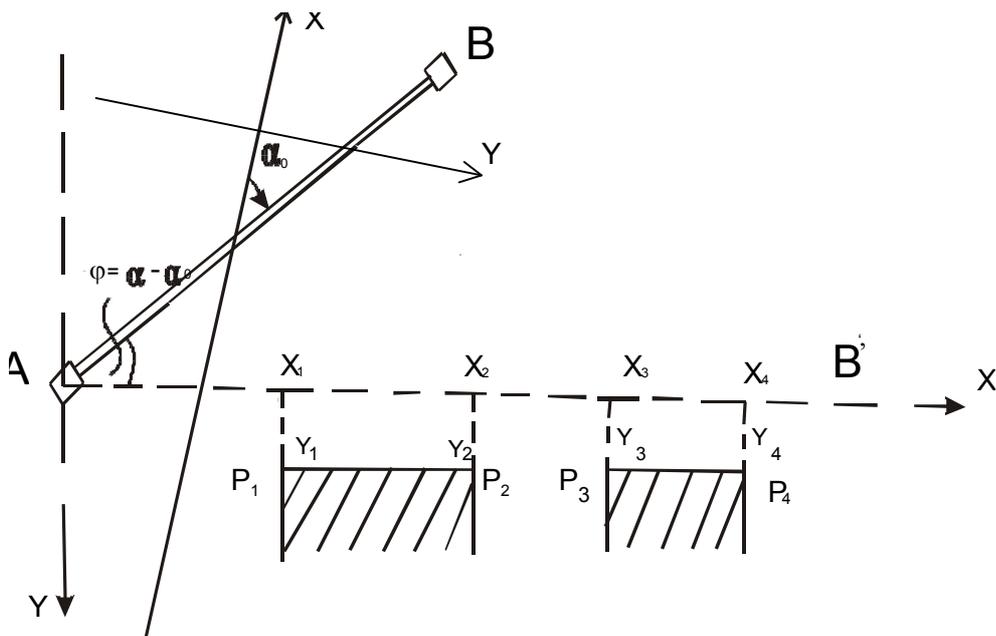


Рисунок 90 - Способ полярно-прямоугольных координат

Применение способа полярно-прямоугольных координат позволяет сократить длины ординат и создать лучшие условия для разбивочных работ. Точность разбивки определяют по формуле:

$$m_p = \sqrt{m_x^2 + \left(\frac{y \cdot m_\beta}{\rho}\right)^2 + 2 \cdot (m_e^2 + m_{e1}^2 + m_\phi^2) + m_y^2}$$

с учетом погрешности разворота линии AB' , выраженной зависимостью:

$$(m_p)_{AB'} = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \frac{m_\phi}{\rho},$$

где m_ϕ - погрешность построения угла φ .

1.3.2.5. Способ прямой угловой засечки

Этот способ применяется для разбивки удаленных и труднодоступных объектов - мостовых переходов и гидротехнических сооружений. При этом, положение проектной точки P с известными координатами определяют в натуре путем построения двух проектных углов β_1 и β_2 соответственно в двух твердых пунктах A и B (рис. 91).

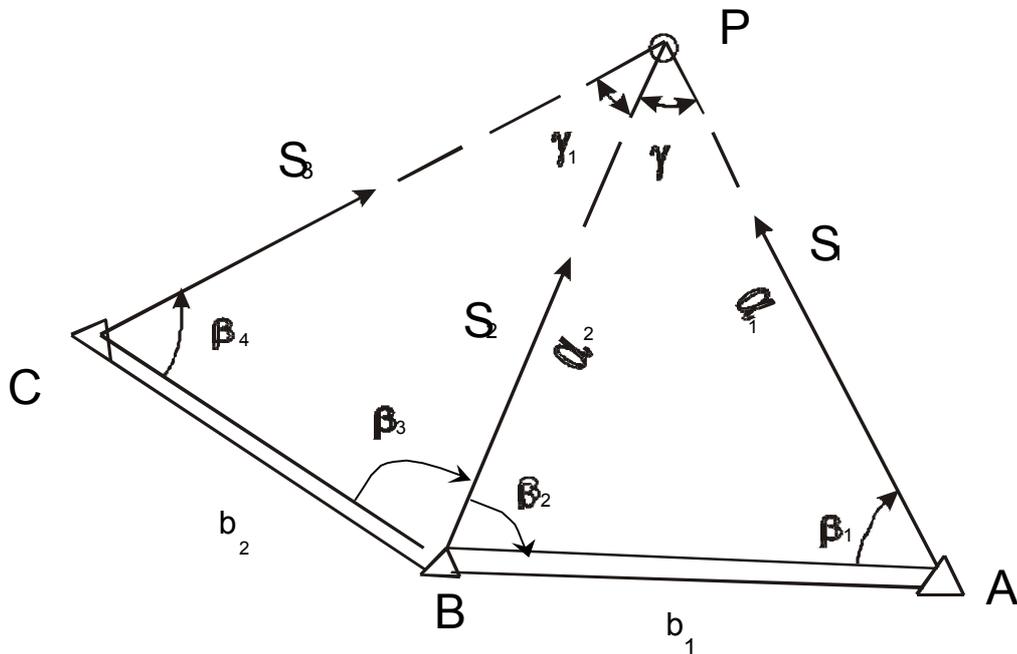


Рисунок 91 - Прямая угловая засечка

На точность разбивки влияют следующие источники: погрешность собственно прямой засечки и погрешность, обусловленная неточностью фиксации линий засечки (более подробно рассмотрено в вопросе мостовой триангуляции).

1.3.2.6. Способ замкнутого треугольника

Способ используется для уточнения положения точки, разбиваемой прямой угловой засечкой, главным образом при отсутствии дополнительных опорных пунктов.

Теодолит устанавливают в найденной точке и измеряют третий угол треугольника. Распределив невязку поровну или в соответствии с весами измеренных углов, определяют координаты точки P (рис. 92). Сравнив их с проектными, находят поправки - редукции, на которые смещают первоначально найденную точку в проектное положение.

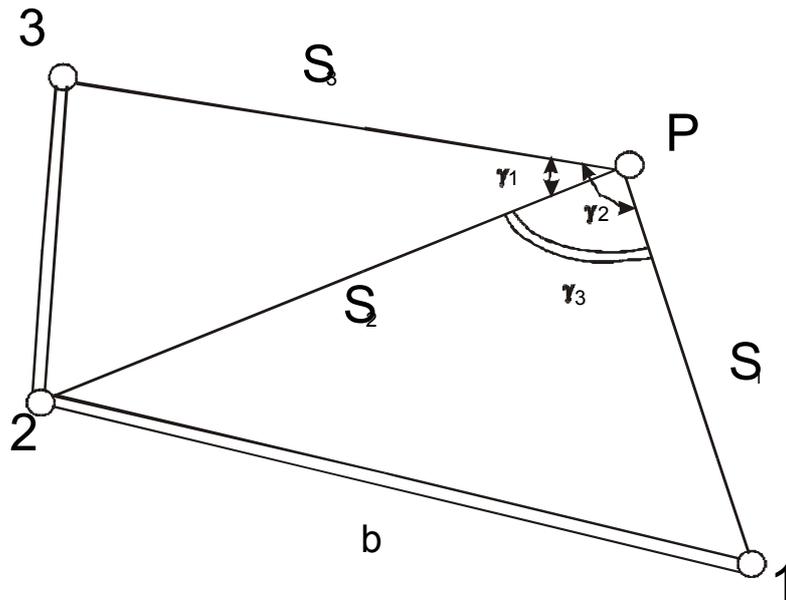


Рисунок 92 - Вставка точки в треугольник

Для оценки точности ее определения применяют формулу Ф. Красовского (без учета исходных данных).

$$m_P = \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma} \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2 + b^2}{3}}$$

При разбивке точки с трех пунктов (при вставке точки в треугольник) применяют формулу проф. К.Л. Проворова :

$$m_P = \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{(S_1 S_2)^2 + (S_1 S_3)^2 + (S_2 S_3)^2}{(S_1 \sin \gamma_1)^2 + (S_2 \sin \gamma_2)^2 + (S_3 \sin \gamma_3)^2}}$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ - углы засечки соответственно между визирными лучами 2 и 3, 1 и 3, 1 и 2;

S_1, S_2, S_3 - длины визирных лучей с пунктов 1, 2, 3.

1.3.2.7. Способ линейной засечки

Способ применяется, в основном, для разбивки точек сооружений по расстояниям S_1 и S_2 , которые не превышают длины мерных приборов. Свето-, радио- и оптические дальномеры целесообразно применять по методу редуцирования. Разбивка состоит в нахождении точки пересечения дуг, построенных мерными приборами длиной S_1 и S_2 , поэтому ее можно осуществлять двумя или поочередно одним мерным прибором (рис. 93).

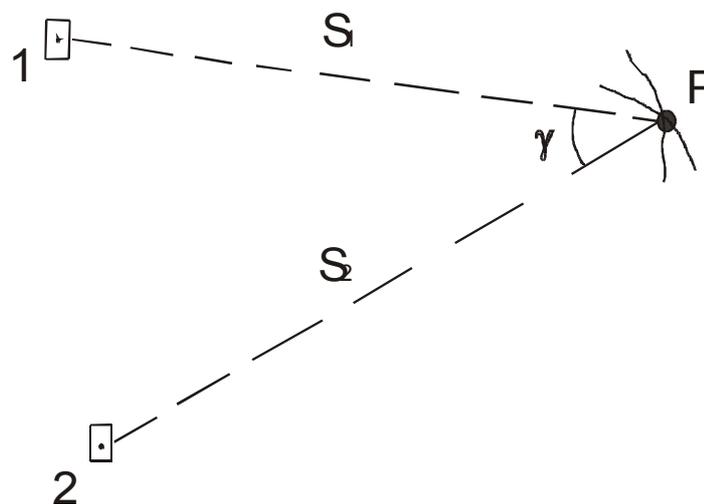


Рисунок 93 - Построение точки способом линейной засечки

Точность разбивки определяют по формуле:

$$m_P = \sqrt{\frac{m_{S1}^2 + m_{S2}^2}{\sin^2 \gamma} + m_{\phi}^2},$$

где m_{S1}, m_{S2} - погрешности откладывания длин S_1 и S_2 ;

m_{ϕ} - погрешность фиксации точки.

1.3.2.8. Способ створной засечки

Способ заключается в определении положения точки на пересечении двух створов, составляющих между собой угол засечки γ . Обычно, створы задают теодолитами, проволоками или струнами. Благодаря простоте применения и высокой точности, этот способ широко применяется в промышленном строительстве при пересечении створов под прямым углом ($\gamma=90^\circ$).

По характеру проявления погрешностей, способ близок к способу прямой угловой засечки, но точнее его. Погрешность разбивки точки способом створной засечки определяют по формуле:

$$m_P = \frac{\sqrt{m_{све1}^2 + m_{све2}^2 + 2m_{\phi}^2}}{\sin \gamma}$$

где $m_{све1}, m_{све2}$ - погрешности построения створов.

1.3.2.9. Способ обратной угловой засечки

Способ применяется для уточнения положения приближенной точки сооружений при помощи измеренных на ней горизонтальных углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ на три опорные пункта (рис. 94) с последующим редуцированием (при разбивке центров мостовых опор, бычков плотин и других сооружений).

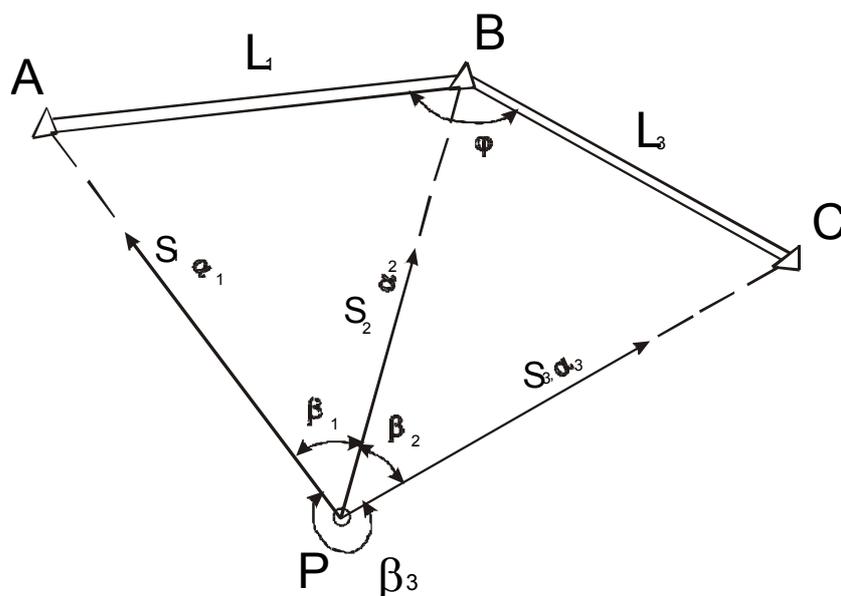


Рисунок 94 - Обратная засечка

Погрешность положения точки определяют по формулам:

$$m_P = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} = \frac{S_2 m_\beta}{\rho \sin(\varphi + \beta_1 + \beta_3)} \cdot \sqrt{\left(\frac{S_1}{L_3}\right)^2 + \left(\frac{S_3}{L_1}\right)^2};$$

$$m_x = \frac{m_\beta}{\rho \Delta} \cdot \sqrt{S_1^2 (S_2 \cdot \cos \alpha_3 - S_3 \cdot \cos \alpha_2)^2 + S_3^2 (S_2 \cos \alpha_1 - S_1 \cos \alpha_2)^2};$$

$$m_y = \frac{m_\beta}{\rho \cdot \Delta} \sqrt{S_1^2 (S_2 \cdot \sin \alpha_3 - S_3 \cdot \sin \alpha_2)^2 + S_3^2 (S_2 \cdot \sin \alpha_1 - S_1 \cdot \sin \alpha_2)^2};$$

$$\Delta = S_1 \cdot \sin \beta_3 + S_2 \cdot \sin \beta_2 + S_3 \cdot \sin \beta_1,$$

где S_1, S_2, S_3 - расстояния от опорных пунктов;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ - дирекционные углы направлений засечки;

L_1, L_3 - расстояния между опорными пунктами 1 и 2, 2 и B;

φ - угол на пункте B между сторонами опорной сети.

Общую редукцию (смещение точки P в проектное положение P₀ и ее ориентировку) определяют по разности абсцисс и ординат указанных точек. В связи с большим объемом вычислений при малых величинах смещений, целесообразно пользоваться дифференциальным методом.

Контроль определения осуществляется по четвертому опорному пункту. Необходимо помнить, что обратная засечка не имеет решения, если определяемая точка и все опорные точки находятся на проведенной через них окружности («опасная окружность»). По исследованиям, уход наружу и вовнутрь «опасной окружности» на расстояние 10% ее радиуса уже обеспечивает уверенное определение точки, так как сумма углов $(\varphi_2 + \beta_1 + \beta_3) \neq 180^\circ$.

1.3.2.10. Способ проектного полигона

Способ применяется для разбивки вытянутых подземных и надземных сооружений - тоннелей, каналов, линий электропередачи (ЛЭП), трубопроводов, кабелей и т.п. Этот способ часто называют способом полигонометрии.

Сущность его заключается в последовательном применении полярного способа определения положения точек. Полигонометрический (теодолитный) ход исходит из пункта геодезической основы и включает в себя разбивочные точки сооружения (рис. 95).

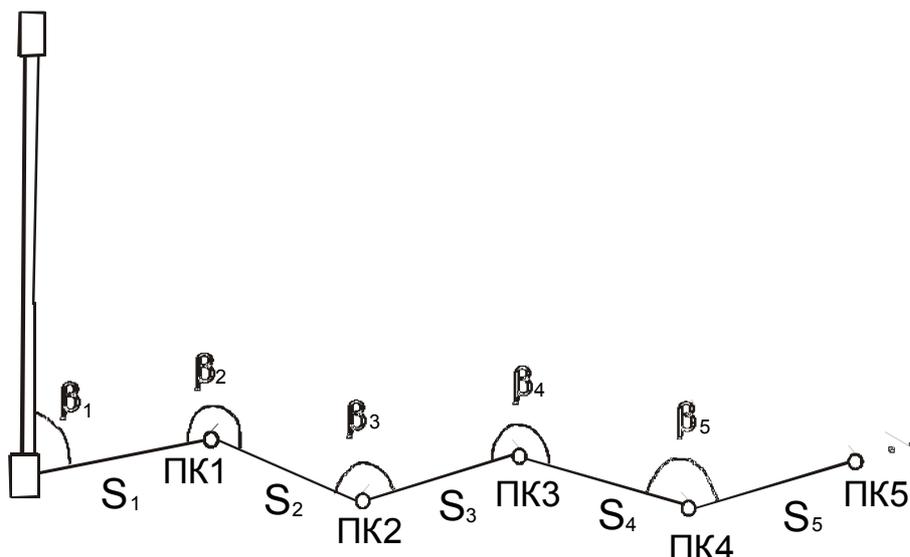


Рисунок 95 – Способ проектного полигона

Ходы могут быть висячими и разомкнутыми. Точность измерения углов и длин линий в ходах определяется требованиями к точности разбивки сооружений. Расчет точности ведется по соответствующим формулам полигонометрии. Уравнивание проектного полигона сводится к перемещению его пунктов параллельно невязке и пропорционально удалению искомого пункта от начального. Если местоположение сооружения неизвестно, то полигонометрический ход прокладывают вблизи оси сооружения. После уравнивания хода разбивают точки сооружений из пунктов полигонометрического хода, например, полярным способом. Иногда полигонометрический ход заменяют другими видами геодезической основы - триангуляцией, трилатерацией или линейно-угловой сетью.

1.3.2.11. Разбивка точек способом редуцирования

При точных и высокоточных разбивочных работах, однократное построение разбивочных элементов (углов и длин линий) не обеспечивает достаточной точности, поэтому, применяют метод редуцирования.

Метод редуцирования заключается в смещении приближенной точки в проектное положение.

Основные этапы метода включают:

- * предварительную разбивку приближенной точки
- * точное измерение элементов разбивки для приближенной точки
- * сравнение их с проектными величинами и вычисление редукций (отклонений)
- * смещение приближенной точки в проектное положение на основании вычисленных величин редукций.

Значение редукций удобно представлять прямоугольными или полярными координатами, и привязывать их к одному из направлений визирования с опорного пункта, которое принимается в качестве условной оси абсцисс. Направление смещения приближенной точки в проектное положение определяется знаком прямоугольных редукций r_x и r_y . По ним вычисляют угловой и линейный элементы общей редукции, привязанной к условной оси абсцисс по формулам:

$$\alpha_r = \arctg \frac{r_y}{r_x};$$

$$r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} = \frac{r_x}{\cos \alpha_r} = \frac{r_y}{\sin \alpha_r}.$$

Способ реализации редуций зависит от их величины: при $r \geq 200$ мм применяется полярный способ с откладыванием угла теодолитом и расстояния- рулеткой. При $r < 100-200$ мм - способ прямоугольных координат с использованием координатной палетки.

Палетка изготавливается из прозрачного синтетического материала, например лавсана, размером 200x200 или 400x400 мм с сеткой 10x10 мм (рис. 96).

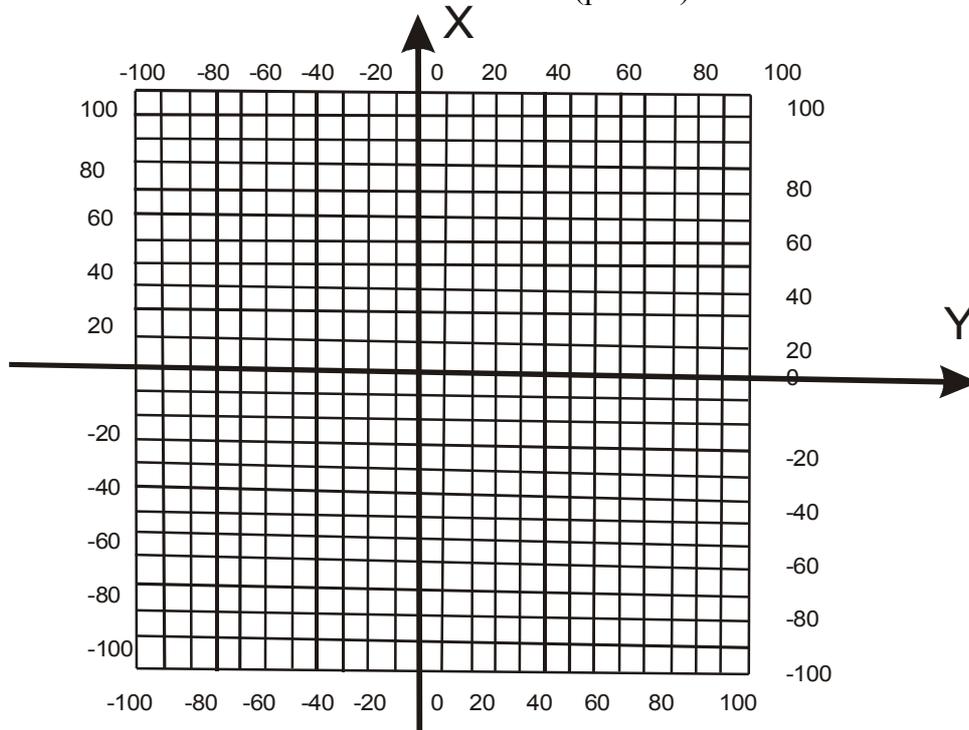


Рисунок 96 - Редуционная палетка

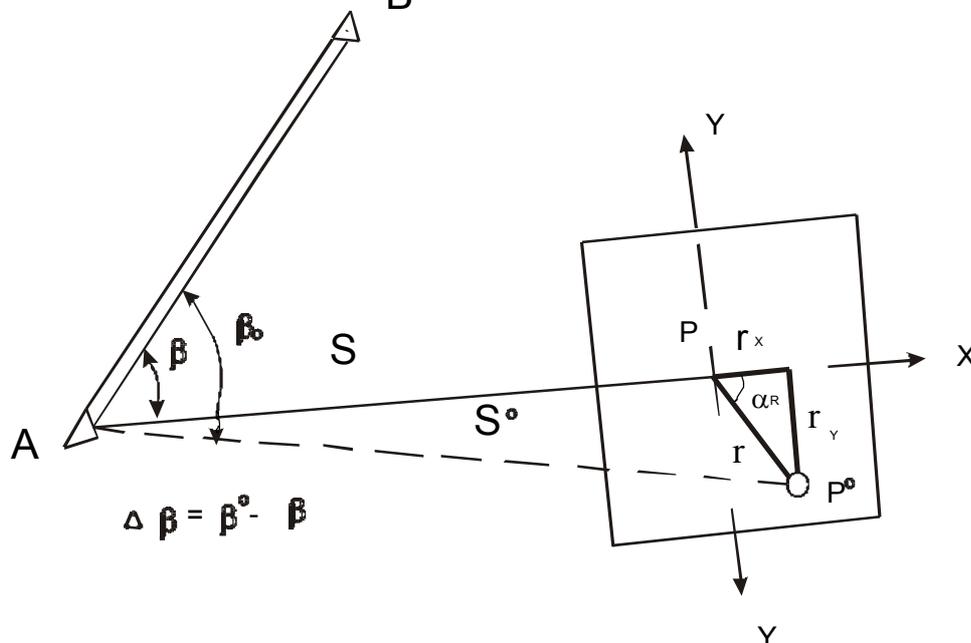


Рисунок 97 - Редуцирование точки при способе полярных координат

Для редуцирования палетка укладывается началом координат в приближенной точке и ориентируется по направлению условной оси абсцисс. Затем, на палетке откладывают величины редуций r_x и r_y с учетом их знаков. Проектная точка фиксируется на сооружении - металлической пластине знака, бетона и т. п. Основным недостатком палетки, укладываемой на земле, - трудность ориентирования ее по условной оси абсцисс, что приводит к ее развороту и,

как следствие - к погрешностям редуцирования. Поэтому, удобнее пользоваться специальным геодезическим редуционным прибором (ГРП), разработанным в Киевском инженерно-строительном институте.

Прибор (ГРП) представляет собой двух координатный измерительный столик с втулкой подставки в середине для размещения визирной марки, отражателя дальномера, оптического центрира или теодолита. При помощи трех станковых винтов столик прикрепляют к рамной головке специального штатива. Координатные оси столика по линии визирования ориентируют при помощи оптического визира с поворотным зеркалом. Подставка, закрепляющая приближенную точку, смещается двумя штурвалами. При этом, величина перемещения измеряется на шкалах координатного столика. Проектная точка сносится на рабочий горизонт (выше или ниже столика) при помощи оптического центрира или прибора вертикально визирования.

Для способа полярных координат (рис. 97) редукции имеют вид:

$$\begin{aligned} r_x &= S^0 - S; \\ r_y &= \frac{S^0}{\rho} \cdot \Delta\beta; \\ \Delta\beta &= \beta^0 - \beta, \end{aligned}$$

где S^0, S - расстояния и горизонтальные углы к проектной P_0 и приближенной P точкам сооружения.

Редукции r_x и r_y привязаны к точке P и направлению AP , взятым условно за начало координат и положительное направление оси абсцисс.

Аналогично получается и в способе створно-линейных координат, однако здесь величину r_y удобно свести к нулю перемещением подставки теодолита ГРП в поперечном направлении.

В способе прямоугольных координат, который является комбинацией способов створа и полярных координат, редуцирование рационально производить отдельно: сначала для створной, а затем - для конечной точки, аналогично полярному.

При разбивке точек сооружений 3-х лучевой прямой угловой засечкой, переносят в натуру приближенную точку P (рис. 98), измеряют для нее углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Сопоставляя их с проектными значениями $\beta_1^0, \beta_2^0, \beta_3^0$, вычисляют вспомогательные величины:

$$\begin{aligned} u_1 &= \frac{S_1^0}{\rho} \cdot \Delta\beta_1; \quad \Delta\beta_1 = \beta_1^0 - \beta_1; \\ u_2 &= \frac{S_2^0}{\rho} \cdot \Delta\beta_2; \quad \Delta\beta_2 = \beta_2^0 - \beta_2; \\ u_3 &= \frac{S_3^0}{\rho} \cdot \Delta\beta_3 \quad \Delta\beta_3 = \beta_3^0 - \beta_3, \end{aligned}$$

а затем и сами редукции:

$$\begin{aligned} r_x &= \frac{u_2 - u_1 \cdot \cos \gamma_{12}^0}{\sin \gamma_{12}^0} = \frac{u_3 - u_1 \cdot \cos \gamma_{13}^0}{\sin \gamma_{13}^0}; \\ r_y &= u_1; \\ \gamma_{12}^0 &= \alpha_2^0 - \alpha_1^0; \\ \gamma_{13}^0 &= \alpha_3^0 - \alpha_1^0. \end{aligned}$$

где $S_1^0, \alpha_1^0, S_2^0, \alpha_2^0, S_3^0, \alpha_3^0$ - проектные расстояния и дирекционные углы направлений засечек.

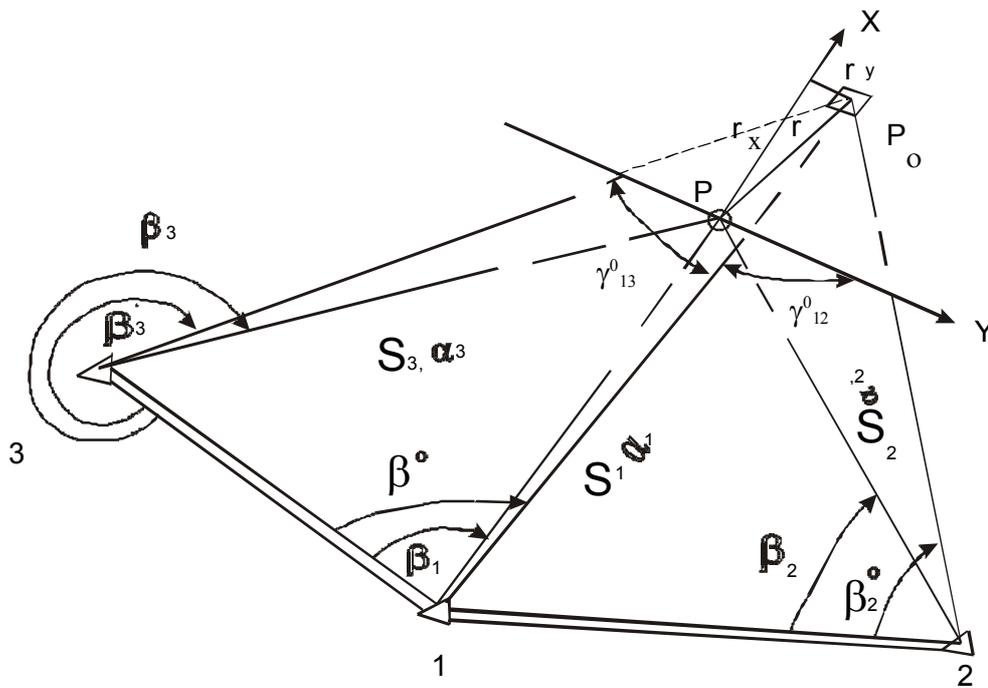


Рисунок 98 - Редуцирование точки в способе угловой засечки

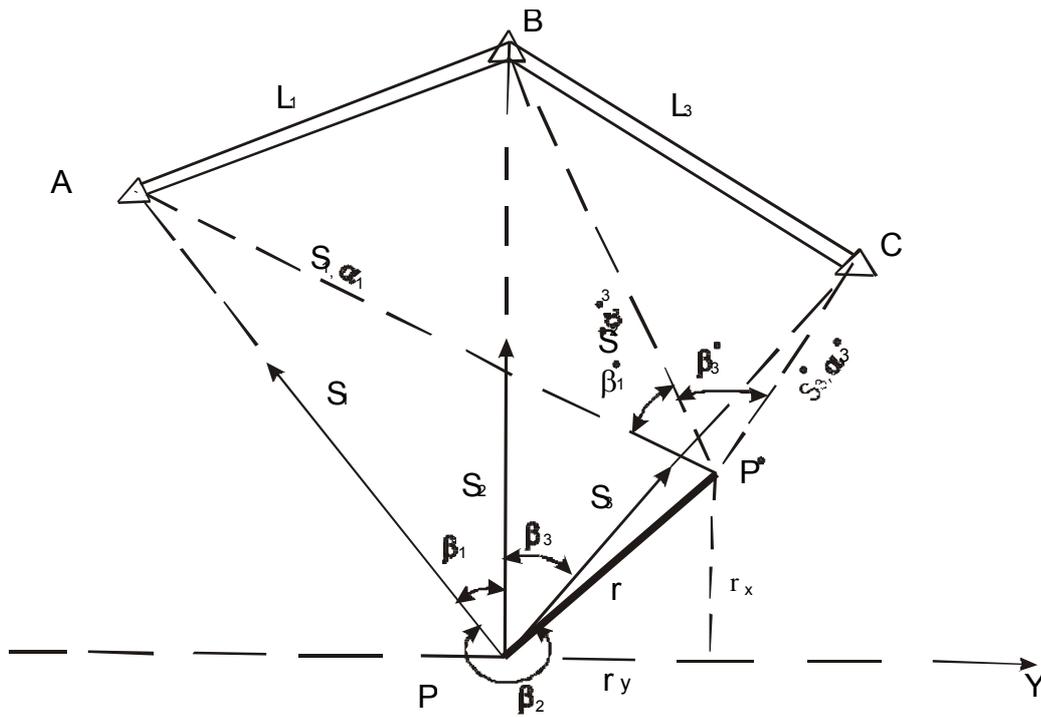


Рисунок 99 - Редуцирование точки при обратной угловой засечке

Аналогичное положение имеем при створной засечке. Так как в промышленном и гражданском строительстве створная засечка применяется с $\gamma=90^\circ$, то:

Реализация таких редуций при помощи ГРП очень проста, эффективна и точна.

Для прямой линейной засечки с трех пунктов (см. рис. 98) определяют следующие величины:

$$\begin{aligned}
t_1 &= S_1^0 - S_1; \\
t_2 &= S_2^0 - S_2; \\
t_3 &= S_3^0 - S_3; \\
r_x &= t_1; \\
r_y &= \frac{t_2 - t_1 \cdot \cos \gamma_{12}^0}{\sin \gamma_{12}^0} = \frac{t_3 - t_1 \cdot \cos \gamma_{13}^0}{\sin \gamma_{13}^0}.
\end{aligned}$$

В обратной линейной засечке, когда исполнитель находится в разбиваемой точке, эти редукции меняют знак. Так, в случае однократной обратной угловой засечки (рис. 99) по разностям углов находят следующие величины:

$$\begin{aligned}
u_1 &= \frac{S_1^0}{\rho} \Delta \beta_1; & f_1 &= \frac{S_1^0}{S_2^0} - \cos \beta_1^0; \\
u_3 &= \frac{S_3^0}{\rho} \Delta \beta_2; & f_3 &= \frac{S_3^0}{S_2^0} - \cos \beta_3^0; \\
F &= f_1 \sin \beta_3^0 + f_3 \sin \beta_1^0; \\
r_x &= \frac{u_3 f_1 + u_1 f_3}{F}; \\
r_y &= \frac{u_3 \sin \beta_1^0 - u_1 \sin \beta_3^0}{F},
\end{aligned}$$

где f_1, f_3, F - вспомогательные величины, которые можно вычислить до начала полевых работ.

Редукции привязаны к среднему направлению Р-В, принятому в качестве условной оси абсцисс. Если используется четвертый опорный пункт, решение сводится к двум задачам. По указанным величинам упрощается и оценка точности редуций:

$$\begin{aligned}
m_{rx} &= \frac{m_\beta}{\rho \cdot F} \sqrt{(S_1^0 f_3)^2 + (S_3^0 \cdot f_1)^2}; \\
m_{ry} &= \frac{m_\beta}{\rho \cdot F} \sqrt{(S_1^0 \sin \beta_3^0)^2 + (S_3^0 \sin \beta_1^0)^2}; \\
m_r &= \frac{m_\beta}{\rho \cdot F \cdot S_2^0} \sqrt{(S_1^0 L_3)^2 + (S_3^0 L_1)^2},
\end{aligned}$$

где m_β - погрешность измерения угла;

L_1, L_3 - длины твердых сторон 1-2 и 2-3.

В способе обратной биполярной засечки, применяемой для введения приближенной точки С в створ линии АВ при отсутствии видимости между ее концами, определяют угол нестворности $\gamma = 180^\circ - \beta$, где β - угол между направлениями на твердые пункты.

На рисунке 100 показано три случая решения задачи для смещения одной, двух и трех приближенных промежуточных точек С в створ при наличии взаимной видимости между ними и конечными пунктами створа. Необходимые редукции вычисляются по формулам:

$$r_1 = \frac{S_1^0 S_2^0 \gamma}{[S^0] \cdot \rho};$$

$$r_1 = \frac{S_1^0 (S_2^0 + S_3^0) \cdot \gamma_1}{[S^0] \cdot \rho} + \frac{S_1^0 S_3^0 \cdot \gamma_2}{[S^0] \cdot \rho};$$

$$r_2 = \frac{S_3^0 (S_1^0 + S_2^0) \cdot \gamma_2}{[S^0] \cdot \rho} + \frac{S_1^0 S_3^0 \gamma_1}{[S^0] \cdot \rho};$$

$$r_2 = \frac{(S_1^0 + S_2^0) \cdot (S_3^0 + S_4^0) \cdot \gamma_2}{[S^0] \cdot \rho} - \frac{S_1^0 (S_3^0 + S_4^0) \cdot \gamma_1}{[S^0] \cdot \rho};$$

$$r_1 = \frac{S_1^0}{S_1^0 + S_2^0} \left(S_2^0 \frac{\gamma_1}{\rho} + r_2 \right);$$

$$r_3 = \frac{S_4^0}{S_3^0 + S_4^0} \left(S_3^0 \frac{\gamma_3}{\rho} + r_2 \right),$$

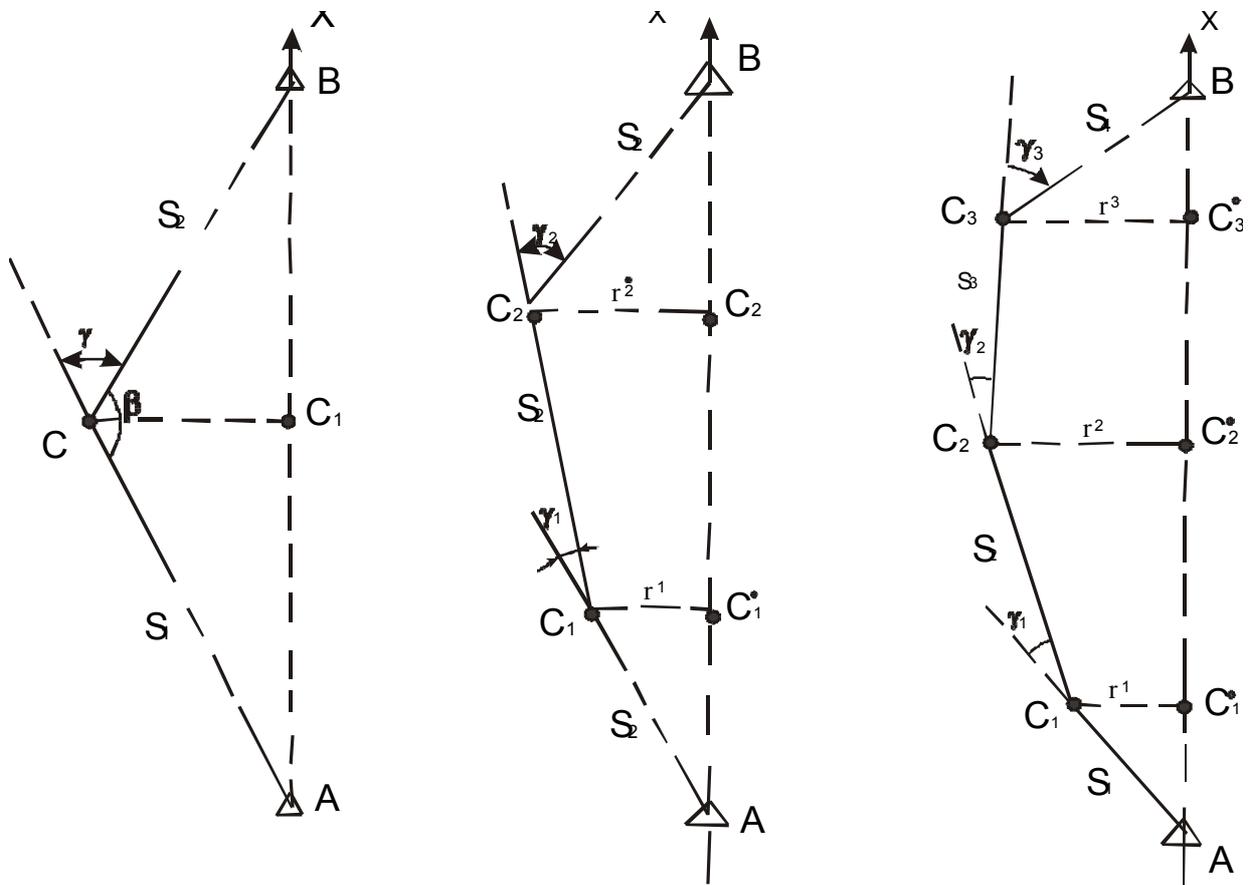


Рисунок 100 - Способ обратных биполярных засечек

где r - редукции - перпендикуляры к направлению створа; $[S^0]$ - длина створа AB.

Точность определения редукций зависит от степени приближения точки C к створу: чем ближе точка к створу, тем выше точность. Погрешность редукций выражается приближенной зависимостью:

$$m_r = \frac{S \cdot m_\gamma}{2\rho} \sqrt{n \cdot i},$$

где S - средняя длина луча визирования;

n - число промежуточных точек створа;

i - порядковый номер промежуточной точки в створе относительно его конечных пунктов;

m_γ - погрешность измерения угла нестворности.

Данный способ применяется при разбивке осей сооружений (определение точки их пересечения), трассировании ЛЭП, канатных дорог и т.п. Редукцию при всех способах разбивки вычисляют по простым формулам, без высокой точности (на счетной линейке). Вспомогательные величины (углы, дирекционные углы и расстояния) можно получить графически с плана с относительной погрешностью 1: 300. Высокая точность измерений требуется только для основных элементов, определяющих точность разбивки точек сооружений.

При избыточных измерениях определяют средневзвешенное (редко - среднее) значение редукций. В сложных системах рационально определять редукции из уравнивания измеренных величин, например, параметрическим методом.

1.3.3. Влияние исходных данных на точность плановой разбивки точек сооружений

Погрешности геодезической основы строительной площадки оказывают влияние на точность положения разбиваемых точек. Поэтому, необходимо либо учитывать эти погрешности, что представляет большие трудности, либо строить опорную сеть с такой точностью, чтобы ее погрешности были практически неощутимы.

Приближенные закономерности проявления этих погрешностей установлены и приведены в табл. 12 для отдельных способов разбивки. В ней величина $(m_p)_{исх}$ - представляет собой смещение разбиваемой точки, обусловленное точностью взаимного положения исходных пунктов и геометрией геодезического построения при разбивке. При заданном $(m_p)_{исх}$ можно определить предельную относительную погрешность опорной геодезической сети.

Таблица 12²

Способ разбивки точки	Формула погрешности в положении разбиваемой точки	
	из расчета на один опорный пункт	из расчета на опорную сторону (рабочую систему)
Полярных, прямоугольных, полярно-прямоугольных, створно-линейных и створно-полярных координат	$(m_p)_{исх} = \frac{b}{2 \cdot T}$	$(m_p)_{исх} = \frac{b}{\sqrt{2} \cdot T}$
Прямой угловой засечки	$(m_p)_{исх} = \frac{S}{2 \cdot T}$	$(m_p)_{исх} = \frac{\sqrt{S_1^2 + S_2^2}}{2 \cdot T}$
Линейной засечки	$(m_p)_{исх} = \frac{S_1}{2\sqrt{2} \cdot T}$	$(m_p)_{исх} = \frac{I}{2\sqrt{2} \cdot T} \times \sqrt{(S_1 \operatorname{ctg} \beta_2)^2 + (S_2 \operatorname{ctg} \beta_1)^2}$
Обратной угловой засечки ³	-	$(m_p)_{исх} = \frac{b}{2\sqrt{6} \cdot T}$
Т - знаменатель предельной относительной погрешности стороны геодезической основы; b - длина этой стороны; S - длина визирного луча; β - угол при опорном пункте		

² Левчук Г.П. Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1970

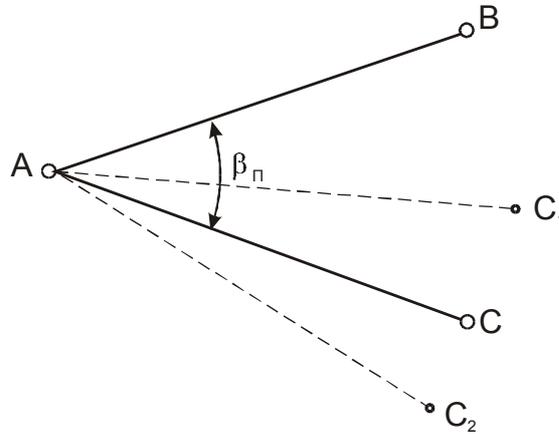
³ Рассматривается случай для благоприятного геометрического построения

1.3.4. Элементы разбивочных работ

1.3.4.1. Построение проектного угла

При построении на местности закреплена вершина угла А (рис. 101, а) и задана одна его сторона АВ. Задача заключается в определении направления и закреплении на местности стороны АС, расположенной под углом $\beta_{\text{п}}$ к стороне АВ.

а)



б)

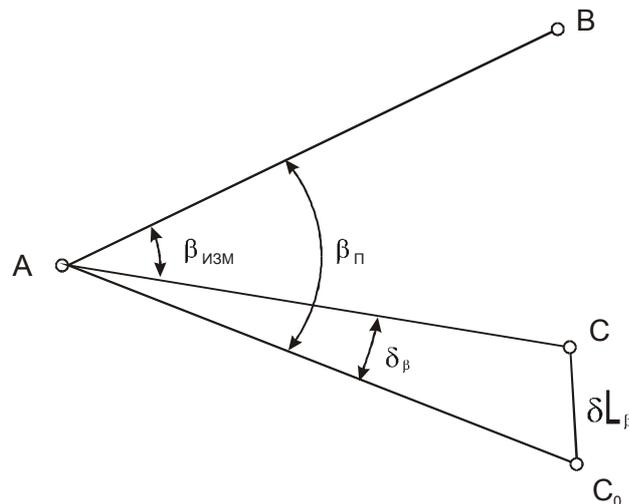


Рисунок 101 - Схема построения проектного горизонтального угла:
а) с точностью теодолита; б) с повышенной точностью

Теодолит устанавливают над точкой А, визируют на точку В и берут отсчет b по горизонтальному кругу. Предвычисляют отсчет $c = b + \beta_{\text{п}}$ (если угол $\beta_{\text{п}}$ строят против часовой стрелки, то $c = b - \beta_{\text{п}}$). Открепив алидаду, отсчет c устанавливают на горизонтальном круге и по центру сетки нитей трубы фиксируют точку C_1 . Аналогично строят угол $\beta_{\text{п}}$ при другом положении вертикального круга и фиксируют точку C_2 .

Отрезок $C_1 C_2$ делят пополам и фиксируют точку C . Угол $ВАС$ принимают за проектный.

На точность построения угла кроме основных факторов, влияет погрешность фиксации точки C . Таким образом, общую погрешность построения угла можно вычислить по формуле:

$$m_{\beta} = \sqrt{2m_B^2 + 2m_o^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_p^2 + m_{\phi}^2},$$

где m_B , m_o , $m_{\text{ц}}$, m_p , m_{ϕ} - средние квадратические погрешности соответственно визирования, отсчета по горизонтальному кругу, центрирования теодолита над вершиной угла, редукции визирной цели (установки визирной цели в точке В), фиксации точки C .

Условия обеспечения точности построения углов приведены в СНиПе 3.01.03 - 84. Например, для построения угла β_n со средней квадратической погрешностью $m_\beta = \pm 30''$ можно применить теодолит типа Т30, центрировать его оптическим или нитяным отвесом, точку С фиксировать карандашом на поверхности бетона.

При известной длине стороны $AC = D$ погрешность положения точки С определится, как $m_c = m_\beta \cdot (D/\rho)$. Если m_c не должна превышать допустимой проектной величины $m_{c\text{ доп}}$, то погрешность построения угла не должна быть более $m_{\beta\text{ доп}} = m_{c\text{ доп}} \cdot (D/\rho)$ при той же величине D. В этом случае при построении угла с погрешностью, не превышающей $m_{\beta\text{ доп}}$, поступают так: предварительно построенный угол β измеряют $n = t_T^2 / m_{\beta\text{ доп}}^2$ раз, где t_T - точность отсчетного приспособления, и вычисляют среднее значение угла $\beta_{\text{изм}}$. Затем определяют угловую $\delta\beta = \beta_{\text{изм}} - \beta_n$ и линейную $\delta l_\beta = D \cdot (\delta\beta/\rho)$ поправки (рис. 101, б).

Точку С перемещают в соответствующую сторону на величину δl_β и фиксируют точку C_0 .

1.3.4.2. Построение проектного отрезка

От начальной точки А (рис. 102) в заданном направлении откладывают стальным мерным прибором расстояние, равное проектной длине d_n и временно фиксируют конечную точку B_1 . Процесс откладывания расстояния аналогичен его измерению. Определяют нивелированием превышение h между точками А и B_1 и измеряют температуру t прибора (если измерить ее невозможно, измеряют температуру воздуха).



Рисунок 102 - Схема построения проектного отрезка.

Вычисляют поправки в длину линии: за компарирование δd_k , за температурное влияние δd_t , за наклон линии δd_h . Вычисляют суммарную поправку по формуле:

$$\delta d = \delta d_k + \delta d_t + \delta d_h$$

и вводят ее с обратным знаком в линию AB_1 . Если поправка с минусом, то линию AB_1 удлиняют на отрезок δd и фиксируют точку В (если с плюсом - линию укорачивают.) На точность построения проектного отрезка, кроме основных факторов, влияет также точность фиксации точек B_1 и В.

Построение линий с повышенной точностью выполняют инварными мерными приборами, а также светодальномерами. Условия обеспечения точности построения проектных отрезков содержатся в приложении 2 СНиП 3.01.03 - 84.

Например, построение проектного отрезка с относительной погрешностью 1/3000 - 1/2000 можно выполнить стальной рулеткой типа ОПКЗ - 20 АНТ/10 с уложением ее в створ «на глаз». Для определения поправок, превышение h концов отрезка может быть оценено глазомерно, температура измерена термометром с погрешностью не более 5°C , средняя квадратическая погрешность компарирования рулетки - не более 1,5 мм, фиксация концов рулетки и конечной точки отрезка производится карандашом.

1.3.4.3. Перенесение в натуру проектной отметки

Проектные отметки переносят в натуру, как правило, геометрическим нивелированием (рис. 103). Нивелир устанавливают примерно посередине между ближайшим репером и местом перенесения отметки, например, обноской (рис. 103).

Для этого берут отсчет a по рейке, установленной на репере. Вычисляют горизонт прибора ГП по формуле $\text{ГП} = H_{Rp} + a$ и, вычтя из ГП проектную отметку H_{Rp} , находят проектный отсчет b .

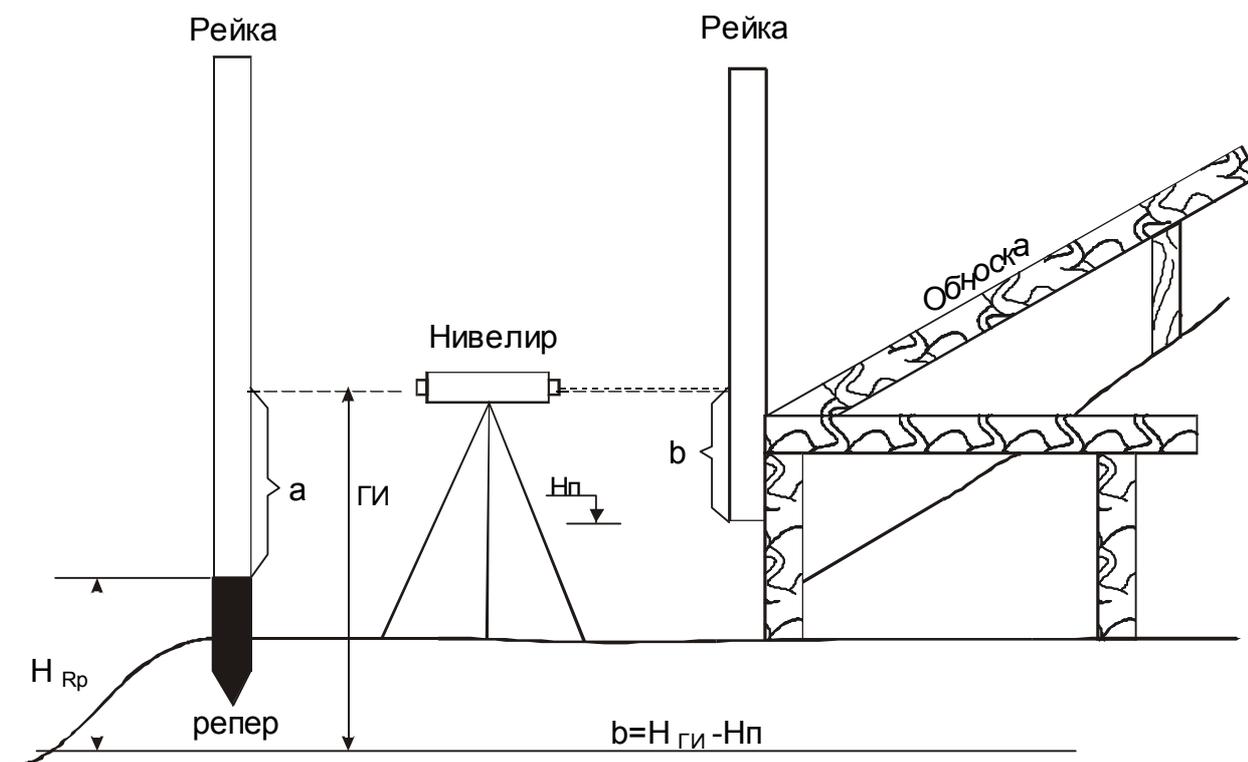


Рисунок 103 - Схема построения точки с проектной отметкой

Далее, рейку устанавливают у стойки обноски и перемещают по вертикали до тех пор, пока горизонтальная нить сетки зрительной трубы не совпадет с отсчетом b . В этот момент реечник фиксирует отметку $H_{пр}$, прочерчивая по пятке рейки риску на обноске.

Перенесение проектной отметки повторяют по красной стороне реек, также фиксируя риску на обноске отметку $H_{пр}$. Если риски не совпадут, определяют среднее положение и маркируют его. На точность перенесения в натуру проектных отметок, кроме основных погрешностей, влияет погрешность фиксации отметки риской.

Условия обеспечения точности перенесения в натуру отметок содержатся в СНиП 3.01.03 - 84. Например, для перенесения отметок со средней квадратической погрешностью 2 - 3 мм можно применить нивелир типа НЗ и шашечные рейки типа РН-3. При этом, высота визирной линии над препятствием не должна быть меньше 0,2 м, а неравенство плеч на станции - 7 м.

Проектные отметки можно переносить в натуру также и теодолитами с компенсатором Т15К, Т5К, 2Т5К, а также теодолитами с уровнем при трубе.

1.3.4.4. Построение в натуре линий проектного уклона

Построение заключается в фиксировании в натуре нескольких (минимум двух) точек, определяющих положение линии с проектным уклоном i . Может быть несколько случаев решения этой задачи, в каждом из них расстояние d между точками известно (или его надо измерить).

Точка A с отметкой H_A закреплена (рис. 104). Вычисляют отметку точки B по формуле

$$H_B = H_A + i \cdot d$$

и выносят ее в натуру. Точка A с проектной отметкой H_A не закреплена. Как и в предыдущем случае, вычисляют отметку H_B , затем точки A и B выносят в натуру.

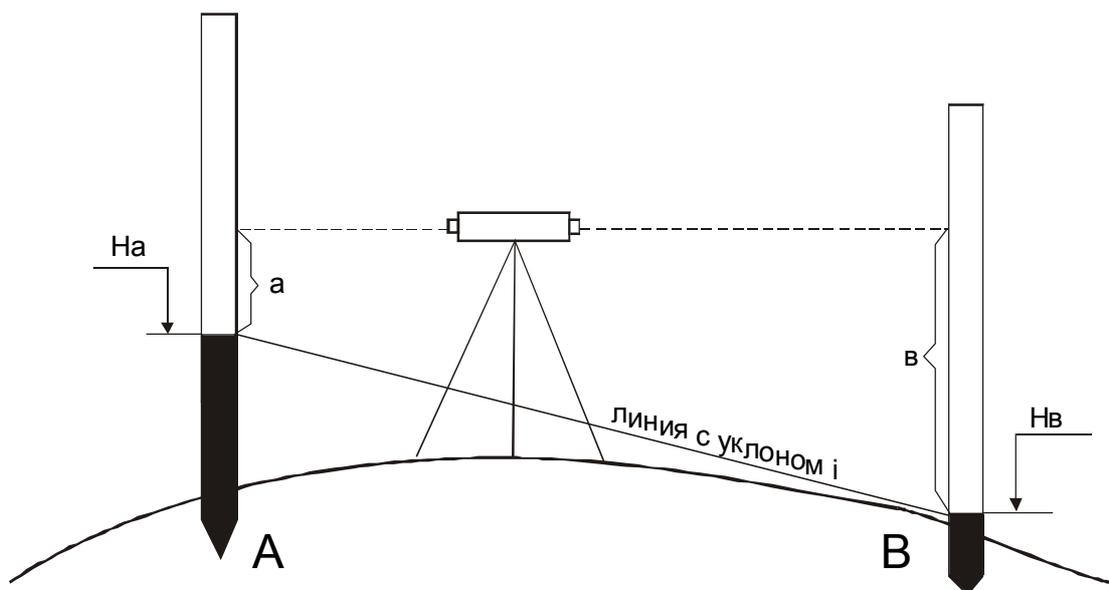


Рисунок 104 - Построение наклонного направления

Точка А закреплена, но ее отметка H_A неизвестна. Нивелируя, берут отсчет a по рейке, установленной в точке А. Предвычисляют проектный отсчет b по формуле:

$$b = a + i \cdot d$$

и по нему выносят точку В в натуру.

Этот вид разбивочных операций наиболее широко применяют при строительстве самотечных трубопроводов и в дорожно-строительных работах.

1.3.4.5. Построение створа

Створ - это направление, проходящее через две фиксированные точки и задаваемое каким-либо прибором (трубой теодолита, нивелира, биноклем, проволокой, струной и т. п.).

Основными погрешностями при построении створа являются:

- исходных пунктов m_u
- центрирования теодолита m_e
- редукции визирных марок m_{e1}
- визирования зрительной трубой $m_{виз}$
- изменения фокусировки зрительной трубы $m_{фок}$

Общую погрешность, без учета погрешности фиксации створной точки, определяют по формуле

$$m = \sqrt{m_u^2 + m_e^2 + m_{e1}^2 + m_{виз}^2 + m_{фок}^2}$$

По характеру действия все эти погрешности являются поперечными. Погрешностями исходных пунктов являются погрешности в положении знаков, закрепляющих створ. Необходимость учитывать эти погрешности возникает при анализе взаимного размещения двух точек, принадлежащих разным створам, например, при разбивке осей сооружений от обноски. Среднее влияние погрешностей центрирования и редукции на положение створной точки выражается зависимостью:

$$m_e = \frac{e}{\sqrt{2}} \cdot \frac{b-S}{b}; \quad m_{e1} = \frac{e_1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{S}{b},$$

где e, e_1 - соответственно линейные элементы центрирования и редукции;

b - длина створа;

S - удаление створной точки от теодолита .

Визирными целями при фиксировании створа на строительной площадке служат шпильки, сварочные электроды, карандаши и т. п., обеспечивающие минимальные элементы редукции. В случае наблюдения верха веши высотой 0,5 - 1,0 м, устанавливаемой в специальном треножнике, обеспечивают ее вертикальность. При отсутствии ветра вместо веши используют тяжелый нитяный отвес.

Погрешность визирования учитывает наблюдение марки, находящейся в конце створа, и цели, устанавливаемой в створ опорной линии или на ее продолжении. Поэтому совместное влияние этих двух факторов будет определяться по формуле:

$$m_{\text{виз}} = \frac{30'' \cdot \sqrt{2}}{v \cdot \rho},$$

где 30'' - средняя разрешающая способность невооруженного глаза (при хорошей видимости она составляет иногда 20'', а при плохой - 40'' и даже 60'');

v - увеличение трубы теодолита.

Погрешность фокусировки обусловлена необходимостью изменять фокусировку трубы при наведении на марку и на цель, находящихся на разных расстояниях.

1.3.4.6. Построение наклонной плоскости

Построение наклонной плоскости осуществляется главным образом при вертикальной планировке площадок, проверке плоскостности строительных и машиностроительных деталей. При этом применяют теодолит с горизонтальной трубой или нивелир. Для построения плоскости необходимо иметь на ней по крайней мере три точки А, В, С с известными отметками, например H_A , H_B , H_C (рис. 105).

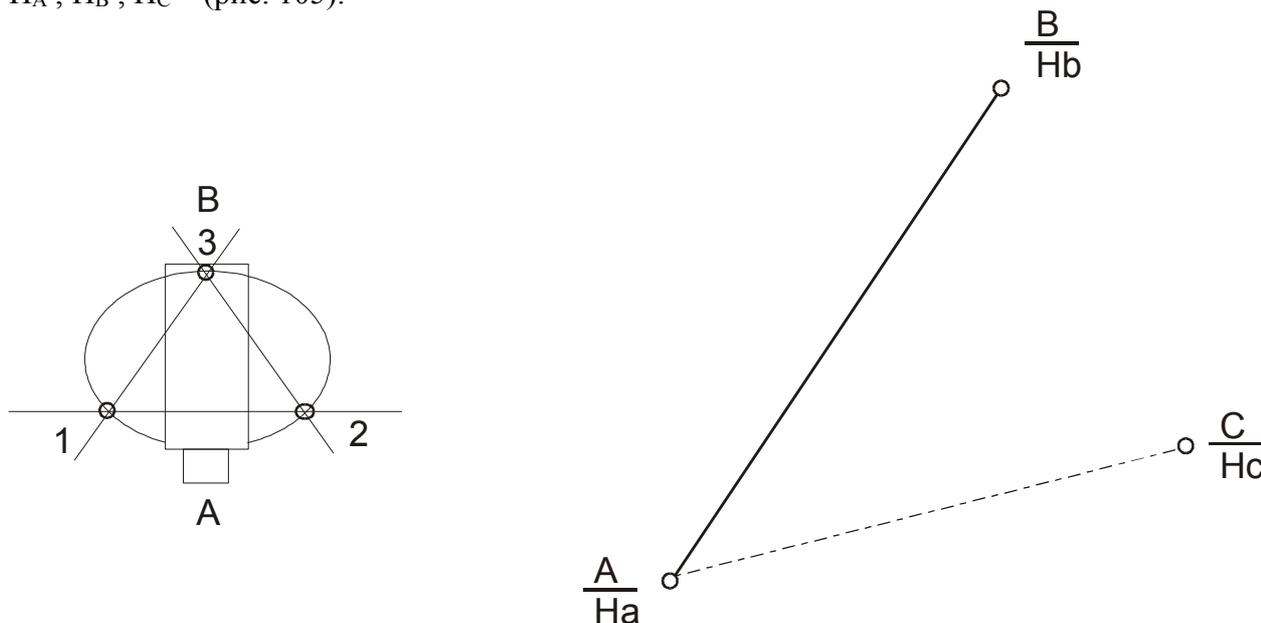


Рисунок 105 - Построение наклонной плоскости
(1, 2, 3 - подъемные винты прибора)

Прибор устанавливают в одной из опорных точек, например в А, так, чтобы два подъемных винта располагались перпендикулярно к линии АВ, а третий - на ней. Тогда, действуя третьим винтом, наклоняют трубу прибора до тех пор, пока отсчет по рейке, установленной в точке В, будет равным высоте прибора. Затем, направив трубу на точку С, поперечными наклонами прибора при помощи винтов 1 и 2 добиваются отсчета по рейке, равного высоте прибора. В связи с неточностью наклона прибора, эти операции повторяют еще 1 - 2 раза, т. е. выполняют последовательными приближениями.

В этом положении труба прибора описывает плоскость, параллельную заданной и отнесенную от нее на высоту прибора над исходными пунктами. Контроль осуществляется по четвертому

пункту с заданной отметкой. Только после этого разрешается определять и закреплять промежуточные пункты в пределах площадки.

1.3.4.7. Построение отвесной плоскости

Отвесная плоскость, чаще всего, применяется для контроля вертикальности стен, панелей и т. п., а также для передачи осей на рабочие горизонты сооружений. При этом, используются способ коллимационной плоскости теодолита или приборы, механические и уровенные рейки-отвесы и лазерные приборы типа «Роталайт» (США).

Для построения отвесной плоскости теодолит устанавливают на базовой линии и ориентируют по ней так, что при вращении зрительной трубы вокруг оси вращения ее визирная ось описывает отвесную плоскость. Точность построения плоскости зависит от систематических и случайных погрешностей процесса. Наиболее опасна здесь систематическая погрешность наклона оси вращения прибора, которая не исключается работой при двух положениях круга. С учетом случайных погрешностей погрешность проектирования точки отвесной плоскостью выражается зависимостью:

$$m_n = \sqrt{m_{ц}^2 + m_{нив}^2 + m_{виз}^2 + m_{фик}^2} .$$

где $m_{ц}$, $m_{нив}$, $m_{виз}$, $m_{фик}$ - погрешности соответственно центрирования, нивелирования теодолита, визирования им и фиксации точки. Погрешность нивелирования выражается зависимостью:

$$m_{нив} = \frac{k \cdot \tau}{\rho} \cdot H,$$

где $k=0.15 - 0.50$ - коэффициент;

τ - цена деления уровня при алидаде горизонтального круга;

H - высота точки плоскости над базовой линией.

Рейки с отвесом или уровнем применяются при контроле вертикальности панелей, блоков, невысоких колонн и других конструктивных элементов зданий и сооружений.

1.3.4.8. Построение отвесного направления

Отвесное направление используется для контроля вертикальности конструктивных элементов сооружений и передачи осей сооружений на рабочие горизонты.

Для построения отвесного направления применяют способы:

- * механический (нитяный отвес);
- * оптический в виде сечения двух вертикальных плоскостей, построенных при помощи теодолитов;
- * оптический с применением приборов вертикального визирования (зенитные, надирные и зенит-надирные центриры).

а) Механические способы

В качестве механического отвеса применяют стальную или капроновую нить диаметром 0,5 - 1 мм с грузом. Масса груза должна быть не более половины разрывного усилия нити. При проверке вертикальности колонн, панелей и других конструкций используется рейка-отвес с нитью, заключенной в трубку (для защиты от ветра), и рейка-уровень. Рейки снабжены консолью для подвешивания на панели, двумя или тремя упорами, которыми они прикладываются к поверхности конструкции. Ось уровня должна быть перпендикулярна к линии, соединяющей концы упоров. Для проверки уровня пользуются контрольной плоскостью.

При использовании механического отвеса для передачи осей на рабочие горизонты, отвес опускают с внешней стороны здания, в шахту лифта или специальные отверстия в перекрытии. В

последнем случае по отвесу сверху вниз пропускают шайбы («почту») для проверки свободного подвеса. Точность механического отвеса при тихой погоде составляет 1-2 мм на 50 м высоты. Точность рейки-отвеса и рейки - уровня зависит от шероховатости поверхности и составляет 3 - 5 мм на этаж.

б) Оптические способы

Оптический способ основан на использовании приборов вертикального визирования типа PZL предприятия «Карл Цейс» (Германия).

Для передачи координат пунктов на более высокий монтажный горизонт прибор центрируют над исходными пунктами и горизонтируют. На монтажном горизонте, куда передается точка, помещают координатную палетку (на оргстекле размером 150x150x5 мм), закрепленную в металлическом квадратном обрамлении зенитного отверстия, сделанного в перекрытии здания (рис. 106.). Сетку нитей прибора ориентируют параллельно линиям сетки и по шкале палетки производят отсчеты a и b при 0° , 90° , 180° и 270° . Положению вертикали соответствуют средние отсчеты a и b по палетке.

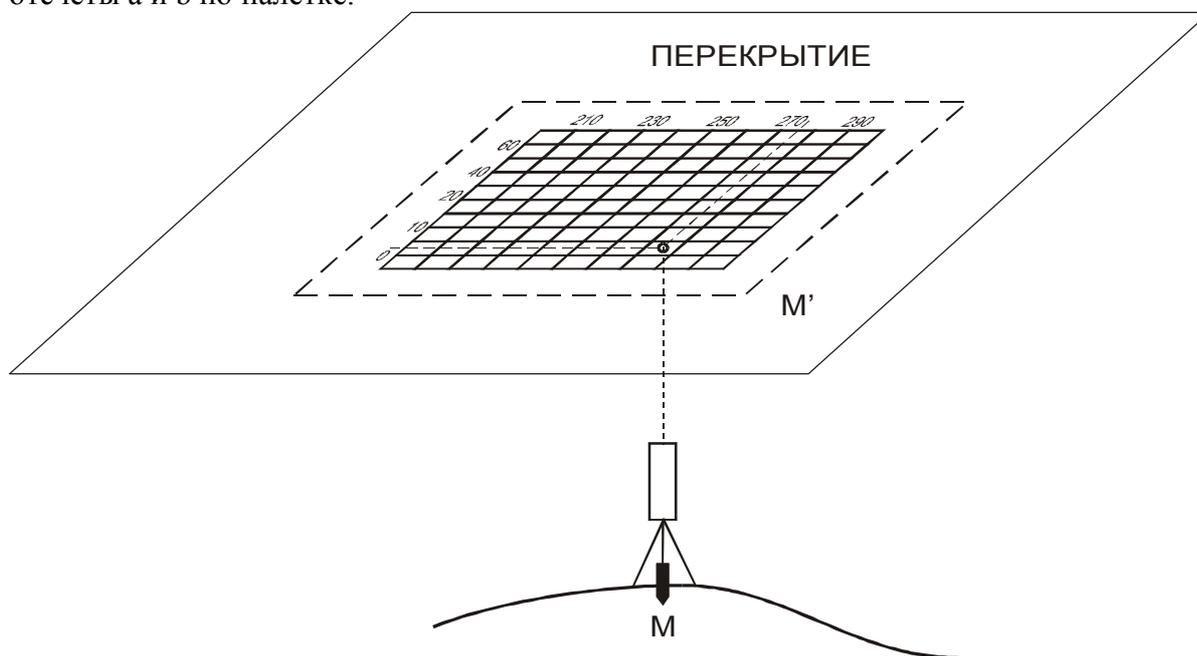


Рисунок 106 - Передача координат на монтажный горизонт с помощью прибора PZL

Недостаток прибора PZL заключается в односторонней стабилизации вертикали и визировании в зенит. Поэтому, более совершенным является зенит - надирный зеркальный оптический отвес, снабженный двухсторонним компенсатором - горизонтальным двухсторонним зеркалом, подвешенным на кардане и выполняющим одновременно роль фокусирующей линзы.

1.3.5. Технология разбивочных работ

1.3.5.1. Геодезическая подготовка проекта

а) Проект сооружения.

Строительство инженерных сооружений осуществляется по рабочим чертежам проекта, которые разрабатываются на основании всесторонних комплексных изысканий.

Основными документами проекта для вынесения его в натуру являются следующие:

1. Генеральный план сооружения в масштабе 1:500 - 1: 2000 в котором на топографической основе нанесены все проектируемые строения, указаны проектные координаты главных точек и отметки характерных плоскостей. Для сложных сооружений генеральный план дополняют чертежом разбивки главных осей (в городах -красных линий застройки) с данными привязки к пунктам геодезической основы.
2. Рабочие чертежи, на которых в крупных масштабах даются планы, разрезы, профили всех частей сооружений с размерами и отметками деталей и поперечников.
3. Проект вертикальной планировки в масштабе 1: 1000 - 1: 2000 - проект преобразования естественного рельефа местности для создания поверхности с плавными уклонами. В проекте по сетке квадратов или поперечникам даны черные, красные и рабочие отметки и показаны направления перемещения земляных масс.
4. Планы и продольные профили дорог, подземных коммуникаций, воздушных линий в масштабах: горизонтальном - 1:2000-1:5000, вертикальном - 1:200-1:500.
5. Схемы геодезического обоснования строительной площадки, чертежи центров и знаков, ведомости координат и отметок.

Геометрической основой проекта для перенесения его в натуру являются разбивочные оси сооружений, относительно которых в рабочих отметках даются все размеры проекта. Главные, или исходные, оси привязывают к пунктам геодезической основы.

В качестве главных осей линейных сооружений (плотин, мостов, дорог, туннелей) служат продольные оси этих сооружений; в проекте зданий - оси внешних стен; отдельных эстакад и колонн - оси симметрии их фундаментов.

Отметки плоскостей, уровней и отдельных точек проекта задают от условной поверхности (в зданиях - от уровня чистого пола первого этажа) и обозначают: вверх - со знаком плюс, вниз - со знаком минус. Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте.

Для перенесения проекта сооружения в натуру производят его геодезическую подготовку, которая включает:

1. Составление разбивочных чертежей с данными привязки главных осей к пунктам геодезической основы; аналитический расчет проекта;
2. Разработку проекта геодезических разбивочных работ.

Геодезическая подготовка проекта зависит от способа проектирования сооружения. Применяют следующие способы:

- * аналитический

- * графоаналитический
- * графический

При аналитическом способе все проектные данные находят путем математических вычислений, при этом координаты существующих зданий и сооружений определяют геодезической привязкой в натуре, а размеры элементов проекта задают, исходя из технологических расчетов и схемы горизонтальной планировки площадки. Генеральный план сооружения служит лишь для наглядности принятых проектных решений. Этот метод проектирования применяют, главным образом, для реконструкции и расширения предприятий, железнодорожных узлов и др. Чаще используют графоаналитический способ, при котором часть исходных данных для проектирования берется графическим путем с топографического плана (размеры построек, координаты ряда контурных точек), остальные данные определяются аналитически (размеры проектируемых сооружений, координаты углов опорных зданий).

Если проект сооружения не связан с существующими строениями, то иногда применяют графический способ проектирования, при котором все основные вопросы планировки решаются на плане графически. Расчет проекта производят по графическим координатам всех его главных точек. Путем решения обратных задач находят длины и дирекционные углы отдельных линий и полярные координаты для перенесения в натуре главных осей от пунктов геодезической основы.

При графическом способе ошибки проектирования зависят в первую очередь от точности плана и его масштаба. Как известно:

$$\Delta = \delta \cdot M,$$

где δ -ошибка определения на плане длины отрезка или координаты;
 M -знаменатель масштаба плана.

б) Проект геодезических работ.

Проект геодезических разбивочных работ разрабатывается на основе тщательного изучения генерального плана и технических условий на возведение отдельных сооружений, и предназначается для своевременного обеспечения геодезическими данными с заданными точностями всего комплекса строительных работ и монтажа технологического оборудования. В проекте решаются следующие задачи:

1. Развитие на площадке разбивочной основы . Схемы сетей. Точность и методы измерений. Уравнивание. Типы центров и знаков.
2. Контрольная проверка устойчивости плановой и высотной основы в процессе строительства. Периодичность. Ступение основы.
3. Перенесение в натуре главных осей сооружений. Точность. Методы. Контрольные измерения. Закрепление.
4. Детальная разбивка сооружений. Точность. Способы. Знаки закрепления.
5. Геодезическое обслуживание монтажных работ. Методы и точность плановой и высотной выверки. Инструменты.
6. Исполнительные съемки. Способы съемок, ведение исполнительного генерального плана.

Наблюдение за деформациями сооружений. Обоснование точности. Методы. Геодезическая основа. Цикличность работ.

1.3.5.2. Порядок и точность разбивочных работ

а) Порядок разбивки сооружения.

Геодезические работы по перенесению проекта в натуру называют разбивкой сооружения. Методы разбивочных работ отличаются от съемочных методов, а их точность - выше последних.

Общий порядок разбивки сооружений следующий:

1 этап - основные разбивочные работы: от пунктов геодезической основы, согласно аналитическим данным привязки, находят и закрепляют на местности положение главных осей.

2 этап - детальная разбивка сооружения производится значительно точнее, чем разбивка главных осей (определяется взаимное расположение элементов сооружений).

3 этап - разбивка и закрепление монтажных осей и установка в проектное положение технологического оборудования. Этот этап геодезических работ требует наиболее высокой точности измерений.

б) Точность детальной разбивки.

В общем случае точность возведения инженерного сооружения зависит от точности геодезических измерений, точности технологических расчетов проекта и погрешностей строительно-монтажных работ, и определяется по формуле:

$$m^2 = m_r^2 + m_t^2 + m_c^2,$$

где m_r - суммарная величина влияния линейных, угловых и высотных ошибок геодезических измерений;

m_t - суммарные ошибки технологических расчетов проектов установок, агрегатов, автоматических линий;

m_c - суммарное влияние ошибок строительно-монтажных работ, включая для сборных элементов погрешности их изготовления.

При расчетах точности геодезических измерений часто применяют принцип равных влияний отдельных независимых источников ошибок:

$$m^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2,$$

полагают

$$m_1 \approx m_2 \approx \dots \approx m_n,$$

и требуют, чтобы влияние каждого из источников ошибок не превышало величины:

$$m_i = \frac{m}{\sqrt{n}},$$

где n - количество источников ошибок.

Исходя из найденной величины m_i , рассчитывают точность измерений, разрабатывают методику работ, подбирают инструменты.

Иногда применяют принцип пренебрегаемого влияния отдельных источников ошибок, т.е. измерения проектируют таким образом, что отдельные процессы выполняют гораздо точнее, чем это необходимо по расчетам, и при определении суммарной ошибки влиянием этих источников пренебрегают.

1.3.5.3. Основные разбивочные работы на строительной площадке

1.3.5.3.1. Общие сведения

При проектировании строительных конструкций зданий и сооружений применяют модульную координацию размеров в строительстве (**МКРС**).

Модуль - условная единица измерения, применяемая для координации размеров зданий и сооружений, их элементов, изделий и элементов технологического оборудования.

МКРС устанавливает правила назначения основных размеров сооружений (шагов-интервалов между элементами конструкций и высоту этажей) и размеров элементов. Основной модуль

принят равным 100 мм и обозначается -М. Наряду с основным модулем применяют укрупненные модули: 60М, 30М, 15М, 3М, соответственно равные 6000, 3000, 1500, 300 мм и т. д.

При проектировании конструктивные элементы привязывают размерами b и l к линиям А и 1, называемым разбивочными осями (рис. 107,а). Разбивочные оси в совокупности представляют геометрическую схему зданий, сооружения. Они являются геодезической (геометрической) основой, по которой ориентируют элементы строительных конструкций и технологического оборудования при установке их в проектное положение. Система разбивочных осей играет примерно ту же роль, что и координатная сетка на картах и планах.

Оси делят на продольные и поперечные (рис. 107, б). Продольные обозначают прописными буквами русского алфавита, поперечные - цифрами. Разбивочные оси разделяют на главные - оси симметрии (их обозначают для зданий и сооружения сложной в плане конфигурации); основные или габаритные (рис. 107,б) обозначенные А, В и 1, 6. Все остальные оси - промежуточные.

Шаг разбивочных осей, т. е. межосевые интервалы, устанавливают в соответствии с модулем, принимаемым в расчетной схеме проектируемого здания или сооружения, с учетом его конструктивных особенностей.

Возведение строительных конструкций начинают с процесса, обратного проектированию - с перенесения проекта сооружения (его геометрической схемы) в натуру, т. е. с вынесения и закрепления на местности разбивочных осей. Поэтому, геодезические работы по перенесению проектов зданий и сооружений называют геодезической разбивкой здания (сооружения).

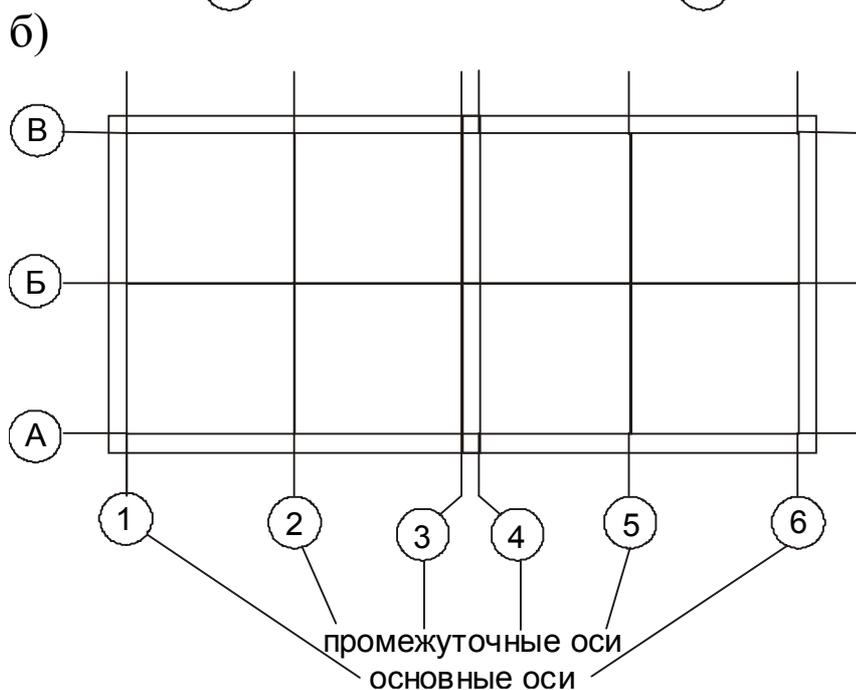
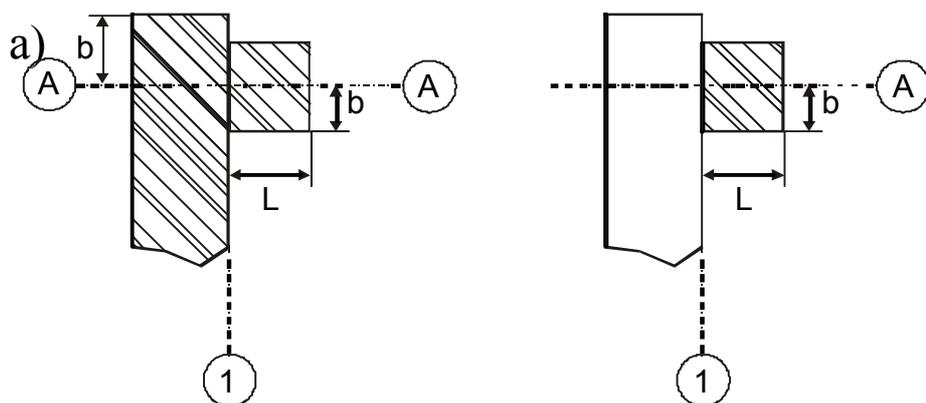


Рисунок 107 – Схемы разбивочных осей

Геодезическую разбивку осуществляют в два этапа.

На первом этапе, называемом «**основные разбивочные работы**», опираясь на геодезическую основу или существующие капитальные строения, в натуру переносят главные и основные оси. В результате, определяют лишь общее положение сооружения относительно пунктов геодезической основы или существующих строений.

Точность перенесения габаритов сооружений должна быть не меньше точности плана, на котором оно запроектировано. В зависимости от масштаба плана 1:N предельную погрешность Δ_n (в миллиметрах) определения положения точки на плане вычисляют по формуле:

$$\Delta_n = 0,2 \cdot N$$

Как правило, генеральные планы строительных объектов разрабатывают на планах масштаба 1:500. В этом случае $\Delta_n = 0,10$ м.

Точность перенесения габаритов сооружений может быть повышена, если это обусловлено проектом, как например в случае, когда сооружения между собой технологически связаны и к точности их взаимного положения предъявляют повышенные требования.

Второй этап – «**детальная разбивка осей**» заключается в вынесении и закреплении в натуре промежуточных осей или линий им параллельных. Детальную разбивку производят с точностью более высокой, чем основные разбивочные работы. Это связано с тем, что к установленным по осям конструктивным элементам предъявляют требования практически полного их сопряжения без дополнительной подгонки по месту. Точность детальной разбивки устанавливают путем специальных расчетов с учетом точности изготовления и монтажа элементов.

1.3.5.3.2. Разбивка основных осей и их закрепление

Геодезическую разбивку основных осей производят в соответствии с утвержденной проектно-технической документацией строительства. Исходными материалами для разбивки, кроме входящих в рабочую документацию, служат:

- планы фундаментов, планы первых и типовых этажей;
- исполнительный чертеж перенесения в натуру красной линии;
- схема геодезической основы и каталоги координат;
- строительный генеральный план.

На строительном генплане (сокращенно стройгенплан), кроме проектируемых и реконструируемых, показывают все временные строения и коммуникации, необходимые строительному производству на период строительства, а также места складирования строительных материалов и деталей, расположение подъемно-транспортных механизмов и зоны их действия. Содержание стройгенплана необходимо учитывать при размещении знаков, закрепляющих основные оси и реперы на строительной площадке.

Процессу перенесения в натуру основных осей предшествует геодезическая подготовка разбивочных данных. Подготовку данных осуществляют графическими, графоаналитическим и аналитическим способами.

При внутриквартальной жилой застройке, в сельскохозяйственном строительстве, когда к точности планового положения домов и других объектов не предъявляют повышенных требований, линейные и угловые разбивочные элементы определяют графическим способом, т.е. графически по генплану с точностью масштаба плана. Точность графического определения линейных элементов рассмотрена в предыдущем параграфе; ей соответствует и точность графического определения угловых элементов.

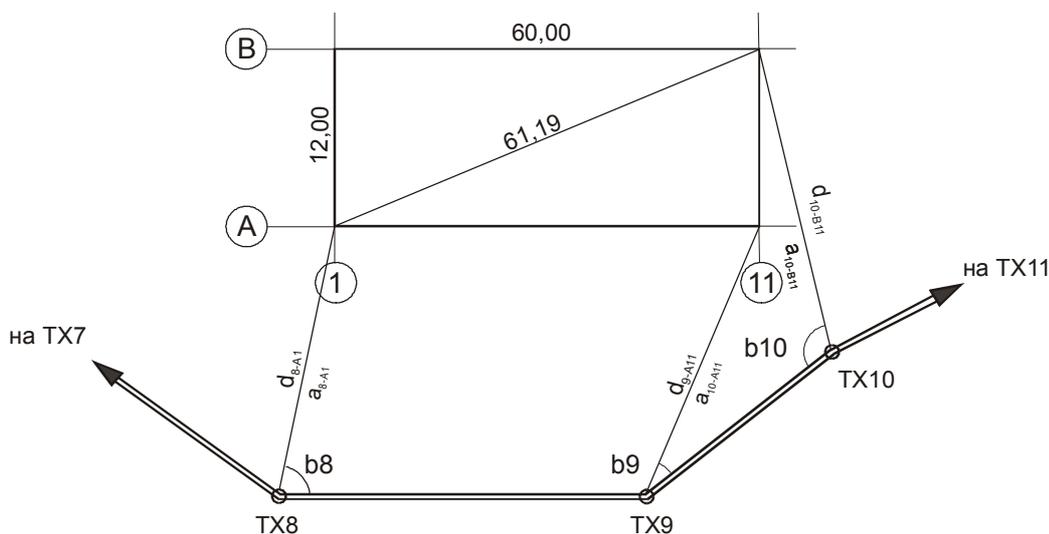


Рисунок 108 - Разбивочный чертеж перенесения в натуру объекта застройки полярным способом

При графоаналитическом способе подготовки, наиболее широко применяющемся на практике, графически определяют координаты некоторых точек здания или сооружения, а значения линейных и угловых разбивочных элементов рассчитывают.

При аналитическом способе подготовки графических определений по плану не делают.

Координаты минимум двух точек проектируемого здания должны быть известны, как например, в случае, когда эти точки совпадают с красной линией, для которой выполнен аналитический расчет. Дальнейшие расчеты при определении разбивочных элементов те же, что при графоаналитическом способе.

Рассмотрим графоаналитическую подготовку разбивочных элементов для здания, габариты которого в осях А, В, I и II представлены на рис. 108. Пусть $X_{AI}, Y_{AI}, X_{AII}, Y_{AII}$ - координаты точек AI и AII определены графически по генплану, а $X_8, Y_8, X_9, Y_9, X_{10}, Y_{10}$ - координаты вершин опорного теодолитного хода, проложенного вблизи проектируемого здания.

Процесс подготовки заключается в следующем. Вычисляют координаты всех точек пересечения осей. Для этого по координатам точек AI и AII решают обратную геодезическую задачу и определяют дирекционный угол продольной оси А. По этому исходному дирекционному углу, начальным координатам точки AII, проектным габаритным размерам и углами между осями, по формулам прямой геодезической задачи рассчитывают координаты точек пересечения осей. Если геодезической основой служит теодолитный ход, наиболее удобным способом перенесения в натуру проектных точек является полярный способ. Полярные расстояния d_i и дирекционные углы α_i направлений с точек хода на точки пересечения осей вычисляют по формулам обратной геодезической задачи:

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \frac{y_{II} - y_T}{x_{II} - x_T} = \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad \alpha_i = \operatorname{arctg} \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad d_i = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_i} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_i},$$

где X_T, Y_T - координаты точек T8, T9 и T10 теодолитного хода;

X_{II}, Y_{II} - координаты точек пересечения осей AI, AII, BII.

Полярные углы β_i вычисляют, как разности дирекционных углов. Например:

$$\beta_8 = \alpha_{8-9} - \alpha_{8-AI}.$$

Графоаналитическая подготовка разбивочных элементов остается практически такой же и при других видах геодезической основы. Геодезическую подготовку разбивочных данных завершают составлением разбивочного чертежа.

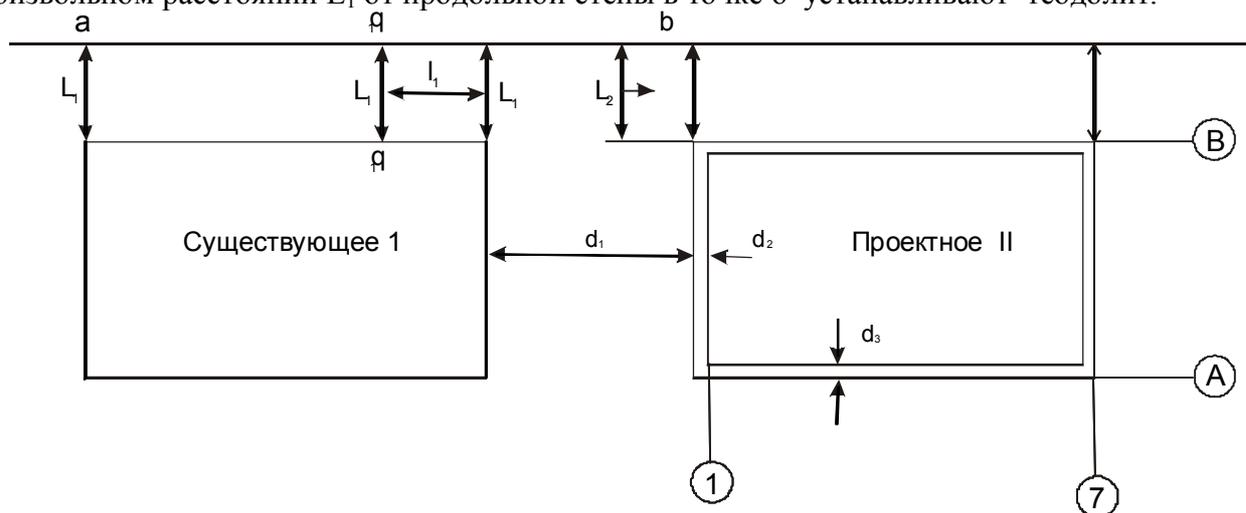
Процесс перенесения габаритов здания, сооружения заключается в последовательном построении на местности разбивочных элементов, контроля точности построения и закреплении основных осей.

Так, в соответствии с разбивочными данными на рис. 108, при вершине Т8 теодолитом строят полярный угол β_8 и затем стальной компарированной рулеткой - полярное расстояние d_{8-AI} . Габаритную точку AI временно закрепляют (колышком, обрезком арматуры и т. п.). Аналогично с точки Т9 выносят и закрепляют точку АII.

В точках AI и АII строят проектные прямые углы, откладывают габаритный размер 12,00 и точки ВI и ВII закрепляют. Засечкой полярным расстоянием точки ВII с Т10 проверяют правильность ориентирования здания относительно пунктов опорного хода. Для контроля измеряют сторону ВI-ВII и углы при вершинах ВI и ВII. Дополнительно точность построения габаритов оценивают измерением диагоналей.

Иногда, по вынесенным габаритным точкам прокладывают исполнительный (контрольный) полигонометрический или теодолитный ход, и по разностям исполнительных и рассчитанных координат точек судят о точности построений. Требования к точности построений содержатся в соответствующих нормативных документах, из которых основным является СНиП 3.01.03 - 84. При перенесении габаритов зданий и сооружений от существующих капитальных строений, разбивочными данными служат проектные размеры, определенные графически по генплану участка застройки. На рис. 109 представлен один из вариантов разбивки проектируемого здания П с габаритами в осях А, В, 1, 7 и общей фасадной линией с опорным существующим строением I.

Пусть проектируемое здание отстоит от опорного на расстоянии d_1 , а внешние грани его стен - от осей на проектные размеры d_2 и d_3 . Вблизи торцевой стены опорного здания на произвольном расстоянии L_1 от продольной стены в точке б устанавливают теодолит.



Рис

унок 109 - Схема разбивки основных осей объекта застройки (II) от существующего здания (I).

Зрительной трубой визируют на точку a , отстоящую также от стены на величину L_1 , строят прямой угол, фиксируют риску на стене точку $б_1$ и от нее до угла здания измеряют расстояние l_1 . Теодолитом продолжают створ базисной линии ab , параллельной стене опорного здания, и от точки $б$ строят проектный отрезок, равный $l_1 + d_1 + d_2$, закрепляют точку $б$ и от нее в том же створе откладывают габаритный размер между осями 1 и 7, закрепляют точку $г$. В точке $б$ теодолитом строят прямой угол, откладывают отрезок длиной $L_2 = L_1 - d_3$ и закрепляют точку $А1$ по оси 1; по створу этой оси откладывают габаритный размер между осями А и В и фиксируют точку $В1$. Аналогично выносят точки $А7$ и $В7$. Затем, для оценки точности построения габаритов производят контрольные измерения. Процесс перенесения габаритов зданий от красной линии или линии застройки мало отличается от описанного.

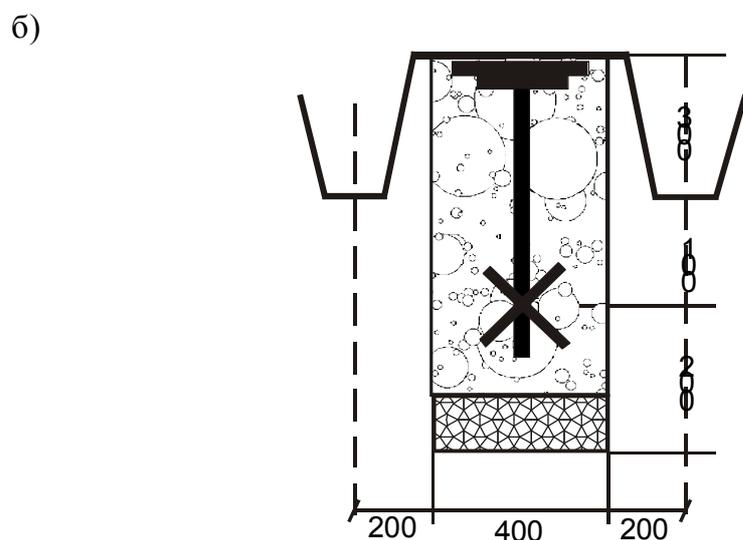
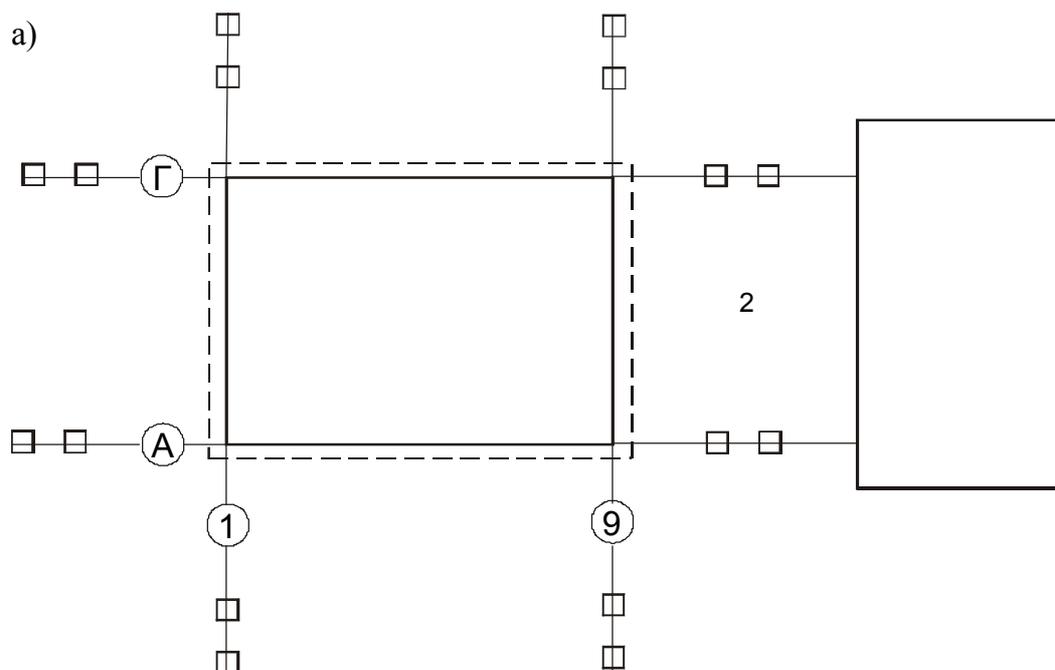


Рисунок 110 - Способы закрепления основных осей

Основные разбивочные работы завершают закреплением осей за пределами будущего котлована, так как при его разработке все габаритные точки будут уничтожены. Для этого в створе основных осей закладывают специальные осевые знаки 1 (рис. 110, а) и теодолитом, установленным в габаритных точках А1 и Г9 или А9 и Г1, передают основные оси на знаки, где их фиксируют на металлической пластине крестообразной насечкой или накернованным углублением.

Одна из конструкций знаков приведена на рис. 110, б. Знаки закладывают вне призмы обрушения грунта при открытом котловане, в местах, где будет обеспечена их сохранность, и в соответствии со стройгенпланом. Оси закрепляют по обе стороны от габаритов сооружения не менее, чем двумя знаками. Знаки привязывают промерами к местным предметам.

Если в створе осей находятся капитальные строения, ограды и т.п., на их стенах оси маркируют яркой несмываемой краской 2 (рис. 110, а).

1.3.5.3.3. Детальные геодезические разбивочные работы

а) Точность детальных разбивочных работ

Детальная разбивка производится на основе вынесенных главных осей сооружения в соответствии со стадиями строительного-монтажных работ: для производства земляных работ, возведения фундаментов и коммуникаций, строительства надземной части зданий и сооружений и монтажа технологического оборудования.

Непосредственно перед началом разбивочных работ исполнитель проверяет контрольными измерениями неизбежность геодезических знаков, закрепляющих основу разбивочных работ - пункты закрепления главных осей, строительной сетки и т. п.

Точность детальной разбивки зависит от типа и назначения сооружения, материала изготовления деталей, технологии их возведения или сборки и т. п. Обычно требуется, чтобы предельные погрешности геодезических измерений при разбивке и контроле точности положения конструктивных элементов не превышали 33% величины допуска на строительные и монтажные работы. Погрешности в плановом положении рассматривают относительно разбивочных осей, а в высотном - относительно ближайших рабочих реперов. При этом стараются выдержать заданное в проекте взаимное как плановое, так и высотное положение осей и конструктивных элементов сооружений. Примерные величины предельных погрешностей приведены в табл. 13.

б) Детальная разбивка осей зданий и сооружений (проектирование и построение обноски

Для детальной разбивки осей зданий и сооружений строят *обноску*. Это ограждение из вертикальных столбов высотой 0,5 - 1,2 м над уровнем земли и горизонтальных досок, расположенное на расстоянии 3-5 м от котлована. Обноски являются удобной для подготовки котлована и ведения строительных работ нулевого цикла.

Обноска бывает сплошной (рис. 111) и разреженной (рис. 112). В условиях массового строительства применяется разреженная обноска, размещаемая отдельными звеньями в ответственных местах. Вариантом разреженной является створная обноска. На косогорах обноски устраивают с уступами.

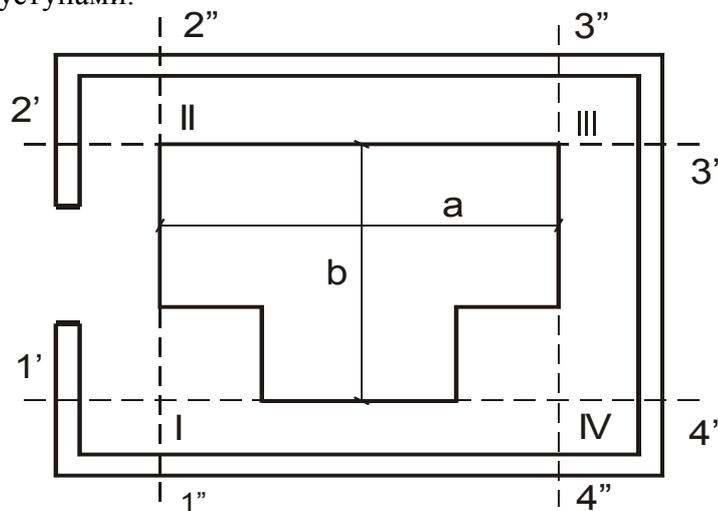


Рисунок 111 – Построение обноски сплошного типа

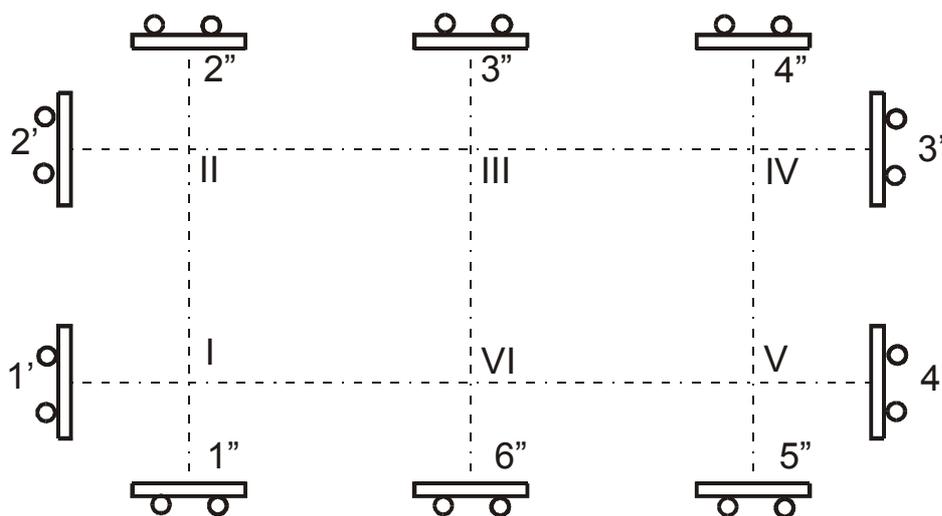


Рисунок 112 – Построение обноска разреженного типа
(скамеечная обноска)

Для разбивки осей на обноске теодолит устанавливают и ориентируют по ней, например по линии I - IV. Затем, передают трубой и закрепляют гвоздями оси на ребрах досок обноска: сначала точку 4', а потом, после поворота трубы через зенит - точку 1'. Отложив теодолитом угол 90°, фиксируют на обноске ось 2" - 1".

Все построения теодолитом производят при двух положениях круга, каждый раз намечают точку и при допустимом расхождении в их положении принимают и фиксируют окончательно среднюю. Теперь по доскам обноска откладывают рулеткой расстояния а и в и фиксируют точки 2", 3" и 3", 4". Пользуясь линиями 2' 3' и 3" 4" как створами, сносят на землю точку III и измеряют в ней теодолитом контрольный угол 2' III 4", который должен быть равным проектному. В зависимости от точности разбивки отклонение угла не должно превышать 10 - 30". После этого разбивают все промежуточные оси. Окончательное положение осей на обноске фиксируют гвоздями, обводят масляной краской и подписывают их номера.

Независимо от вида обноска должна удовлетворять следующим требованиям: стороны ее должны быть параллельны продольным и поперечным осям сооружения, а доски - прямолинейными и горизонтальными. Степень соблюдения этих требований зависит от точности разбивки осей на обноске.

Таблица 13 - Примерные величины предельных погрешностей разбивки сооружений и конструкций, мм

<u>Земляные сооружения:</u> <ul style="list-style-type: none"> • разбивка осей и бровок • перенос в натуру проектных отметок 	20 - 30 10
<u>Бетонные и железобетонные сооружения:</u> <ul style="list-style-type: none"> • разбивка осей и контуров фундаментов • передача проектных отметок на отдельные горизонты фундаментов • разбивка осей закладных деталей, колонн, опор подкрановых пролетов • перенос в натуру проектных отметок опорных плоскостей строительных конструкций и оборудования 	3 - 5 3 - 4 2 - 3 1 - 2
<u>Монтаж строительных конструкций и оборудования:</u> <ul style="list-style-type: none"> • плановая и высотная выверки строительных конструкций 	2 - 3

<ul style="list-style-type: none"> • плановая и высотная выверки типового оборудования • плановая и высотная выверки прецизионного оборудования и направляющих путей • плановая и высотная выверки уникального оборудования 	1 - 2 0,2 - 1 0,05 - 0,20
--	-------------------------------------

При относительной средней квадратической погрешности линейных измерений 1: T на обноске,

погрешность каждого фактора не должна превышать: $\frac{1}{T\sqrt{3}}$. Поэтому должны выполняться

следующие условия:

- ◆ угол непараллельности обноски: $\theta \leq \frac{1,1 \cdot \rho}{\sqrt{T}}$ (13');
- ◆ непрямолинейность или нестворность обноски для рулетки длиной l: (4 см);
- ◆ негоризонтальность обноски при расстоянии c между ее столбами: $\varepsilon_n \leq \frac{1,1 \cdot c}{\sqrt{T}}$ (2 см).

Так, при T = 25 000, l = 20 м, c = 6 м указанные выше величины соответственно равны: 13', 4 и 2 см. Отсюда устанавливают необходимость разбивки столбов обноски теодолитом, а высотного контроля досок - нивелиром. Верхний уровень обноски рационально размещать на расстоянии целого числа метров над уровнем котлована, чем обеспечивается простота контроля земляных работ.

Для контроля незыблемости обноски в процессе строительства основные оси дополнительно закрепляют грунтовыми знаками, размещаемыми под обноской. Контроль производится отвесом. Для сохранения обноски иногда ее строят после подготовки котлована.

Завершив работы по разбивке и закреплению основных осей, составляют исполнительный чертеж, на который наносят:

- пункты строительной сетки, от которых по координатам разбиваются главные оси, с указанием порядка разбивки последних;
- обноску с расположением осей и с указанием расстояний между ними по результатам контрольных измерений;
- знаки крепления осей.

Разбивку оформляют актом, к которому прилагают схему расположения и крепления осей, включая исходные пункты геодезической основы, с указанием результатов контрольных измерений.

1.4. РАБОТЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТРОИТЕЛЬСТВА

1.4.1. Подземные коммуникации

1.4.1.1. Разбивка коммуникаций на промышленной площадке

На промышленной площадке проходит много коммуникаций: подземных сетей, надземных трубопроводов, дорог. Каждая коммуникация должна быть разбита и построена строго по проекту.

В плане коммуникации разбивают с относительной ошибкой в среднем 1:2000. По высоте наиболее точно устанавливаются самотечные трубопроводы (проектные отметки лотков в соседних колодцах задают с ошибкой порядка ~3 - 5 мм). Уклоны напорных трубопроводов задаются с меньшей точностью (точность установки отметок порядка ± 1 см).

Сущность разбивки заключается в том, что по данным проектного продольного профиля и разбивочного чертежа в натуре выносят характерные точки трассы, привязывая их к опорным геодезическим пунктам. Для рытья котлованов под колодцы в натуре размечают их контуры и закрепляют центры колодцев кольями, в торцы которых забивают гвозди. Бровки котлована колодца разбивают от его центра, откладывая в обе стороны от оси траншеи половину проектной ширины колодца с учетом откоса. Однако, учитывая, что колья при рытье котлована будут уничтожены, положение оси трубопровода и колодцев закрепляют с помощью обносок.

Обноска состоит из двух деревянных столбов, устанавливаемых на краю траншеи на высоте 0.5-0.7 м от поверхности земли. К столбам прибивают горизонтальную доску. Положение оси траншеи в колодце отмечают на обноске полочкой, на которую прибивают в виде буквы Т постоянную визирку. Направление оси трубопровода определяют по проволоке-причалке, натянутой между смежных обносок. На обноске краской подписывают номер колодца и диаметр прокладываемых труб.

Глубина разрабатываемой траншеи выверяется с помощью ходовой визирки, изготавливаемой двух видов: одна для рытья траншеи, другая, снабженная в нижней части башмаком, - для укладки труб. Зачистку дна траншеи следует контролировать с помощью геометрического нивелирования.

Трассы самотечных трубопроводов должны быть обеспечены постоянными и временными реперами. Для этого вблизи трассы прокладывают ход нивелирования IV класса. Временные реперы должны быть установлены по трассе не реже чем через 200 м.

Межцеховые коммуникации в большинстве случаев идут параллельно сторонам строительной сетки и разбиваются от пунктов последней по способу прямоугольных координат.

Чертеж для разбивки в натуре отдельной коммуникации составляют на основании проектного плана и продольного профиля; на этот чертеж (рис. 113) наносят ближайшие пункты строительной сетки и относительно них указывают положение разбиваемого участка коммуникации с углами поворота, пикетами, колодцами. На углах поворота подписывают координаты, между колодцами - расстояния.

От пунктов строительной сетки разбивают только углы поворота трассы или узловые колодцы через 300 - 500 м (на рис. 113 точки К-1 и К-9). Все промежуточные колодцы и пикеты определяются в створе этих точек путем отложения соответствующих проектных расстояний. Створ задается теодолитом, расстояния откладывают лентой или оптическим дальномером. При разбивке технологических трубопроводов, идущих многими нитками, почти касающимся одна другой, находят положение двух крайних ниток.

Несколько отличается разбивка надземных трубопроводов. Здесь разбивают места установки фундаментов под опоры, на которых затем монтируют трубопровод. Чтобы трубопровод занял положение некоторой пространственной прямой, разбивка фундамента под опоры и установка на проектные отметки верхних перекладин, на которые опираются трубы, должны быть выполнены с надлежащей точностью. Центры фундаментов опор разбивают от строительной сетки таким же способом, как и колодцы подземных коммуникаций. Около каждого фундамента строят небольшую обноску, на которую теодолитом выносят продольную ось трубопровода и поперечную ось опоры, По этим осям строят опалубку и устанавливают анкерные болты.

Перед засыпкой траншеи выполняют исполнительную съемку. При исполнительной съемке оси выносят на фундамент и от них измеряют расстояние до центров анкерных болтов, чтобы определить их смещение от проектного положения. Между опорами промеряют расстояния и нивелируют верх анкерных болтов и фундамента опоры.

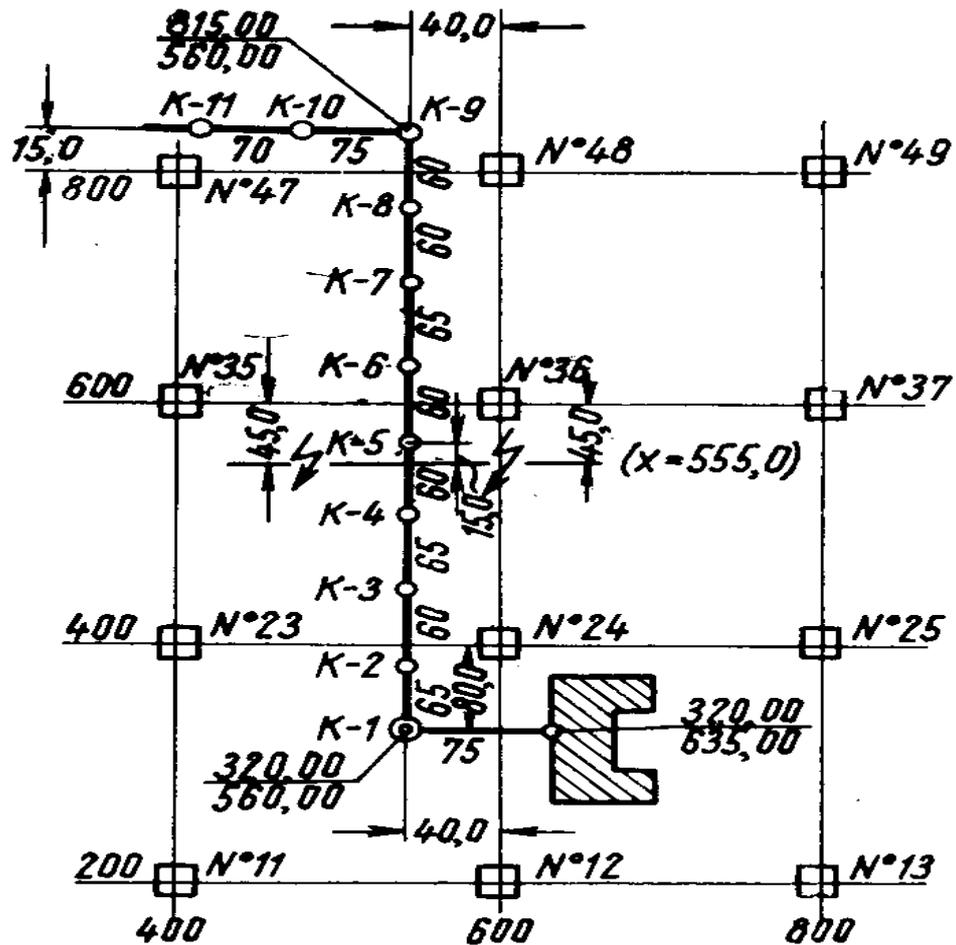


Рисунок 113 - Разбивка коммуникаций

Вводы подземных коммуникаций в здания разбиваются от осей стен. Предварительно по исполнительному чертежу фундамента проверяют, оставлено ли в соответствующем месте отверстие. Место ввода обозначают с внешней стороны здания и от ближайшего колодца разбивают трассу. В самотечных коммуникациях увязывают отметки лотка колодца с отметкой низа отверстия, чтобы получить проектный уклон.

Внутрицеховые коммуникации строятся, как правило, после окончания строительства фундаментов. Это дает возможность производить разбивку этих

коммуникаций как от осей сооружений, так и от закладных частей и граней фундамента, что в значительной мере облегчает работу.

При исполнительной съемке законченных коммуникаций путем аналитической привязки к пунктам геодезической основы определяют координаты углов поворота коммуникаций, узловых колодцев трубопроводов; центров стрелочных переводов железнодорожных линий и перекрестков автодорог; соединительных муфт, колодцев и мест пересечений с дорогами кабельных сетей. Дополнительно все колодцы привязывают к местным предметам. При съемке внутрицеховых коммуникаций углы поворота, колодцы, вводы привязывают к ближайшим фундаментам.

Одновременно с плановой съемкой коммуникаций производят исполнительную нивелировку и определяют отметки залегания трубопровода, лотков и крышек колодцев, полотна дорог.

1.4.1.2. Разбивка подземных трубопроводов

Перенесение на местность трассы трубопроводов выполняется при использовании плана, профиля трассы и сводного плана коммуникаций. Разбивочные работы для устройства траншей состоят в том, чтобы на местности по данным разбивочного чертежа были вынесены в натуру:

- 1) все точки присоединений, подключений и ввод сетей в здания;
- 2) углы поворота осей;
- 3) центры смотровых колодцев;
- 4) места пересечения с другими коммуникациями;
- 5) границы и оси траншей.

На прямолинейных участках трассы точки выносятся не реже, чем через 100м. В плане коммуникации выносятся с точностью 1:2000. Проектные отметки для самотечной сети выносятся с точностью 2-5 мм, для напорной сети 1-2см.

Подготовительные работы по разбивке подземных трубопроводов выполняются в следующей последовательности:

- 1) выписывают координаты и высоты пунктов опорной и съемочной сети в районе трассы;
- 2) определяют координаты всех характерных точек ;
- 3) определяют длины прямолинейных участков;
- 4) вычисляют линейные и угловые разбивочные элементы.

Выносить в натуру трассу можно от красной линии, осей проезда, вершин и сторон строительной сетки, точек теодолитного хода. Вынесение в натуру точек оси трассы выполняется на специально устроенную обноску (рис. 114), так как при рытье траншей оси могут быть уничтожены. На обноске также фиксируются контуры траншеи. Обноску устанавливают перпендикулярно к оси трубопровода.

От точек крепления трассы на обноску выносят и фиксируют ось траншеи (рис. 114). Натянув между осевыми точками смежных обносок проволоку и подвесив на нее отвес, проверяют плановое положение траншеи.

Высотная выверка дна траншеи выполняется с помощью визирок. Прокладывают нивелирный ход и определяют отметки H_H верхней грани каждой обноски. Из этих отметок вычитают соответствующие проектные отметки $H_{лот}$ дна траншеи (или лотка). По полученным разностям выбирают длину ходовой визирки l (3 – 3,5 м). Если из этой длины вычесть ранее полученные разности, то можно определить высоту опорной визирки $h_{оп}$ опорной визирки на каждой обноски, т.е.:

$$H_{оп} = l - (H_H - H_{пр})$$

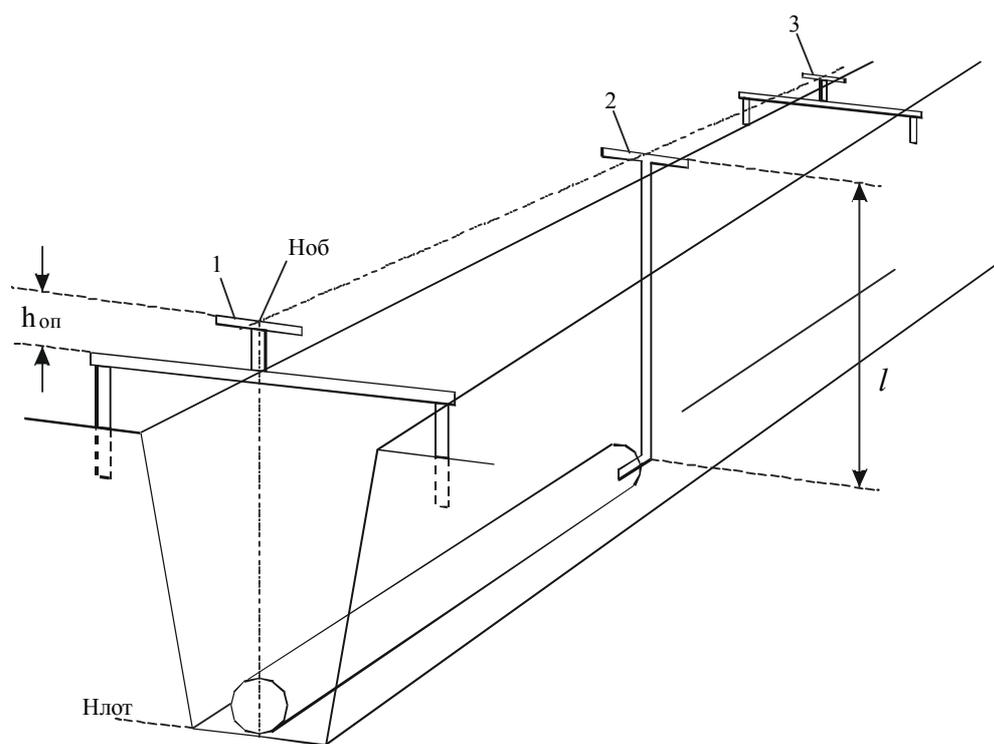


Рисунок 114 – Высотная выверка дна траншеи с помощью визирок:

1, 3 – опорные визирки; 2 – ходовая визирка.

Для удобства пользования длина ходовой визирки выбирается с таким расчетом, чтобы высота опорных визирок на данном участке была в пределах 0,3-1 м. Все вычисления выполняют в специальной ведомости⁴.

Согласно выполненным в ведомости расчетам заготавливают опорные визирки и устанавливают их на необходимой высоте над уровнем обноски.

Высота опорных визирок над проектной линией дна одинакова для всех пикетов и колодцев и равна принятой длине ходовой визирки, т.е. линия, проходящая через верхние планки двух соседних опорных визирок, параллельна проектной линии дна траншеи. Поэтому, если встать около одной из опорных визирок 1 (рис. 114) и, визируя «на глаз» поверх нее на соседнюю опорную визирку 3, установить строго на линии визирования верхний срез ходовой визирки 2, то планка последней будет находиться на проектной отметке дна траншеи в этой точке. Перемещая ходовую визирку по дну траншеи через 3-5 м, получают проектные отметки, по которым окончательно зачищают дно.

⁴ См. Левчук, Новак. Инженерная геодезия., с. 257

Точность способа (при визуальном наблюдении) – соблюдение уклонов с точностью $\pm 1'$. Поэтому при расстояниях между опорными визирками 50-100м, проектные отметки могут быть заданы в натуре с ошибками $\pm 2-3$ см, что достаточно для земляных работ.

На участках вертикальных кривых, где необходимо учитывать поправки за кривизну трассы, способ визирок не применяют, а используют нивелир.

На законченных участках проводят исполнительную съемку траншеи: проверяют прямолинейность; совпадение оси с проектом; нивелируют дно траншеи, определяя отметки на пикетах и в колодцах. Расхождение с проектом допускается $\pm 2-3$ см.

1.4.2. Геодезические работы на нулевом цикле

1.4.2.1. Геодезические работы при возведении фундаментов

1.4.2.1.1. Общие сведения

Сооружение фундаментов - одна из ответственных операций, от которой зависит качество последующих строительных и монтажных работ. Погрешности в закладке фундамента неизбежно нарушат устойчивость всего здания. Поэтому необходимо соблюдать установленную точность разбивки в плане и по высоте.

Все здания и сооружения можно разделить на две основные группы:

- промышленные;
- гражданские.

По конструкции здания можно разделить на:

- одноэтажные здания с ж/б каркасом;
- многоэтажные здания с ж/б каркасом;
- крупнопанельные здания бескаркасные;
- крупнопанельные здания с неполным каркасом;
- кирпичные здания;
- блочные здания;

- монолитные ж/б здания;
- здания из блок - комнат, и т.д.

Таким образом, все здания по конструкции подразделяют на каркасные и бескаркасные. В зависимости от конструкции здания, величины нагрузок и несущей способности грунтов применяют ленточные, свайные, стаканного типа, плитные фундаменты.

По технологии возведения различают фундаменты монолитные и сборные.

1.4.2.1.2. Возведение монолитных фундаментов

При возведении монолитных фундаментов сначала переносят в котлован их оси от обноски, а затем на основе этих осей разбивают контур размещения внутренних граней опалубки. В больших фундаментах опалубку разбивают от обноски. При этом используют идентичные точки обноски и методом прямоугольной створной засечки получают каждую контурную точку, закрепляя ее кольшком или штырем.

На малых объектах оси сносят при помощи проволок, навешенных на обноску, на больших - теодолитами, установленными над точками обноски и ориентированными по своим осям. Если применяют проволоки, точка пересечения их сносится на дно котлована отвесом, а если теодолит - определяется на основе пересечения створов, снесенных на дно котлована. Низ фундамента, характерные уступы и верх его контролируют нивелиром от рабочих реперов (рис. 115). Отметку уровня заливки бетона фиксируют гвоздями или цветным карандашом на внутренней стенке опалубки. Вследствие усадки бетона уровень фундамента несколько понижается, что иногда учитывают в отметке опорной поверхности. На практике чаще всего фактическую отметку бетона несколько понижают для того, чтобы затем сделать подливку опорной плиты. Этот способ применяется при возведении фундаментов под технологическое оборудование и под колонны с фрезерованными башмаками.

При постройке 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 коммуникации. При бетонировании фундамента в этих местах остаются отверстия, к которым впоследствии подводят коммуникацию.

После бетонирования фундамента выполняют контрольные измерения расстояний между осями и нивелирование поверхности фундамента. В результате измерений составляют исполнительную схему, в которой показывают отклонения от проектных данных.

При закладке фундамента для кирпичных стен отклонения от проектных отметок поверхности фундамента могут быть исправлены за счет некоторого увеличения или уменьшения толщины швов кирпичной кладки.

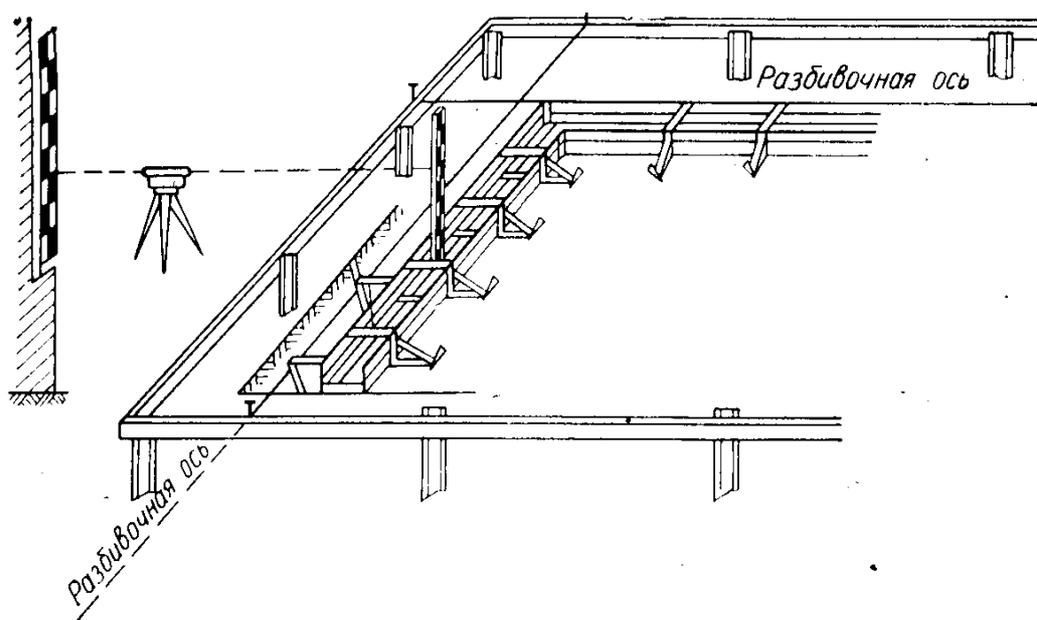


Рисунок 115 - Схема разбивки опалубки ленточного фундамента

1.4.2.1.3. Устройство сборных железобетонных фундамента

Сборные фундамента состоят из отдельных блоков. Перед монтажом фундаментных блоков, на их грани наносят риски, соответствующие осям возводимого сооружения (рис.116).

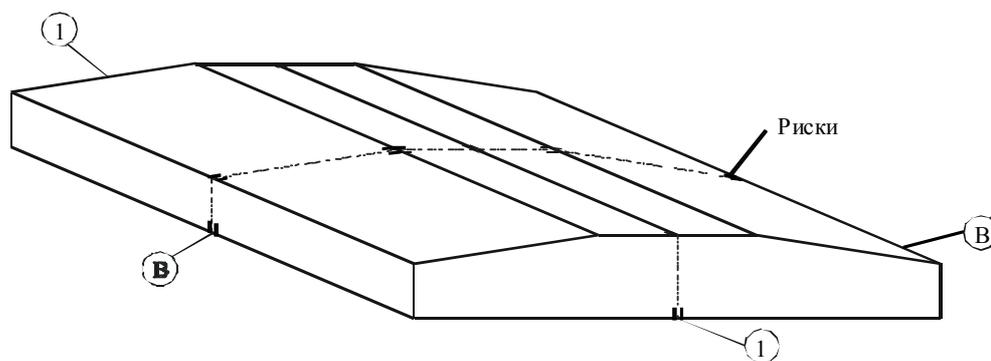


Рисунок 116 - Пример разметки фундаментного блока

Монтаж сборных фундаментов начинают с угловых и маячных блоков (рис. 117). Для этого на дно котлована сносят с обноски контур или ось фундамента и по грани блока или его оси производят укладку. Контроль укладки блоков удобно вести при помощи лазерного визира ЛВ-5. Для соосного размещения блоков ленточного фундамента рационально применять П-образный угольник с осевой риской, навешиваемый сверху на блок. По окончании укладки верхнюю часть фундамента нивелируют и выравнивают для укладки плит перекрытия.

Промежуточные блоки

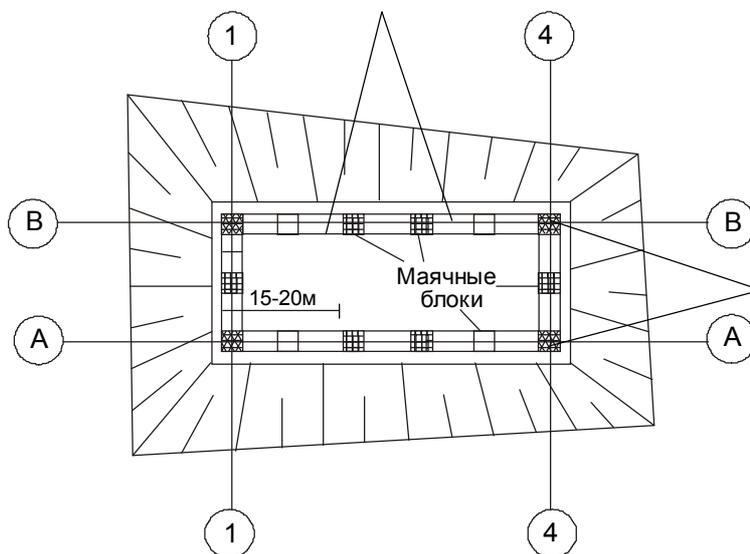


Рисунок 117 - Схема монтажа фундаментных блоков

Пример укладки блоков с использованием струн или проволоки для закрепления осей (рис. 118).

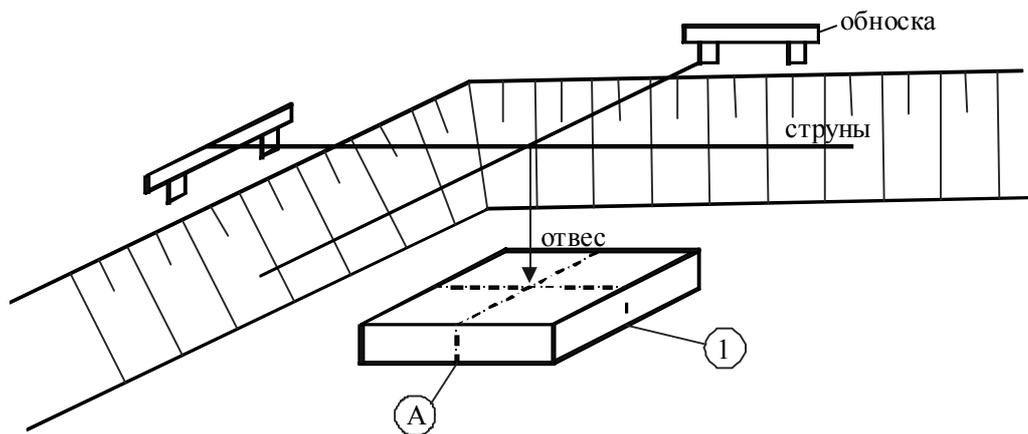


Рисунок 118 – Схема укладки блоков с помощью струн и отвеса

Фундаментные блоки можно укладывать по проекту с использованием теодолитов (рис.119).

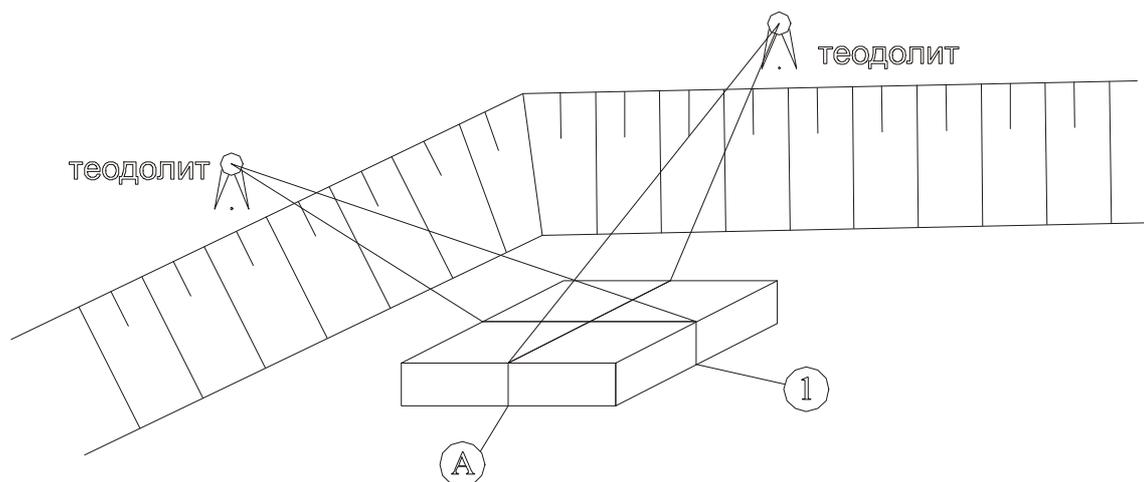


Рисунок 119 – Схема укладки блоков с помощью теодолитов

Угловые фундаментные блоки устанавливают в проектное положение с использованием 2-х теодолитов. Для укладки маячных блоков используют один теодолит и рулетку для измерений по створу от угловых блоков. Промежуточные блоки устанавливают по шнуру - причалке, натянутому между маячными блоками.

1.4.2.1.4. Свайные фундаменты

Свайные фундаменты применяют в котлованах со слабыми грунтами а также при возведении сложных по конструкции строений.

Свайные фундаменты обычно располагают в два ряда, либо сгруппированными в “кусты”.

При устройстве свайных фундаментов сваи или свайные поля разбивают на основе осей здания или сооружения и плана свайного поля. Плановое положение свай разбивают способом створно-линейного построения, створной или угловой засечек. Центры свай закрепляют временными деревянными кольями или металлическими штырями. Для контроля высотного положения забиваемых свай их размечают поперечными рисками на метровые отрезки от острия к оголовку. По окончании забивки свай на оголовки выносят отметки низа ростверка, по которым производят срезку свай. В заключение производят исполнительную съемку свайного поля и составляют исполнительную схему, на которой показывают отклонения центров свай от проектного положения и отметки верха срезанных свай.

По требованию СНиП 111-Б6 - 62, допускаемые отклонения свай, оболочек и шпунтов диаметром до 60 см и длиной до 20 м от проектного положения, не должны превышать: для ряда и куста свай $(0,20 - 0,30) D$, для свайного поля - не более $0,40 D$, для оболочек диаметром 60 - 200 см - не более $(0,40 - 0,50) D$; для оболочек диаметром более 200 см - не более $0,60 D$, где D - диаметр или размер сечения сваи (оболочки), м. Допустимые отклонения для свай и оболочек длиной более 20 м устанавливаются проектом. Допустимое отклонение верха срезанной сваи по высоте не должно превышать ± 20 мм.

1.4.2.1.5. Фундаменты под колонны

Все здания по своей конструкции подразделяются на каркасные и бескаркасные. Обычно промышленные здания являются каркасными зданиями, гражданские – бескаркасными, но бывают исключения.

Основными несущими элементами в каркасных зданиях являются колонны, ригели. На конструкцию колонн и ригелей затем уже навешиваются стенные панели и укладываются фермы перекрытия.

Колонны различают двух видов: металлические и железобетонные. В зависимости от вида колонн и выбирают конструкцию фундаментов.

А) Фундаменты под железобетонные колонны.

Под железобетонные колонны монтируют фундаменты стаканного типа. Эти фундаменты можно выполнять из сборных частей, а также монолитными. Фундаменты высотой более 35 см сооружают ступенчатыми, при этом ступени монолитных фундаментов имеют горизонтальную поверхность, а сборных фундаментов - наклонную. Фундамент типа «стакан» имеет вид, показанный на рис. 120.

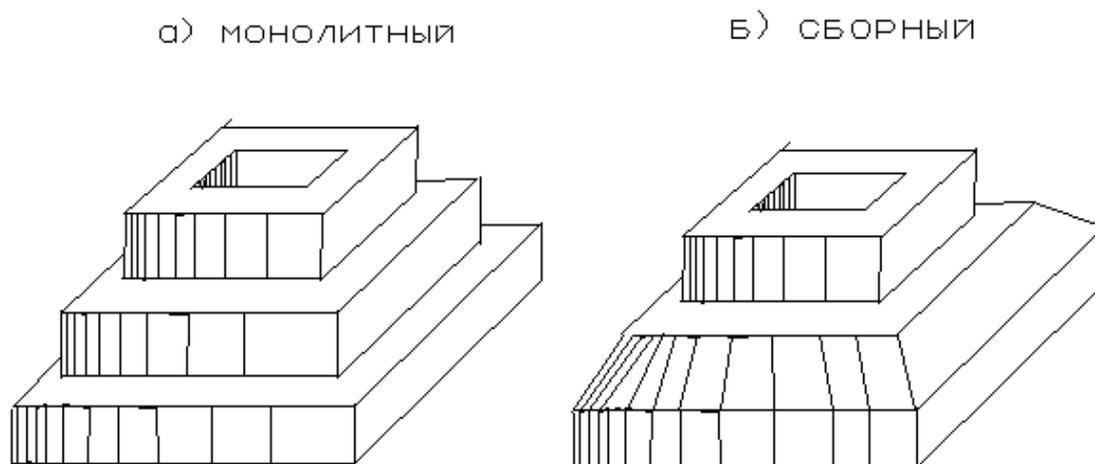


Рисунок 120 – Фундамент типа «стакан»

Перед монтажом фундаментов на дно котлована передаются оси возводимого сооружения. Путем откладывания проектного расстояния по продольным и

поперечным осям колыями закрепляют проектное положение фундамента. В пределах закрепленного четырехугольника монтируют сборный фундамент либо устанавливают опалубку для монолитного фундамента (инвентарные деревянные щиты - короба, поставленные друг на друга).

В плановое проектное положение короба устанавливают по отвесам, опускаемым с проволок, фиксирующих строительные оси. Окончательно установленные короба прочно закрепляют. На стенки короба выносят проектные отметки. Подколонник монтируют не до проектной отметки, а несколько ниже с расчетом в последующем, подливая бетонную смесь, довести поверхность фундамента до проектной отметки. Если же поверхность фундамента окажется с заниженной отметкой, то при установке колонны на фундамент под ее башмак может быть подложена соответствующей толщины металлическая подкладка.

Перед укладкой сборных блоков фундамента, на них фиксируются положения осей. Если строящийся объект не большой то монтаж можно осуществлять от осей, закрепленных струнами и фундамент устанавливать в проектное положение с помощью отвеса.

При возведении фундаментов типа «стакан» под железобетонные колонны в конце работ наносят четыре осевые риски по краям стакана, определяют отметки четырех углов и дна стакана или величину отклонения отметок от проектных. На схеме исполнительной съемки показывают положение осевых рисок (рис. 121).

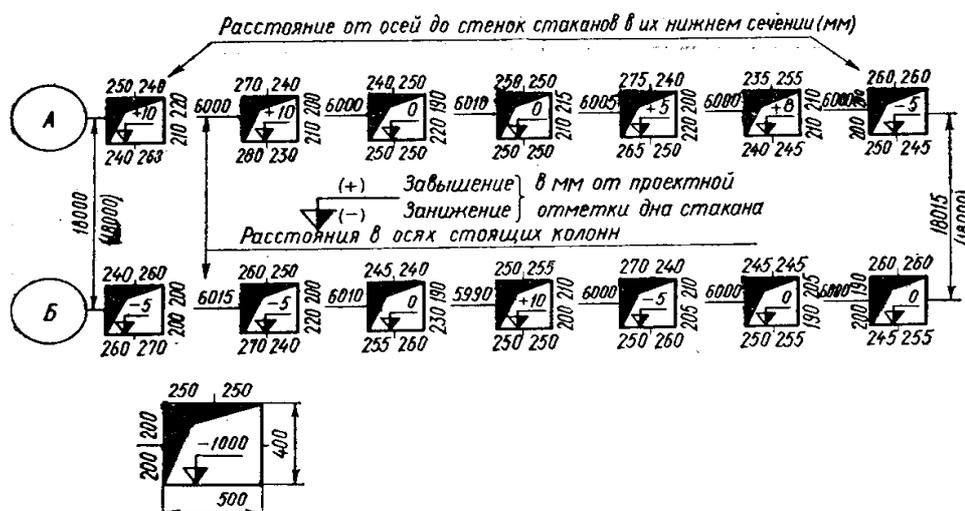


Рисунок 121 - Исполнительная съемка фундаментов типа «стакан»

Б) Устройство фундаментов под металлические колонны.

Металлические колонны крепят на фундаментах с помощью анкерных болтов или анкерных устройств.

Для крепления к фундаментам металлических колонн, а также технологического оборудования в них закладывают фундаментные (анкерные) болты. Анкерные устройства, особенно анкерные болты, следует разбивать с большой тщательностью. Средняя величина отклонения центра анкерного болта от проектного положения не должна превышать ± 2 мм (предельная ошибка ± 5 мм).

Средняя квадратическая ошибка разбивки осей анкерных устройств относительно основных осей сооружения не должна превышать ± 4 мм. Анкерные устройства устанавливают от осей фундамента, которые для этого выносят теодолитом на верх опалубки и закрепляют там. Если опалубка или обноска находятся глубоко в котловане и при выносе осей приходится наклонять трубу теодолита на значительный угол, то для уменьшения влияния инструментальных ошибок вынос осей необходимо выполнять при двух положениях круга теодолита, образуя из них среднее. При этом ось вращения теодолита должна быть тщательно приведена в отвесное положение.

Контроль планово-высотного положения анкерных болтов - ответственный элемент геодезического обеспечения строительства. Для правильного размещения болтов в теле фундамента используется шаблон или кондуктор. Он представляет собой плоскую облегченную, но жесткую деревянную или металлическую раму с гнездами для крепления болтов (рис. 122). На раме нанесены продольные и поперечные риски, при помощи которых ее совмещают на опалубке с осями фундамента и так закрепляют. Для сохранения вертикальности болтов их выверяют и приваривают к арматуре фундамента. После бетонирования производят контроль незыблемости опалубки и анкерных болтов и составляют исполнительную схему их планово-высотного положения. Все исправления производят до застывания бетона.

В последние годы анкерные болты начали размещать в оставленные в фундаменте специальные колодцы, заделываемые после установки, выверки и крепления болта клеем на основе цемента и эпоксидной смолы. Другая разновидность этого метода заключается в бурении таких колодцев в фундаменте. Основные требования к точности возведения фундаментов предъявлены в СНиП 111-В 1 - 62.

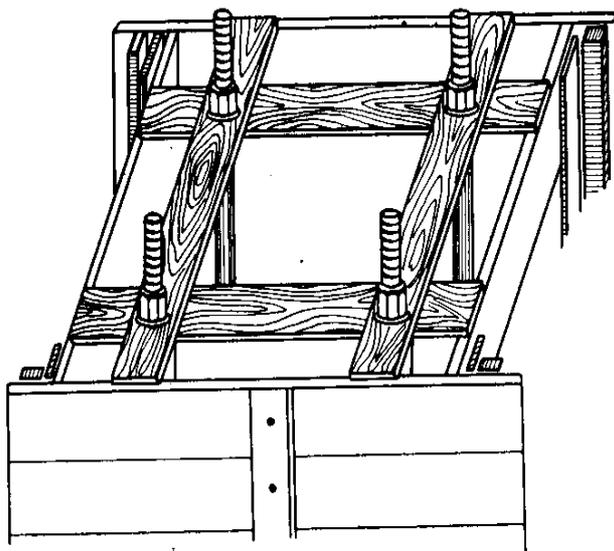


Рисунок 122 - Крепление легких анкерных болтов

В фундаментах под тяжелые агрегаты закладывают анкерные устройства больших диаметров и большего веса; для удержания их приходится устраивать специальные монтажные приспособления (рис. 123). Основными частями этих приспособлений являются металлические шаблоны 1, служащие для закрепления анкерных устройств 2, и металлические каркасы 3, поддерживающие во время бетонирования шаблоны с анкерными устройствами в проектное положение. Стойки каркасов опираются на бетонную подготовку и связываются между собой рамами и балками 4.

После бетонирования каркасы с анкерными устройствами остаются в бетоне, а шаблоны снимаются.

В фундаментах под оборудование анкерные устройства обычно имеют сложную систему расположения в плане и по высоте; при этом каждый болт,

каждая опорная плита должны быть установлены с заданной точностью и надежно закреплены. Установка и выверка анкерных устройств является самой трудоемкой работой из всех разбивочных работ. Для облегчения этой работы на каждую типичную группу анкерных устройств изготавливается особый шаблон, называемый кондуктором. Кондукторы представляют собой рамное приспособление, сваренное из отрезков швеллера или металла другого профиля, на котором в строгом соответствии с проектом расположения анкерных устройств нанесены оси и просверлены отверстия в местах установки болтов. Для нетяжелых анкерных болтов (устройств) кондукторы могут быть изготовлены из деревянных брусьев (рис. 122).

При закреплении кондуктора на месте его оси совмещают с соответствующими осями фундамента и верхнюю плоскость устанавливают на точки по отметкам, вынесенным на стойки каркаса. Если отверстия для анкерных болтов нанесены строго по проекту и если кондуктор с точностью 1-2 мм установлен относительно разбивочных осей фундамента, то естественно, что закрепленные в центре отверстий болты будут расположены в плановом отношении с надлежащей точностью. Необходимо только установить их при помощи отвеса вертикально (с ошибкой не более $1/1000$ длины болта) и поднять или опустить до требуемой отметки.

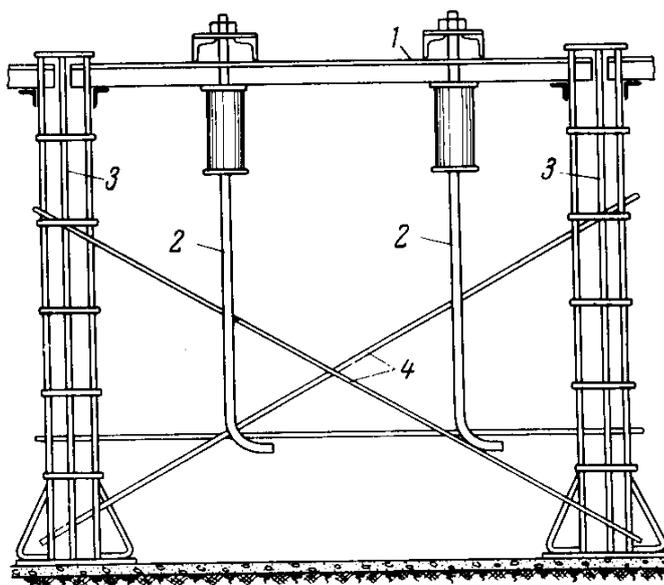


Рисунок 123 - Крепление тяжелых анкерных болтов

Применение кондукторов в значительной мере ускоряет и повышает точность установки анкерных устройств.

Окончательно установленные анкерные устройства жестко прикрепляют гайками к шаблону и концы их дополнительно приваривают к каркасу или арматуре, чтобы при бетонировании их положение не нарушалось.

Одновременно с анкерными устройствами устанавливают и другие закладные части: трубопроводы внутри фундамента, трубки для электрокабелей, поддерживающие элементы для облицовки и окаймления фундамента и др. Разбивочные работы для этих частей выполняются с несколько меньшей точностью, чем для анкерных устройств. При их установке промеры ведутся как от осей фундамента, так и от уже установленных анкерных устройств.

Так как установка анкерных устройств является очень ответственным этапом, во многом определяющим качество монтажных работ, то до бетонирования фундамента необходимо произвести плановую и высотную выверку установки этих устройств, а также и других закладных частей.

На установку анкерных болтов дважды составляют исполнительную схему: до и после бетонирования. На схеме показывают отклонения в плане и по высоте. К схеме прилагают таблицу отметок болтов и верха бетона подколонника (рис. 124, 125).

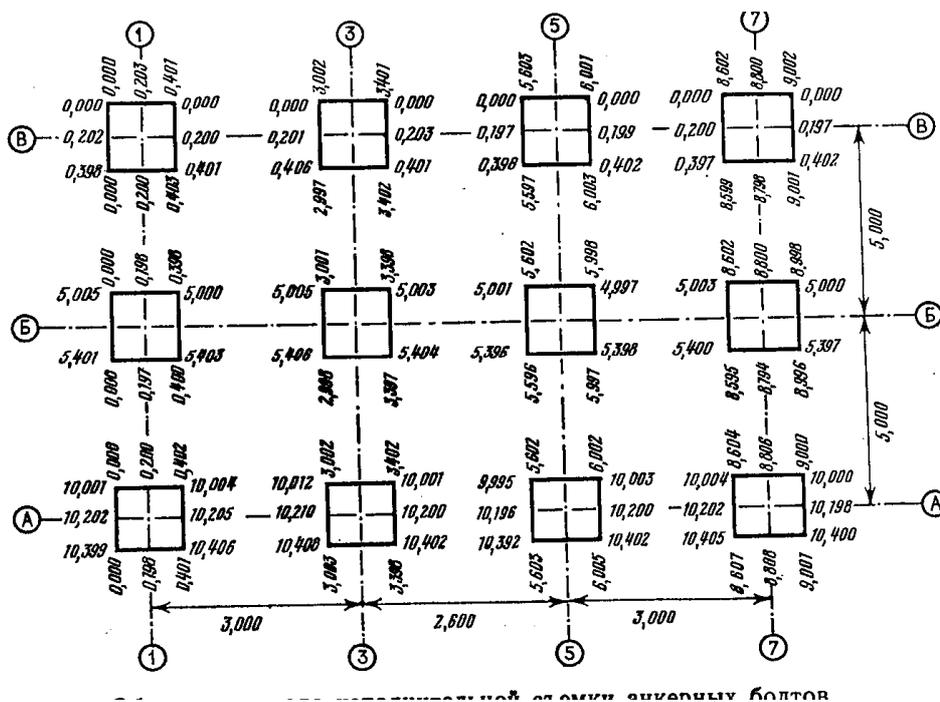


Рисунок 124 - Образец журнала исполнительной съемки

Выверку начинают с контроля основных осей фундамента, проверяют, не сбилась ли обноска и правильно ли вынесены оси на опалубку. От уточненных осей, вдоль которых натягивают струну, при помощи отвеса и рулетки измеряют расстояния до центров анкерных болтов и других закладных частей, а также расстояния между ними. Одновременно нивелированием определяют их отметки.

По данным контрольных измерений вычисляют для каждого анкерного болта отклонения от проектных расстояний вдоль продольной и поперечной осей, а также по высоте и выписывают эти отклонения в особую ведомость.

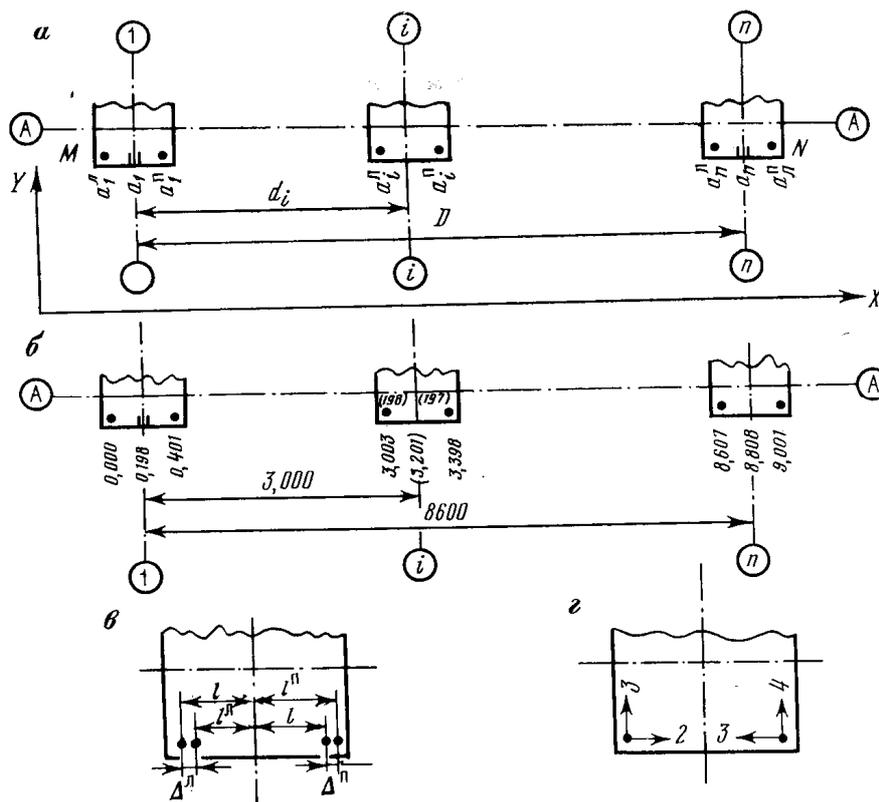


Рисунок 125 - К исполнительной съемке анкерных болтов:
 а) схема съемки; б) журнал; в) схема определения отклонения;
 г) фрагмент исполнительной съемки.

При установке и выверке закладных частей необходимо строго соблюдать правила техники безопасности; в частности, на время измерений сверху опалубки должен быть сделан настил.

В процессе бетонирования фундамента дополнительно закладывают в него ряд плановых и высотных геодезических знаков, необходимых для монтажных работ и для наблюдений за осадками сооружения.

При нивелировании фундамента под металлические колонны определяют отметки поверхности бетона, головок анкерных болтов и других закладных деталей. В ряде случаев проектную отметку выносят на анкерные болты и закрепляют краской. В практике строительства высотных сооружений металлические колонны устанавливают на стальные плиты, которые нивелируют по верхним плоскостям в четырех-пяти точках (по углам и в середине) в

зависимости от размеров плит. Отсчеты по рейке при нивелировании выполняются с точностью до 0,1 мм.

При предварительной установке плит пользуются проектными отметками их верха, отмеченными на анкерных болтах. Для контроля выравнивания плит применяют оптический квадрат КО-10 или машиностроительный уровень с ценой деления 20 - 40".

При бетонировании под действием вибраторов происходит некоторое смещение закладных частей и опалубки. Кроме того, вследствие некоторой усадки бетона несколько уменьшаются отметки его поверхности. Поэтому для выявления фактического расположения закладных частей после бетонирования и определения размеров и отметок отдельных деталей фундамента после распалубки последнего производят исполнительную съемку.

1.4.2.1.6. Исполнительная съемка фундаментов

По окончании монтажа фундаментов выполняется исполнительная съемка. Для съемки основные оси по способу створов выносят непосредственно на бетонную поверхность фундамента и маркируют их тонкой чертой. В местах, где заложены металлические знаки, оси накерновывают на эти знаки. От продольных и поперечных осей непосредственными промерами рулеткой по бетону измеряют расстояния до анкерных устройств и других закладных частей, до граней бетона, выступов, проемов. Одновременно определяют отметки верха анкерных болтов и плит и поверхности бетона около них, закладных трубопроводов, отдельных выступов и проемов, а также характерных мест по обрезу фундамента.

У фундаментов стен снимают плановое и высотное положение всех оставленных отверстий для вводов коммуникаций.

Расстояния до закладных частей и отметки определяются с точностью до 1 мм, размеры бетонных частей измеряют до 1 см. В результате съемки составляют исполнительный чертеж фундамента и ведомость исполнительных

данных анкерных устройств, по которым проводят приемку фундамента для монтажных работ.

1.4.3. Геодезические работы при возведении наземной части зданий

1.4.3.1. Плановая и высотная разбивочные сети при строительстве наземной части

По мере возведения цокольной части и стен здания или сооружения исчезает видимость по осям, например, на рис.1 - по осям А-А, В-В, Б-Б, 1-1,2-2 и т.д. Установленная ранее отмотка к этому времени обязательно окажется разрушенной и, следовательно, большая работа, проведенная при разбивке основных осей, пропадет. Возникает необходимость переноса строительных осей и отметок на фундаменты возводимого здания. С помощью геометрического нивелирования на цокольной части здания создается *нулевой горизонт*, который не является горизонтом “чистого пола” первого этажа. Горизонт “чистого пола” первого этажа несколько возвышается над цоколем и плоскостью подвального перекрытия.

Поэтому нивелированием выносят отметку условного уровня, который в практике строительства носит название *исходного горизонта*. Сети на исходном горизонте по мере возведения здания используют как опорные для передачи их координат на монтажные горизонты.

Монтажным горизонтом называется условная плоскость, находящаяся в нижнем уровне основания монтируемых элементов конструкций.

Опорная плановая разбивочная сеть может быть построена не только на подвальном перекрытии, но и на блоках фундамента или бетонной подготовке.

А) Плановая разбивочная сеть на исходном горизонте

Виды и точность плановой разбивочной сети зависят от этажности здания, высоты сооружения и их конструктивных решений. Однако в основном сеть создают в виде правильных геометрических фигур, повторяющих конфигурацию строящегося здания или сооружения. Стороны сети должны быть параллельны осям здания или сооружения, чтобы можно было проводить линейные измерения непосредственно от строительных осей или при разбивке широко применять способы створов, полярных или прямоугольных координат. Наиболее удобной формой сети для жилого строительства является полигонометрия (рис. 126).

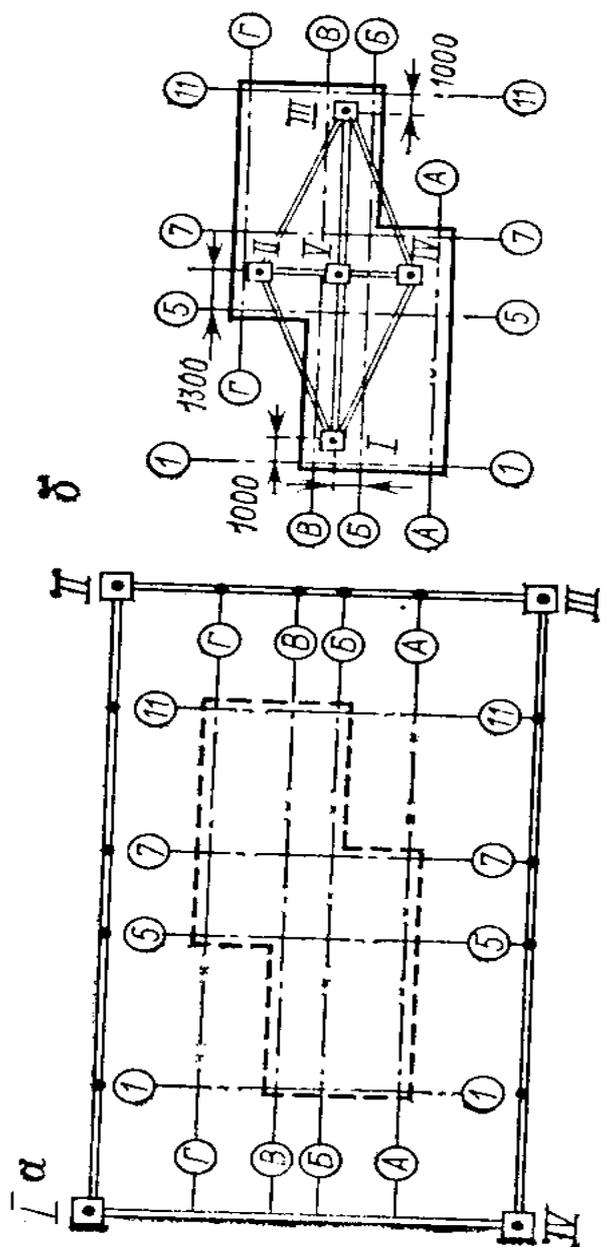


Рисунок 126 - Разбивочная сеть при детальной разбивке осей зданий:

а) внешняя; б) внутренняя

Согласно СНиП 301.03-84 точность разбивочных геодезических работ назначается в зависимости от характеристики и конструкции строящегося объекта (см.табл.14).

Таблица 14- Требования к точности измерений при построении разбивочных сетей и выполнении разбивочных работ

Величина средней квадратической погрешности

Характеристика зданий и их конструкций	угловые измерения, сек	линейные измерения, мм	определение превышения на станции, мм
Сооружение высотой от 100 и до 120 м или с пролетами от 30 до 36 метров	5	1:15000	1
Здания выше 15 этажей или с пролетами от 18 до 30 метров	10	1:10000	2
Здания от 5 до 15 этажей или с пролетами от 6 до 18 метров	20	1:5000	2.5
Здания до 5 этажей или с пролетами до 6 метров	30	1:3000	3

Следует отметить, что плановую разбивочную сеть на исходном горизонте необходимо выполнять более точно, чем сеть, которая создается на монтажном горизонте.

При возведении промышленных сооружений сложной конфигурации, оснащенной технологическим оборудованием, устанавливаемым с высокой точностью, а также при строительстве высотных зданий разбивочную сеть на исходном горизонте целесообразно создавать методом трилатерации.

Точки плановой сети на исходном горизонте I, II, III, IV, ..., XII закрепляют обрезками арматуры или кернят на закладных частях в фундаментах или плитах перекрытия. Число опорных точек назначается в зависимости от характеристики здания или сооружения.

В необходимых случаях плановая разбивочная сеть на исходном горизонте может быть сдвинута и развернута относительно осей здания.

1.4.3.2. Проектирование разбивочных осей на монтажном горизонте

Для обеспечения монтажа конструкций в многоэтажных зданиях или многоярусных сооружениях на монтажные горизонты должны быть вынесены опорные точки, закрепляющие оси на исходном горизонте. Такие точки на монтажном горизонте образуют сеть геодезического обоснования. Число опорных точек, передаваемых на монтажные горизонты, зависит от размеров здания или сооружения в плане и технологии строительно-монтажного производства. Разбивочные оси на этажи или монтажные горизонты переносят разными способами.

А) Способ наклонного проецирования

В технических условиях монтажа крупнопанельных зданий основные разбивочные оси рекомендуется переносить при помощи теодолита, тщательно центрируемого над сохранившимися створными знаками (см. рис. 127). При этом сначала наводят трубу на соответствующую риску, закрепляющую ось на цоколе, затем, поднимая трубу в вертикальной плоскости, переносят оси на верх смонтированной части здания. Ось отмечают карандашом в виде риски на лицевой поверхности наружных элементов и переносят на перекрытие при помощи отвеса.

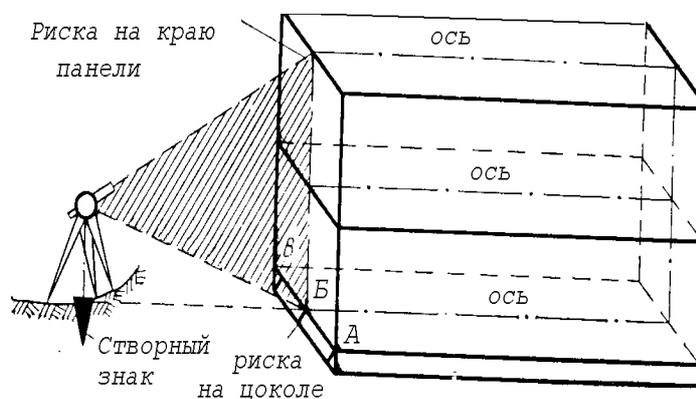


Рисунок 127 - Схема переноса разбивочных осей на этажи наклонным проецированием

В практике строительства зданий высотой до 9-ти этажей иногда применяют другой способ передачи осей (рис. 128). Выносят створные линии по наружным продольным стенам на равное расстояние (15-20 м) от монтируемого здания и забивают колышки (точки А и В на рис.3), потом на середине между этими колышками забивают осевой колышек Б, фиксирующий среднюю продольную ось. Над этим колышком центрируют теодолит, затем ось переносят на этаж, применяя вышерассмотренный способ. Таким же образом средняя продольная ось переносится на здании с другой стороны. В рассмотренном способе возникает необходимость в сохранении створных точек (точка Б) или в постоянном их построении.

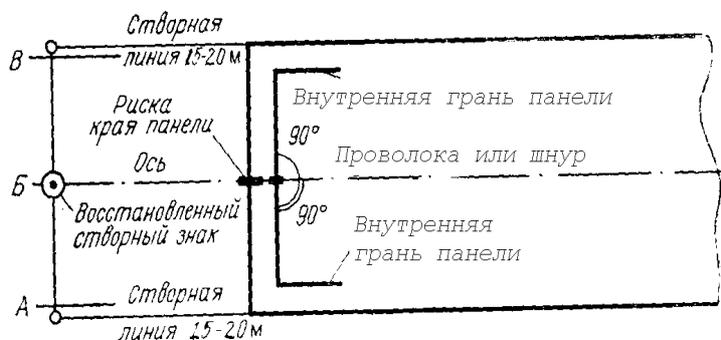


Рисунок 128 - Схема переноса осей на этажи с восстановлением створных точек

Б) Способ прямой засечки

Имеет место и третий способ переноса осей снизу вверх, при котором створные точки нужны только в начале строительства для переноса межсекционных осей на смонтированную цокольную часть здания (см. рис. 129). На цоколе оси отмечают яркой устойчивой краской для сохранения их до конца строительства. Затем точки осей с цоколя могут быть переданы наверх теодолитом способом прямой засечки с двух произвольно выбранных станций. При этом теодолит совершенно не центрируют на станции, что уменьшает ошибку в переносе осей и ускоряет процесс переноса. В некоторых случаях точки осей с цоколя (если последний отстоит от плоскости стены на некотором расстоянии) передают вверх на специальные козырьки, где эти точки получают пересечением двух визирных (коллимационных) плоскостей.

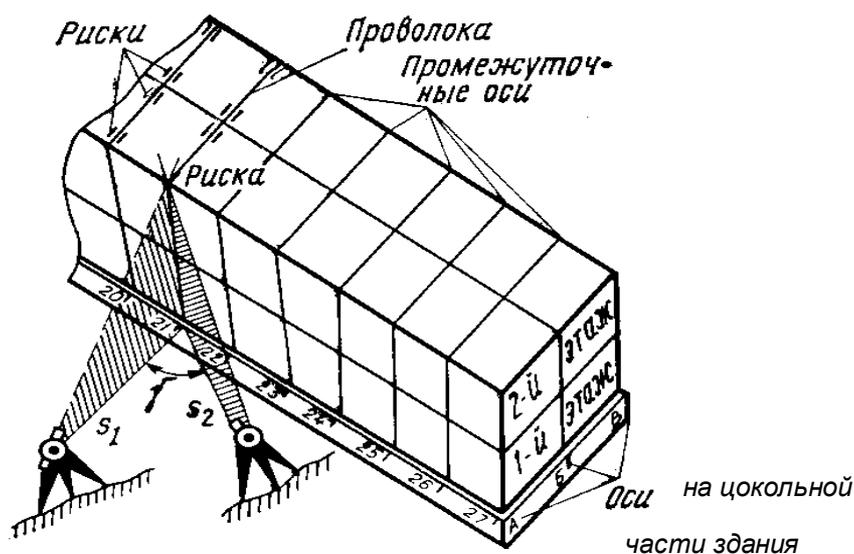


Рисунок 129 - Схема переноса точек осей на этажи способом прямой засечки

При первом способе на точность переноса осей снизу вверх влияют ошибки центрирования прибора, наведения на фиксированную точку оси на цоколе и визирования на искомую точку вверху, а также ошибка приведения основной оси прибора в отвесное положение (наклон оси теодолита). При способе прямой засечки ошибка центрирования прибора не имеет значения, и в расчет надо принять только ошибки визирования и наклона оси теодолита.

◆ Ошибка визирования вычисляется по формуле:

$$m_V = \frac{60}{V},$$

где V -увеличение трубы.

При $V = 25^x$, $m_V = 2.4''$.

◆ Ошибка наклона оси вычисляется по формуле:

$$m_H = i \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где i -наклон вертикальной оси прибора, равный примерно 1/5 цены деления уровня горизонтального круга;

α -угол наклона трубы теодолита.

При цене деления уровня $\tau = 45''$ и $\alpha = 45^\circ$, получим $i=9''$, $m_H = 9 \cdot \operatorname{tg} 45^\circ = 9''$.

Средняя квадратическая ошибка направления при этих данных будет равна:

$$m = \sqrt{2 \cdot m_V^2 + m_H^2} \approx 10''.$$

Средняя квадратическая ошибка перенесения точек снизу вверх определяется по формуле

$$m_t^2 = (m_1^2 \cdot S_1^2 + m_2^2 \cdot S_2^2) / (\rho^2 \cdot \sin^2 j),$$

где S_1, S_2 - расстояние от прибора до риски оси на цоколе;

j - угол при засекаемой точке оси на цоколе (см. рис.129).

Если допустить, что прибор устанавливают в вершинах правильного треугольника со стороной 30 метров и с $m_1 = m_2 = 10''$, то получим:

$$m_t = m \cdot S \sqrt{2} / (\rho \cdot \sin j) \approx 2,6 \text{ мм.}$$

Даже при самых худших условиях (больших расстояниях и остром угле $j = 30^\circ$) средняя квадратическая ошибка m_t не превышает 3 мм, что точнее, чем при других способах передачи точек осей снизу вверх для зданий выше 9-ти этажей.

В настоящее время для переноса осей многоэтажных зданий и сооружений на монтажный горизонт широко применяются приборы для вертикального проектирования (ОЦР, PZL, ЛЗЦ и др.).

В) Способ вертикального проектирования

Сущность этого способа заключается в том, что опорную точку, расположенную на исходном горизонте, проектируют на монтажные горизонты сквозь специальные отверстия в перекрытиях. В зависимости от технологии монтажных работ вертикальный луч может проходить сквозь все монтажные горизонты или последовательно с одного монтажного горизонта на другой (рис. 130, 131).

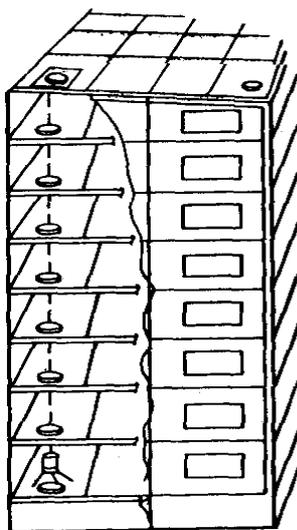


Рисунок 130 - Схема переноса точек опорной сети на монтажный горизонт способом вертикального проектирования

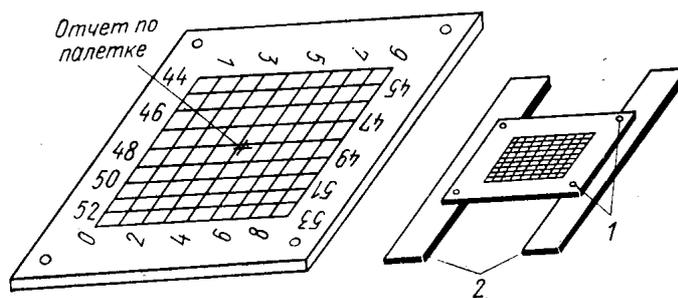


Рисунок 131 - Палетка для приборов вертикального проектирования:
1- места крепления палетки; 2- доски, укладываемые под отверстиями в плитах перекрытия.

Передача разбивочных осей на монтажный горизонт способом вертикального проектирования обеспечивает заданный проектом класс точности. Например, для здания высотой $H=40$ метров средняя квадратическая ошибка передачи осей составляет 0.6 мм.

При использовании способа вертикального проектирования необходимо предусматривать двухстороннюю связь между исполнителями, находящимися на монтажном и исходном горизонтах.

1.4.3.3. Построение разбивочной сети на монтажном горизонте

Основой для построения разбивочной сети на монтажном горизонте служат опорные пункты, полученные проектированием с исходного горизонта. Построение сети на монтажном горизонте осуществляют как на исходном горизонте, но с точностью на класс ниже, чем на исходном горизонте.

Разбивочные оси и монтажные (установочные) риски наносят на перекрытие монтажного горизонта от пунктов разбивочной сети с помощью построения створов, проектных отрезков и способом перпендикуляров.

При построении створа особое внимание уделяют центрированию теодолита и визирной цели. При небольших длинах сторон, как правило, не применяют построений проектных углов с помощью теодолита. Для получения отдельных точек используют линейные засечки. Требования к точности измерений приведены в СНиП 301.03-84.

Для контроля разбивки измеряют расстояния между рисками осей и диагонали полученных прямоугольников. После контроля разбивочные оси и установочные риски закрепляют на перекрытиях монтажного горизонта несмываемой краской ярких цветов, керном на закладных деталях сборных железобетонных конструкций или дюбель гвоздями. На рис. 132 приведен пример построения разбивочных осей:

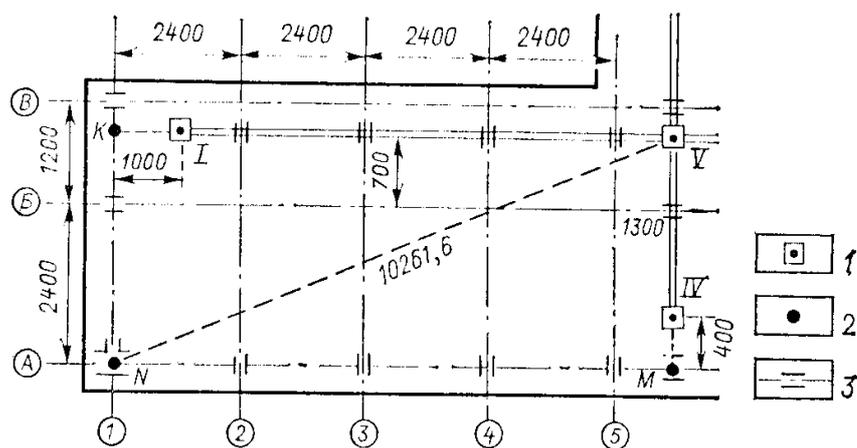


Рисунок 132 - Схема детальной разбивки осей на монтажном горизонте

По створам сторон сети V-I и V-IV откладывают проектные отрезки, равные соответственно 1000 и 400 м и получают точки К и М. Линейной засечкой с точек К и М и пункта V получают точку N. По створам линий NM и KV откладывают проектные отрезки 2400 мм и получают поперечные оси 1-1, 2-2, 3-3 и т.д.

Положение осей на перекрытиях закрепляют открасками, Аналогично проводят разбивку по створным линиям НК, VM и получают положение осей Б-Б и В-В. Для контроля измеряют диагонали прямоугольников, образованных осями и расстояниями от осей до пунктов разбивочной сети.

1.4.3.4. Создание высотной основы

На крупных строительных объектах для создания высотной основы по пунктам строительной сетки прокладывают нивелирный ход. Требования к точности измерений в ходе зависит от характеристики объекта.

Если нет строительной сетки, то на территории строительства закладывают ряд реперов и определяют их отметки. Число реперов и их расположение на объекте должно обеспечивать передачу отметок на здания и сооружения с одной постановки нивелира. Для обеспечения надлежащего контроля за неизменностью высотного положения реперов на строительной площадке их должно быть не менее трех.

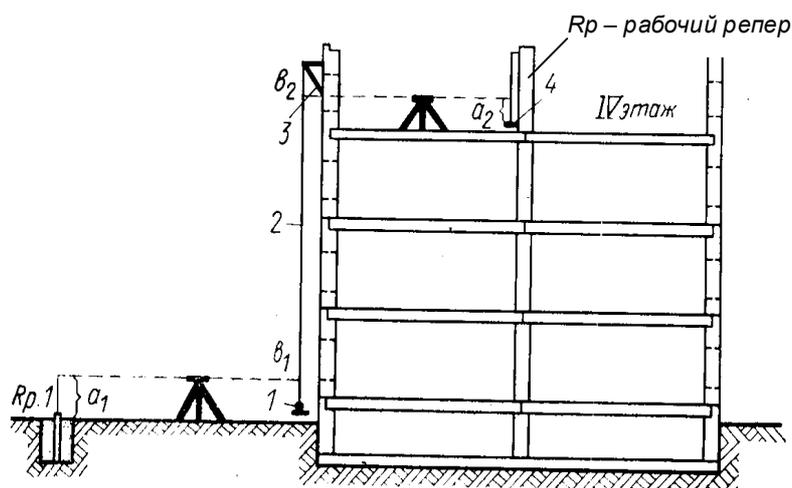


Рисунок 133 - Передача отметок на монтажный горизонт

Внутренней высотной основой при возведении многоэтажных зданий служат реперы (марки), заложенные в конструкцию фундамента или первого этажа. Эти реперы в период возведения здания называют основными. Для обеспечения контроля за сохранностью высотного положения реперов число их на здании должно быть не менее трех.

Передачу отметок на основные реперы здания производят геометрическим нивелированием с пунктов (реперов) внешней разбивочной основы.

В качестве высотного обоснования на монтажном горизонте служат рабочие реперы, отметки которых получают от реперов, расположенных на исходном горизонте. Одним из способов передачи отметки на монтажный горизонт является их передача при помощи двух нивелиров и рулетки (рис. 133).

Отметка рабочего репера будет вычислена по формуле:

$$H_4 = H_{Rp1} + a_1 + (b_2 - b_1) - a_2.$$

Во втором способе отметки на каждый этаж передаются от точек нулевых отметок, закрепленных на цоколе или другом удобном месте, или от строительных реперов, имеющих на строительной площадке, с использованием для этой цели стальной рулетки, нивелира и рейки.

Сначала измеряют расстояние рулеткой от точки цоколя, на которую передана отметка, до верха возведенного этажа по фасаду здания. Получают

отметку промежуточной точки. Далее встают с нивелиром на перекрытие соответствующего этажа и передают отметку от этой промежуточной точки на любую конструктивную точку этажа.

Средняя квадратическая ошибка m такой передачи отметки будет зависеть от ошибок: отсчетов по рейке m_a , измерения вертикального расстояния m_l , компарирования рулетки и рейки m_k и ошибки m_o , зависящей от влияния всех других источников:

$$m = \sqrt{4m_a^2 + m_l^2 + 2m_k^2 + m_o^2};$$
$$m_a = m_l = m_k = m_o = 1\text{мм},$$
$$m \approx 2.8\text{мм}.$$

После завершения работ по созданию плановой и высотной основы составляют исполнительную схему для каждого монтажного горизонта.

1.4.3.5. Геодезические работы при подготовке к монтажным работам

1.4.3.5.1. Контроль геометрических параметров сборных конструкций

При подготовке к монтажу производят контроль геометрических параметров сборных конструкций и их разметку.

Для плоских элементов измеряют длину, ширину, диагонали и толщину детали. При измерениях используют стальные компарированные рулетки с миллиметровыми делениями. Для фиксации граней применяют уголковые фиксаторы (рис. 134, а). Погрешности измерений не должны превышать 0.2 допуска на отклонение конструкции от проектного размера. Результаты измерений сравнивают с проектными размерами и вычисляют отклонения Δ .

Отклонения сборного элемента от прямоугольной формы характеризуют разностью его диагоналей. При определении отклонений поверхности от плоскости используют специальные шаблоны. Шаблон прикладывают к проверяемой поверхности и линейкой измеряют зазоры между рабочей поверхностью шаблона и поверхностью конструкции (рис. 134, в).

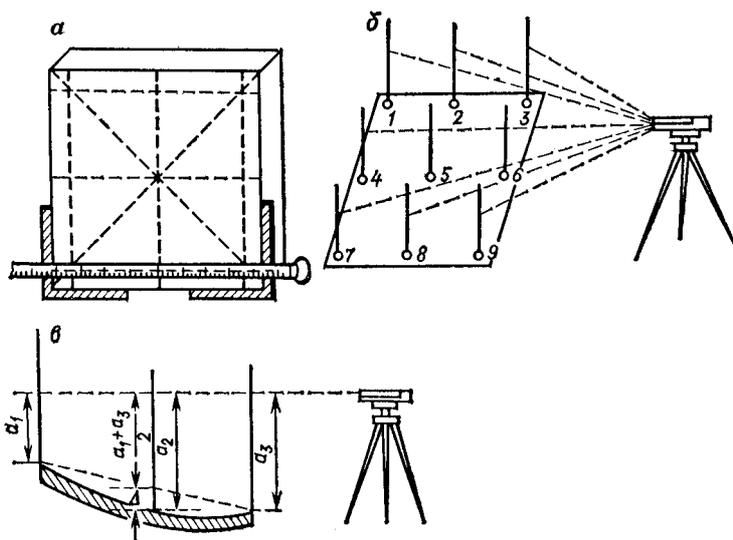


Рисунок 134 - Контроль геометрических параметров конструкций:
 а- схема измерений плоского элемента;
 б - схема расположения точек;
 в- определение отклонений.

Для проверки крупных конструкций используют геометрическое нивелирование. Конструкцию укладывают так, чтобы проверяемая поверхность располагалась приблизительно горизонтально. В девяти ее точках устанавливают рейку и производят отсчеты по нивелиру (рис.134,б). При определении отклонений от плоскости сравнивают отсчеты по восьми линиям: 1-3, 4-6, 7-9, 1-7, 2-8, 3-9, 1-9 и 3-7. Для каждой из них вычисляют отклонения Δ средней точки от прямой, соединяющей крайние точки. Это отклонение можно вычислить с помощью отсчетов по рейке а. Для линии 1-3 (рис.134, в) имеем:

$$\Delta_{1-3} = a_2 - \frac{a_1 + a_3}{2}$$

Все полученные отклонения сравнивают с допусками на изготовление конструкции и делают заключение о ее качестве и о ее пригодности к монтажу. Контролю подвергаются наиболее ответственные конструкции.

Одновременно с промерами на сборные конструкции наносят установочные риски, по которым при монтаже устанавливают сборный элемент в проектное положение. Обычно рисккой обозначают геометрическую ось конструкции, например, ось колонны. При этом измеряют ширину колонны в ее нижнем и

верхнем сечениях, а риску наносят на середине грани ярким цветным карандашом (рис. 135, а).

Разметку навесных стеновых панелей производят нанесением рисок 1 для установки ее по высоте и риску 2 для установки в направлении оси здания (рис. 135, б).

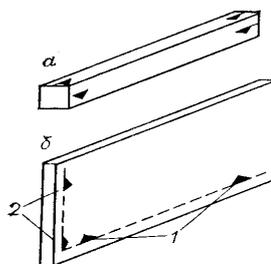


Рисунок 135 - Разметка конструкций рисками: а - колонны, б - панели.

Выверка конструкций

После предварительной установки и временного закрепления конструкции выполняется *выверка конструкций*, т.е. введение ее небольшими перемещениями в проектное положение. Точность установки сборного элемента в проектное положение зависит от вида конструкции, типа сооружения и регламентируется «Строительными нормами и правилами» (СНиП). Так, например, в СНиП III-16-80 «Бетонные и железобетонные конструкции сборные» допустимое смещение оси колонны в нижнем сечении относительно разбивочной оси ограничено величиной 5 мм, а отклонение оси колонны в верхнем сечении относительно разбивочной оси при высоте колонны до 8 м - величиной 20 мм.

1.4.3.5.2. Монтаж и выверка колонн, исполнительная съемка колонн

Для основных отраслей промышленности одноэтажные промышленные здания с ж/б каркасом проектируют на основе унифицированных типовых секций, пролетов, шагов колонн.

Перед монтажом колонн проверяют их размеры и наносят риски, облегчающие установку колонны в стакан фундамента или на оголовки подколонников. Колонну, установленную в стакан фундамента, центрируют до совпадения рисок с рисками на верхней плоскости фундамента.

Для проверки вертикальности колонны, два теодолита располагают под прямым углом к цифровой и буквенной осям зданий. При этом визирную ось теодолита совмещают с рисками, нанесенными на стакане в нижней части колонны, а затем, плавно поднимая трубу теодолита, - с риской у верхнего конца колонны. Расстояние теодолита от выверяемой колонны принимают таким, чтобы при максимальном подъеме трубы угол ее наклона не превышал $30-35^\circ$ (рис. 136, а).

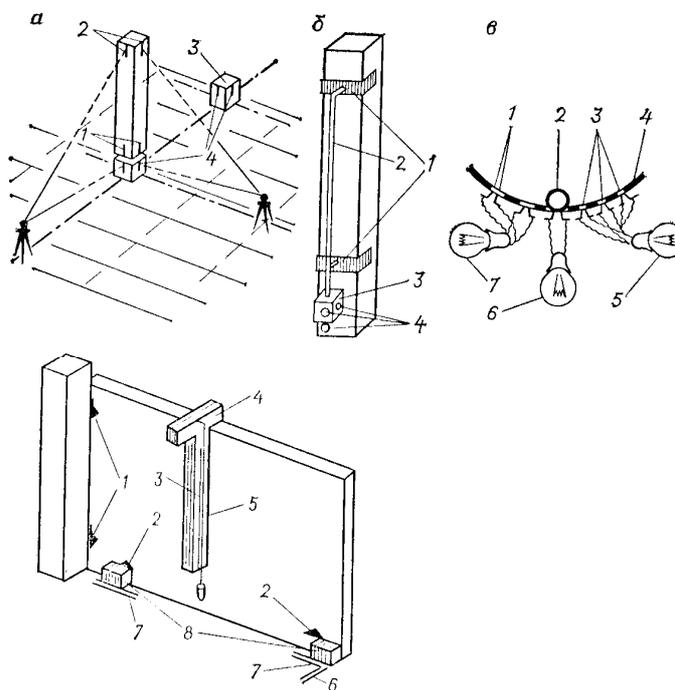


Рисунок 136 - Схемы выверки колонн и панелей:
а - выверка колонны двумя теодолитами;
б - выверка колонны специальным устройством;
в - схема работы устройства для выверки колонны;
д - схема выверки панели.

Более перспективный способ, основанный на использовании устройства с сигнальными лампочками (рис. 136, б, в). Это устройство с помощью специальных держателей 1 прикрепляют к выверяемой колонне. При этом штанга 2 располагается параллельно оси колонны. К штанге крепится устройство 3 с пятью сигнальными лампочками 4. Четыре лампочки красного цвета располагают по боковым граням устройства, зеленая лампа - внизу. Устройство имеет сферическую поверхность 4 с отверстиями 3. Металлический шарик 2, перемещаясь по сферической поверхности, замыкает контакты 1 в отверстиях 3 и включает сигнальные лампы.

Если штанга занимает вертикальное положение, то шарик располагается в центральном отверстии и включает сигнальную лампочку 6 зеленого цвета. Если колонна, а следовательно и штанга, наклонена, то шарик старается занять самое низкое положение и перемещается в другое отверстие. В этом случае загорается красная лампочка с той стороны, куда наклонен верх колонны. Если колонна наклонена в плоскости, перпендикулярной плоскости устройства, то загорается сразу две красные лампочки. Этот способ значительно сокращает затраты труда и не требует предварительной разметки колонны.

Плоскости на торцах колонн или консолях колонн нивелируют по маркированным отметкам, или по рейке, подвешенной к нивелируемой плоскости. Если есть отклонения, то головки колонн наращивают. Выверенные колонны закрепляют в стакане фундамента с помощью кондукторов или клиньев.

Для контроля вертикальности ряда колонн можно применять *способ бокового нивелирования*, сущность которого заключается в следующем. Разбивают вспомогательную линию, параллельную оси колонн и удаленную от нее на расстоянии 0.5 - 1 м. Над одной из точек, например, над точкой А (рис. 137), расположенной на вспомогательной линии, устанавливают теодолит и ориентируют его коллимационную плоскость по линии А-А', параллельной оси колонн. Затем, прикладывая пятку малой рейки к боковой грани колонны, берут по рейке отсчеты при двух положениях вертикального круга теодолита. По отклонениям средних отсчетов от заданного расстояния определяют качество

монтажных работ. Недостаток этого способа заключается в необходимости устройства подмостей для работы реечника.

Для более надежного и точного контроля монтажа колонн, а также для обеспечения необходимой точности последующих монтажных работ по установке подкрановых путей выносят общие для всего здания по оголовкам ряда колонн продольные и поперечные оси.

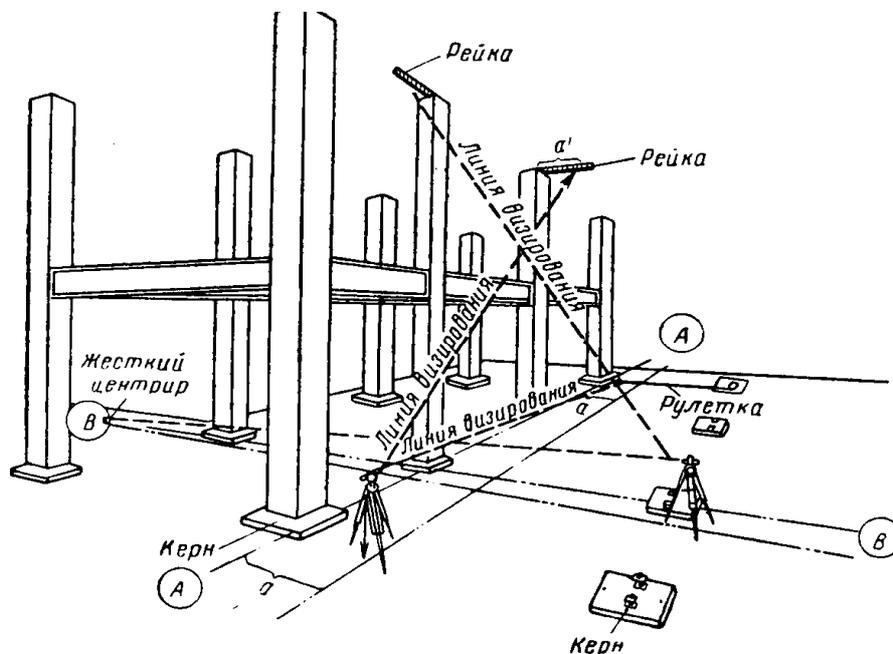


Рисунок 137 - Схема проверки вертикальности колонн способом бокового нивелирования

Если колонны будут установлены вертикально, то продольные и поперечные оси пройдут через центр их оголовков, а при наклоне колонн будут отмечены смещения геометрических центров от проектных точек пересечения осей. При помощи составленной исполнительной схемы устанавливают размеры этих смещений и при необходимости положения колонн рихтуют.

Исполнительная съемка колонн

При плановой исполнительной съемке колонн определяют отклонения оси колонны от продольной и поперечной осей здания. Отклонения колонны определяют методом бокового нивелирования (рис. 138).

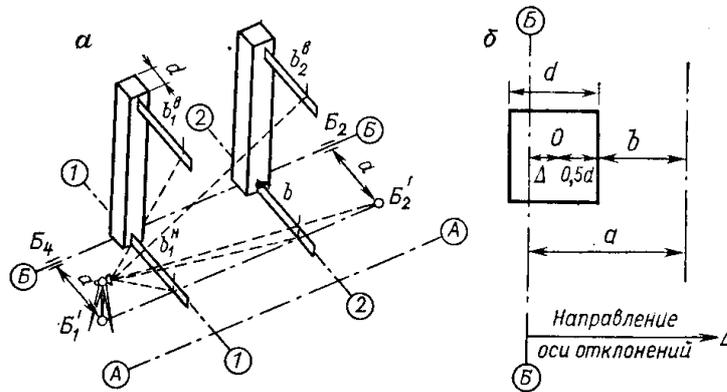


Рисунок 138 - Плановая исполнительная съемка колонн:

а - схема бокового нивелирования ; б- исполнительный чертёж.

На рис. 138,б видно, что отклонение Δ^H центра колонны O от разбивочной оси Б - Б в нижнем сечении по оси 1-1 равно:

$$\Delta^H = a - b_1^H - 0.5d,$$

где d -толщина колонны;

b_1^H - отсчет по рейке на оси 1-1 в нижнем сечении.

Отклонения в верхнем сечении Δ^B вычисляют аналогично, но по отсчету b_1^B .

Для контроля и повышения точности измерений толщину колонны измеряют по двум противоположным граням, а отсчеты по рейкам берут по черной и красной сторонам рейки. За окончательное значение принимают среднее. Аналогично производят съемку вдоль поперечных осей и определяют отклонения колонн от этих осей.

Для контроля правильности выполнения съемки измеряют расстояния между колоннами и сравнивают их с аналогичными расстояниями по результатам съемки.

Работу завершают составлением схемы исполнительной съемки, на которой показывают оси здания, колонны и их отклонения в верхнем и нижнем сечениях от продольных и поперечных осей.

При высотной исполнительной съемке определяют отклонения опорных поверхностей колонны от проектного значения. Отметки опорных поверхностей - верхней поверхности колонны или консоли - определяют геометрическим нивелированием.

На рис. 139 показана схема определения отметки верхней поверхности консоли. При этом заднюю рейку 3 устанавливают на строительный репер Rp 1, а переднюю рейку 2 подвешивают с помощью кронштейна 1 нулевым делением вверх на консоль колонны. При обработке вычисляют горизонт прибора:

$$ГП = H_{Rp1} + a$$

и отметку консоли

$$H_i = ГП + b,$$

где H_{Rp1} - отметка строительного репера.

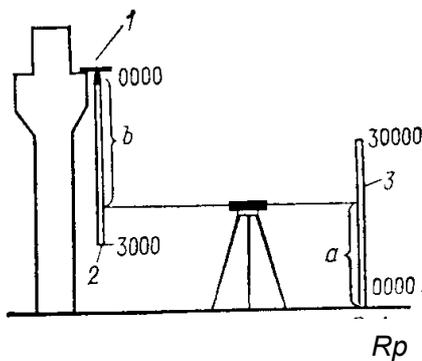


Рисунок 139 - Схема высотной исполнительной съемки колонн

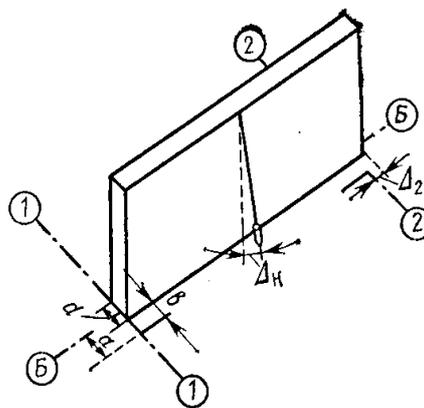


Рисунок 140 - Схема исполнительной съемки панели

При вычислениях отметок по отсчетам красных сторон реек необходимо учитывать разность нулей реек.

Обычно съемку на одном участке монтажного горизонта проводят при одной установке нивелира. Для контроля в начале и конце измерений берут отсчеты по рейкам, установленным на двух строительных реперах. Отклонения колонн по высоте вычисляют по формуле:

$$\Delta_i = H_i - H_n,$$

где H_n - проектная отметка опорной поверхности колонн.

Результаты высотной съемки выписывают на схему исполнительной съемки. Обычно схемы плановой и высотной съемок совмещают на одном чертеже.

1.4.3.5.3. Монтаж и выверка панелей, исполнительная съемка панелей

При детальной разбивке на перекрытия монтажного горизонта обычно наносят на определенном расстоянии от разбивочных осей установочные риски 7 (рис. 141). При монтаже к установочным рискам прикладывают упоры 8 соответствующей толщины и боковую грань панели монтируют по этим упорам.

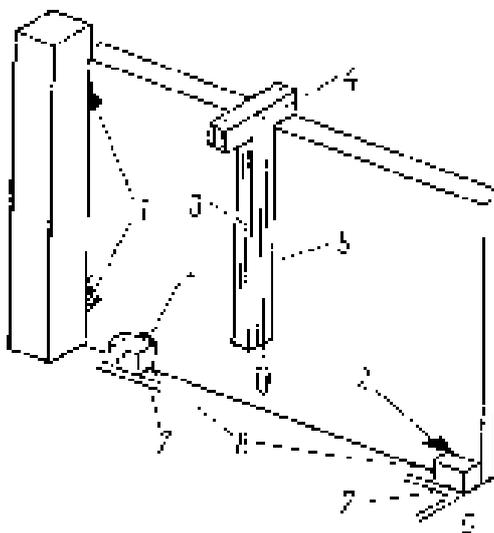


Рисунок 141 – Схема выверки панели

Продольные перемещения панели регулируют по торцевой грани упора, совмещенной с поперечной установочной рисккой 6. Если навесная панель соприкасается с колонной, то установочные риски 1 совмещают с гранью колонны.

При выверке высотное положение панели определяют по высотным маякам на перекрытиях, совмещая с ними высотные установочные риски 2 на панели. Выверку панели в верхнем сечении выполняют с помощью рейки-отвеса 4. Для этого верх панели перемещают перпендикулярно плоскости чертежа до совмещения нити 5 отвеса с чертой 3 рейки. Направление взгляда при этом должно быть параллельно боковой поверхности панели.

Исполнительная съемка панелей здания

При плановой исполнительной съемке определяют отклонение оси панели от продольной разбивочной оси Б-Б в нижнем сечении в двух точках по краям панели (рис. 142.).

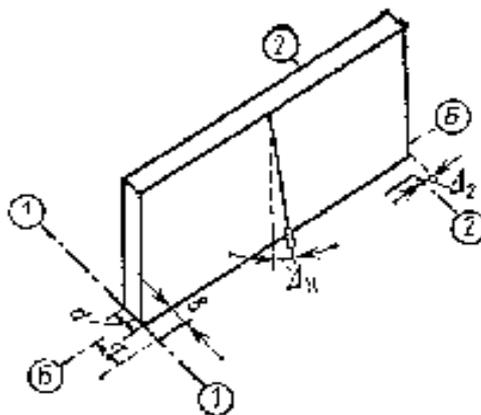


Рисунок 142 – Схема исполнительной съемки панели

Для этого металлической линейкой с миллиметровыми делениями измеряют толщину панели d и расстояние b от боковой поверхности панели до установочных рисков на перекрытиях, а отклонения вычисляют по формуле:

$$\Delta = a - b - 0.5d,$$

где a - известное расстояние от разбивочной оси до установочной риски.

Аналогичным образом определяют отклонения торцевых граней панели от поперечных осей. На рис. 4 показана схема определения отклонения Δ_2 торцевой грани от оси 2-2. Положение верха панели характеризуют наклоном $\Delta_{\text{н}}$ его

боковой поверхности. Для этого в середине панели подвешивают отвес и с помощью линейки измеряют величину наклона.

При высотной исполнительной съемке геометрическим нивелированием определяют отметки определенных точек панели, сравнивают их с проектными отметками и вычисляют отклонения. По результатам составляют схему исполнительной съемки панелей.

1.4.3.5.4. Сборные железобетонные многоэтажные здания

При строительстве сборных многоэтажных зданий принята следующая технологическая схема производства геодезических работ:

1. Проложение на строительной площадке сети полигонометрии, связанной с городской геодезической основой.
2. Вынесение в натуру от пунктов полигонометрии главных и габаритных осей здания.
3. Детальные разбивочные работы при возведении подземной части здания (нулевого цикла).
4. Построение на фундаментной плите - исходном горизонте - опорной геодезической сети, называемой базовой сетью.
5. Проектирование пунктов с базовой сети на монтажные горизонты, создание на ярусах опорных каркасных сетей.
6. Поярусное развитие разбивочных сетей, детальная разбивка для монтажа строительных конструкций.
7. Поярусная исполнительная геодезическая съемка установленных конструкций.
8. Наблюдение за осадками основания и фундаментов.

СНиП допустимые средние квадратические относительные ошибки при разбивочных работах для сборных железобетонных конструкций, монтируемых методом самофиксации в узлах, установлены величиной 1:15000 от расстояний

между монтируемыми элементами, а для зданий выше 16 этажей и сооружений высотой более 60 метров -1:10000.

Произвести разбивочные работы с такой высокой точностью непосредственно от пунктов городской геодезической сети полигонометрии не возможно. Поэтому в качестве геодезического обоснования для разбивочных работ обычно непосредственно на верхней железобетонной фундаментной плите строят специальные опорные сети.

Чтобы не нарушать планировочно-архитектурную композицию, предусмотренную проектом планировки и застройки, и выдержать предусмотренную проектом ориентировку здания, вынос его осей в натуру производят от проектов городской полигонометрии.

Обычно, вокруг проектируемого здания прокладывают замкнутый полигонометрический ход 2 разряда. Координаты пунктов этого хода вычисляют в той же системе, в которой заданы проектные координаты главных осей. От пунктов полигонометрии способом полярных координат выносят главные и габаритные оси здания, закрепляя их железобетонными знаками вне зоны строительных работ. Эти знаки используют для производства разбивочных работ нулевого цикла.

Создание плановых сетей

Для возведения наземной части здания на поверхности фундаментной плиты строят исходные опорные геодезические сети в виде ряда микротрилатерации, ориентированного параллельно главным осям здания. Длины сторон сети сравнительно короткие (20 - 50 метров) и зависят от размеров и конфигурации здания или сооружения и от длины мерного прибора (кратно длине мерного прибора).

Для измерения длин обычно применяют инварные проволоки или рулетки высокого класса точности. Рекомендуется для строительства высотных зданий стороны измерять со средней квадратической ошибкой 0.3 -0.5 мм (1:50000).

Типовыми фигурами трилатерационных сетей на фундаментной плите здания являются одинарные или сдвоенные геодезические четырехугольники и

центральные системы, а для круговых строений - кольцевые радиальные сети (рис.143). В таких сетях возникает только одно условное уравнение, и оно легко может быть уравнено.

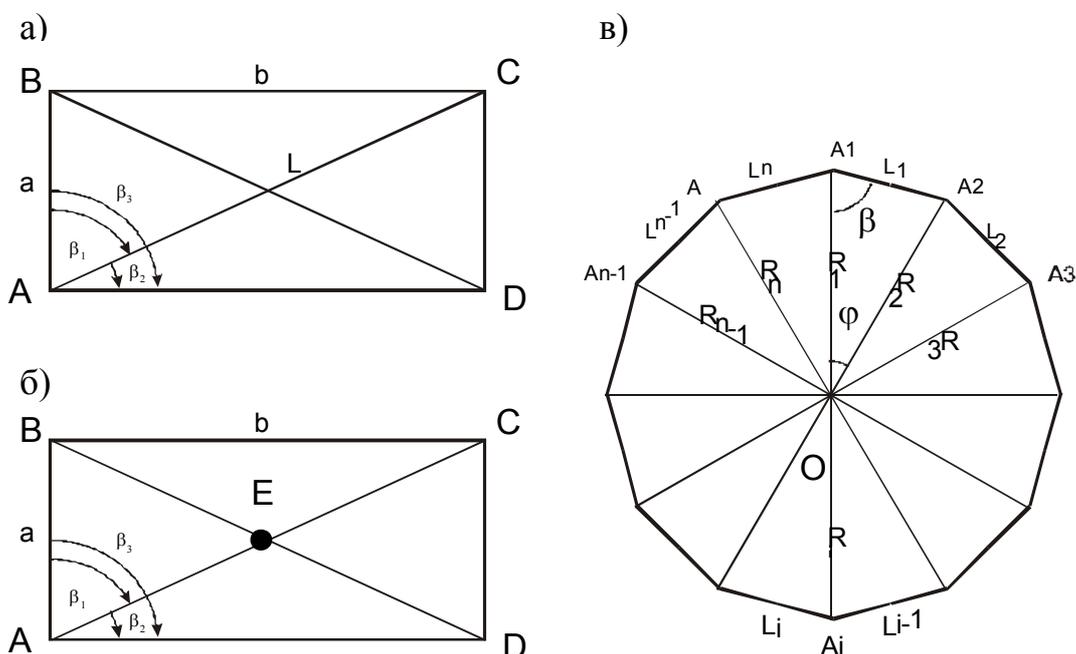


Рисунок 143 – Схемы трилатерационных сетей:

- а) геодезические четырехугольники;
- б) прямоугольная центральная система;
- в) кольцевая радиальная система.

Приближенная оценка точности плановых сетей
а) геодезический четырехугольник (рис. 143, а).

В качестве исходного пункта принята точка А. Направление АВ принято за ось абсцисс.

$$m_{\beta_1} = \frac{m_l \cdot \rho''}{a_1}; \quad m_{\beta_2} = \frac{m_l \cdot \rho''}{a_1 \cdot q}; \quad m_{\beta_3} = \frac{m_l \cdot \rho''}{a_1 \cdot q} \sqrt{1+q^2},$$

где m_l - средняя квадратическая ошибка измерения сторон и диагоналей;

$q = b/a$ - так называемый продвиг сети.

Почти всегда $q > 1$, поэтому можно сделать вывод, что чем острее угол в трилатерации, тем точнее он определяется по измеренным сторонам.

Для слабой стороны CD имеем:

♦ ошибку дирекционного угла: $m_{\alpha_{a_2}} = \frac{m_l}{a_2} \cdot \rho'' \cdot \sqrt{2}$;

♦ ошибки положения пунктов С и D:

$$m_C = \frac{1}{2} \cdot m_l \sqrt{4q^2 + 7},$$

$$m_D = \frac{1}{2} \cdot m_l \sqrt{\frac{4q^4 + 11q^2 + 8}{1 + q^2}} \approx \frac{1}{2} \cdot m_l \sqrt{4q^2 + 8}.$$

Для четырехугольника, близкого к квадрату, $q=1$ и, следовательно,

$$m_{\beta_1} = m_{\beta_2} = m_{\beta} = \frac{m_l \cdot \rho''}{a};$$

$$m_{\beta_3} = \frac{m_l}{a} \cdot \rho'' \sqrt{2};$$

$$m_C = \frac{1}{2} \cdot m_l \sqrt{11};$$

$$m_D = \frac{1}{2} \cdot m_l \sqrt{11.5}.$$

При $m_l = 0.5 \text{ мм}$, $a = 40 \text{ м}$ в квадратной сети имеем:

$$m_{\beta_1} = m_{\beta_2} \approx 2.6'' ;$$

$$m_{\beta_3} \approx 3.6'' ;$$

$$m_C \approx 0.83 \text{ мм}, m_D \approx 0.85 \text{ мм}$$

б) прямоугольная центральная система (рис. 143,б).

♦ Ошибки вычисления углов:

$$m_{\beta_1} = \frac{m_l \cdot \rho''}{a_1} \sqrt{2 + \frac{1.5 - q^2}{q^2 \cdot (1 + q^2)}};$$

$$m_{\beta_2} = \frac{m_l \cdot \rho''}{a_2} \sqrt{\frac{2}{q^2} + \frac{1.5q^2 - 1}{1 + q^2}};$$

$$m_{\beta_3} = \frac{m_l \cdot \rho''}{a_1} \sqrt{\frac{3}{2}(1 + q^2)}.$$

♦ Для слабой стороны CD ошибку дирекционного угла:

$$m_{\alpha_a} = \frac{m_l}{a} \cdot \rho'' \cdot \sqrt{2}.$$

♦ ошибки положения пунктов С и D:

$$m_C = \frac{1}{2} \cdot m_l \sqrt{\frac{18q^2 + 28}{3}},$$

$$m_D = \frac{1}{2} \cdot m_l \sqrt{\frac{18q^4 + 46q^2 + 30}{3(1+q^2)}} \approx \frac{1}{2} \cdot m_l \sqrt{\frac{18q^2 + 28}{3}}.$$

При $m_l = 0.5 \text{ мм}, a = 40 \text{ м}$ в квадратной сети имеем:

$$m_{\beta_1} = m_{\beta_2} \approx 3.6'';$$

$$m_{\beta_3} \approx 4.5'';$$

$$m_C \approx 0.97 \text{ мм}, m_D \approx 0.99 \text{ мм}$$

Из анализа видно, что в прямоугольной центральной системе несколько понижается точность определения углов и координат пунктов по сравнению с геодезическим четырехугольником такого же размера. Поэтому на практике предпочитают применять прямоугольные сети без фиксированного пересечения диагоналей.

в) кольцевая радиальная сеть (рис. 143,в).

Опорная сеть развивается в виде кольцевой радиальной системы, в которой измеряют все стороны l и радиусы R . За начало координат принят центральный пункт O , за ось абсцисс - направление радиуса OA .

Для правильного шестиугольника имеем ($\varphi = \beta = 60^\circ$):

$$m_\varphi'' = \frac{\rho''}{3R} m_l \sqrt{14};$$

$$m_\beta'' = \frac{\rho''}{3R} m_l \sqrt{17};$$

если $m_l = 0.5 \text{ мм}, l = R = 40 \text{ м}$, то $m_\varphi'' = 3.2''$, $m_\beta'' = 3.5''$.

Ошибку определения текущей величины A_i относительно начала координат находят из выражения:

$$m_{A_i} = \frac{m_l}{3} \sqrt{32i - 4i^2 - 24}.$$

Для наиболее слабой вершины (если $n=6$, $i=3$) имеем:

$$m_{A_3} = 2m_1,$$

что при $m_1 = 0.5\text{мм}$
 $m_{A_3} = 1\text{мм}.$

Создание каркасных опорных и разбивочных сетей

По мере возведения здания на монтажные горизонты проектируют каркасную опорную сеть.

Между центрами пунктов каркасного обоснования, вынесенного на ярус разбивочных работ, измеряют расстояние, которое сравнивают с длинами сторон базовых сетей, построенных на исходном горизонте. В случае обнаружения недопустимых отклонений повторяют вертикальное проектирование пунктов базовой геодезической сети.

При поярусном проектировании пунктов сети уменьшается влияние случайной ошибки ориентирования вертикали и остается без изменения ее систематическая часть, при этом значительно увеличивается влияние ошибок центрирования и фиксирования. Поэтому выбор оптимального метода построения каркасных сетей решается в зависимости от реального соотношения ошибок проектирования.

Для детальной разбивки строительных конструкций яруса каркасная опорная сеть сгущается пунктами разбивочной сети, которая разбивается створно-линейным способом, а также створными и линейными засечками со средней точностью взаимного ориентирования пунктов 1-2 мм.

Таким образом, при возведении многоэтажных зданий геодезическая сеть строится трех видов (рис. 144):

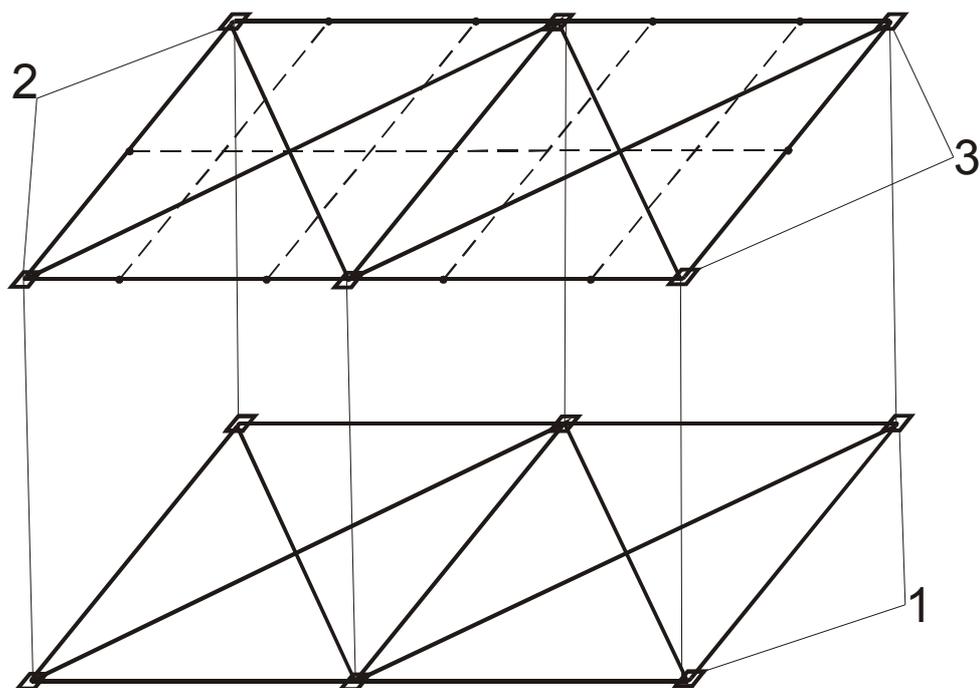


Рисунок 144 - Геодезические сети многоэтажных зданий

1 - базовая опорная геодезическая сеть на исходном горизонте;

2 - каркасная опорная сеть на монтажном горизонте;

3 - поярусная разбивочная сеть.

1.4.3.5.5. Крупнопанельные и крупноблочные здания

По конструкции жилые многоэтажные дома делятся на крупнопанельные, каркасно-панельные, крупноблочные и кирпичные.

Элементы стен и перекрытий соединяют между собой при помощи оцинкованных накладок и болтов или приваркой металлических связей к их накладным деталям, которые строго фиксируют при прокате. При монтаже конструкций дома используют принудительный метод, при котором фиксаторы обеспечивают установку панелей в проектное положение. После устройства фундаментов для монтажа стен технического подполья разбивают места угловых и маячных блоков и так же, как при устройстве фундамента, контролируют их установку в плане и по высоте.

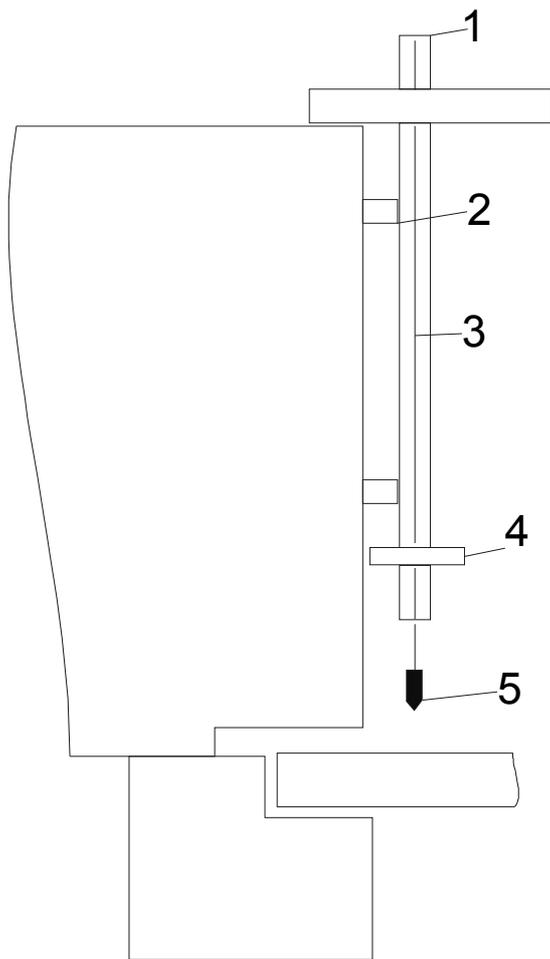


Рисунок 145 – Отвес-линейка:
 1 – кронштейн; 2 – упорная планка;
 3 – линейка; 4 – шкала; 5 – отвес.

Перед устройством настила перекрытия подземной части здания определяют положение по отношению к разбивочной оси каждой стеновой панели в двух точках по низу (допустимая величина смещения 4 мм).

Для этого геометрическую ось панели удобно привязывать к параллельно смещенным осям здания. Вертикальность панелей проверяют или методом боковой нивелировки или отвесом-линейкой (рис. 145). Допустимая величина отклонения панели от вертикали составляет 5 мм.

Правильность отметок верха установленных перегородочных панелей и опорных площадок панелей стен проверяют техническим

нивелированием. Результаты нивелирования отражают на исполнительной схеме, на которой выделяют места с отклонениями от проекта свыше 5 мм.

После укладки плит каждую из них нивелируют в четырех угловых точках (допускаемая разность 20 мм) и составляют исполнительную схему перекрытия. На перекрытии проверяют отметки монтажного горизонта (низа несущих панелей), зафиксированного специальными маяками (разность отметок допускается в пределах 10 мм).

Для монтажных и геодезических работ по наземной части здания сразу же после установки на цокольные панели с грунтовых осевых знаков выносят разбивочные и параллельно смещенные оси. При отсутствии прямой видимости между знаками, закрепляющими ось вне здания, применяют метод установки теодолита в створе осевой линии. Оси выносят со средней погрешностью 2 мм,

поэтому рекомендуется применять оптические теодолиты. Дальнейший перенос продольных и поперечных разбивочных осей (или параллельно смещенных осей) на перекрытие каждого этажа выполняют теодолитом Т2 наклонным визированием с грунтовых осевых знаков. От осевых линий, закрепляемых на плитах перекрытия, разбивают параллельно смещенные оси, от которых производят монтажные и геодезические работы по выверке конструкций и плановой исполнительной съемке этажа. На каждом перекрытии в местах пересечений контурных продольных и поперечных параллельно смещенных осей, а также в пересечениях с поперечной осью симметрии здания для контроля измеряют полученные прямые углы. Линии измеряют стальной компарированной рулеткой с натяжением динамометром. Расстояние между разбивочными осями измеряют с относительной погрешностью 1:7000.

Корпус типового 9-этажного дома делится на две монтажные зоны. Монтаж каждого этажа может быть начат только после того, как на нижележащем этаже полностью смонтированы стены и перекрытие и сделана на перекрытии геодезическая разбивка основных и промежуточных разбивочных осей, произведена геодезическая выверка монтажного горизонта.

Монтажный горизонт фиксируют двумя маяками, устанавливаемыми с помощью нивелира для каждой панели. На верх маяков переносят имеющуюся наибольшую фактическую отметку настила перекрытия.

Для того чтобы своевременно производить геодезические работы, геодезист должен быть знаком с технологической последовательностью монтажа зданий.

После временного крепления наружных панелей при помощи подкосной струбцины устанавливают по рискам, параллельным разбивочным осям, в проектное положение внутренние поперечные и продольные панели, начиная с базовых в центре захватки, а затем монтируют перегородки, лестницы и перекрытия. Такая технология заставляет сразу же, не ожидая монтажа наружных стен, которые закроют видимость с наружных осевых знаков, переносить оси на перекрытие после его устройства. По результатам геодезической съемки исправляют положение сборных элементов этажа, приводя их в проектное положение в плане и по высоте, и закрепляют панели между собой.

Планово-высотную выверку несущих панелей стен и перегородок на перекрытии каждого этажа производят следующим образом: от осей, вынесенных на перекрытие, разбивают параллельные линии, закрепляют их рисками у начала и конца панелей на небольшом расстоянии. От этих рисков производят монтаж панелей, затем геодезическую съемку их положения в плане и в вертикальной плоскости. Съемку производят по четырем точкам (двум внизу и двум вверху), находящимся у грани каждой панели.

Положение низа панели проверяют непосредственным промером от рисков, вертикальность панели - боковым нивелированием или рейкой-отвесом. На исполнительной съемке этажа показывают направление и величину отклонения двух крайних точек каждой панели от разбивочной оси (допустимая величина 4 мм) и от вертикали (5 мм), причем выделяют панели, оси которых установлены с нарушением этого допуска.

Все панели настила перекрытия этажа нивелируют и на исполнительной схеме показывают отклонения от отметки монтажного горизонта каждого из четырех углов панели. Выравнивание при настиле полов позволяет допускать разность в отметках верхней поверхности двух смежных элементов до 8 мм.

Серьезного внимания требует и монтаж лоджий. После предварительной установки стенки лоджий сразу же должна быть произведена выверка ее положения по оси и по вертикали, так как конструкция лоджий требует срочной приварки этих стенок к примыкающей наружной панели. При этом отклонение оси панели стены лоджий в плане относительно поперечных разбивочных осей допускают 4 мм, а по вертикали 5 мм в пределах этажа. Планово-высотная исполнительная съемка - основа для приемки этажа.

Отделочные работы для наружных стен 9- 12-этажных бескаркасных сборных домов, как правило, после монтажа не ведутся, так как наружные панели облицовывают в заводских условиях. Отделочные работы такого рода геодезической проверки не требуют.

Разбивки при сооружении крупноблочных зданий

Наружные стены крупноблочных односекционных 9 и 12-этажных домов монтируют из блоков, внутренние - из блоков с пустотами для вентиляционных каналов, междуэтажные перекрытия - из многопустотных настилов, стены шахт лифтов - из бетонных блоков.

На каждом этаже геодезисты проверяют правильность установки в плане и по высоте маячных блоков по углам здания. Затем проверяют правильность установки по ним простеночных блоков продольных и торцовых стен. Необходимость геодезической проверки простеночных блоков вызывается тем, что между ними монтируют подоконные блоки, расстояние между осями которых должно быть выдержано в пределах 20 мм. Установку наружных поясных (перемычечных) блоков проверяют выборочно.

После монтажа блоков внутренних стен производят поэтажную проверку правильности положения стен от разбивочных осей (допустимые отклонения 10 мм) и выборочно их вертикальность (невертикальность в пределах этажа допустима не более 10 мм, а на весь дом - 30 мм). В процессе укладки перекрытий проверяют их планово-высотное положение. При этом важно учесть смещения торцовых плоскостей от осей поперечных несущих стен и показать эти смещения на исполнительной схеме.

После геодезической проверки смонтированного перекрытия бетонируют связи между внутренними и наружными стенами и сваривают настилы перекрытия между собой и с наружными стенами металлическими связями. Поверхность наружных стен геодезической проверки не требует. Геодезические работы при сооружении многосекционных крупноблочных зданий аналогичны.

Поэтажная геодезическая основа сборных высотных зданий

После бетонирования на перекрытие подземной части здания (выше 16 этажей) от знаков внешней основы переносят контурные параллельно смещенные или главные оси здания. Пункты, находящиеся в вершинах контурного прямоугольника или (при значительных размерах здания) двух смежных

прямоугольников (6 пунктов), являются опорными для вертикальных линий визирования, от которых производят развитие плановой основы на каждом этаже.

Скоростные методы монтажа здания требуют быстрого построения плановой основы с точностью полигонометрии 4 класса (1: 25 000). Наиболее эффективен здесь способ точного построения фигур. Центры смещенных на проект знаков осевой основы, над которыми устанавливают прибор вертикального визирования, переносят вверх на перекрытие каждого этажа, после чего производят необходимое развитие плановой основы на этаже .

Координаты и расстояния между контурными точками прямоугольника на перекрытии каждого этажа будут равны проектным и расстояниям между точками плановой основы на перекрытии технического подполья подземной части здания - в пределах точности переноса их по вертикали.

В тех случаях, когда вверх подняты только две зенитные точки, находящиеся на одной линии (предпочтительно на продольной), поочередно на каждой из них устанавливают на первой теодолит, на второй - визирную цель. На задаваемых теодолитом направлениях, перпендикулярных к створу между зенитными точками, устанавливают марки и фиксируют на них точки. Этот способ развития плановой основы на перекрытии часто применяют при наличии в конфигурации здания крыльев.

Учитывая погрешность исходных данных на перекрытии подземной части здания, имеющих точность полигонометрии 4 класса (1: 25000), а также то, что исходные зенитные точки на перекрытии этажа вынесены по вертикали со средней точностью порядка 1 мм, общая погрешность построенных контурных точек от зенитных линий составит около 2,5 мм, что вполне достаточно для обеспечения геодезическими данными всех видов работ, производимых на этаже.

Конструктивно крупнопанельные здания (выше 9-этажных) отличаются более часто поставленными поперечными несущими стенами. Следовательно, на каждом этаже должно быть разбито и закреплено большее число разбивочных параллельно смещенных осей.

Установку панелей от знаков основы на этаже высотного крупнопанельного здания, проверку положения низа панелей в плане и перекрытий производят так же, как и при сооружении зданий повышенной этажности.

1.4.3.5.6. Каркасно-панельные здания

Строящиеся в настоящее время 16-этажные здания имеют прямоугольную форму при высоте дома около 50 м. Сборный железобетонный каркас состоит из колонн, ригелей вертикальных диафрагм жесткости и панелей перекрытий - горизонтальных диафрагм жесткости. Основным элементом каркаса - колонны постоянного сечения на всю высоту дома. Каждый ярус - колонна на два этажа.

После предварительной геодезической выверки положения колонн, перекрытий, вводов и выпусков инженерных коммуникаций монтажники окончательно закрепляют все элементы каркаса подземной части здания. Установку колонн в стаканах ростверка проверяют в двух направлениях.

По горизонтальной рейке, прикладываемой к нижней осевой риске колонн, определяют смещение колонны по отношению к разбивочным осям. Сравнением верхних отсчетов с нижними определяют отклонение колонны от вертикали (допустимое отклонение 5 мм). Перед укладкой ригелей нивелируют консольные выступы у колонн. Проектный горизонт в пределах технического подполья или стилобата должен выдерживаться в пределах 5 мм.

После укладки ригелей и плит жесткости составляют исполнительную планово-высотную схему установленного каркаса. Исполнительную съемку положения каркаса производят также после бетонирования колонн в стаканах, сварки их с ригелями, бетонирования стыков плит и т. д. Исполнительная схема является основным документом при приемке каркаса технического подполья или стилобата и каждого яруса каркаса. На этой схеме показывают величину отклонения от проекта геометрической оси каждой колонны и отметки их верха, положение оси ригеля, отметки его концов и т. д.

В цокольную часть технического подполья вводят коммуникации различного назначения. Для того чтобы отверстия соответствовали местам, указанным в

проекте, на цокольную часть здания после ее возведения выносят с помощью теодолита от знаков внешней основы продольные и поперечные оси и маркируют их. При монтаже сборных каркасно-панельных зданий на всех ярусах тщательно разбивают одноименные оси, определяющие положение колонн, ригелей и панелей, ограждающих лифтовые шахты. Неправильная установка последних может привести к несоответствию габаритов шахты и лифта на том или ином этаже. На перекрытие каждого яруса (ярус - 2 этажа) выносят продольные и поперечные оси, а в противоположных концах здания, в среднем коридоре устанавливают реперы и техническим нивелированием переносят на них отметки. Для своевременного выполнения геодезических работ необходимо знать особенность монтажа такого здания: при монтаже четного этажа одновременно навешивают панели наружных стен нижележащего (нечетного) этажа, затем смонтированного (четного) этажа.

При переносе осей на этажи допускают их смещение в вертикальной плоскости от осей, закрепленных знаками внешней основы, от 5 мм на первых пяти ярусах до 8 мм на последующих. Перенос осей следует выполнять методом вертикального визирования с точек, закрепленных на перекрытии технического подполья или стилобата. Эти точки разбивают после перенесения со знаков внешней основы средней продольной оси (или средней и крайних продольных осей) и пересечения продольной оси с основными поперечными осями. Для зданий, ширина которых не превышает 40 м, достаточно на одной из продольных параллельно смещенных осей, проходящих возле центра здания, разместить 3 - 4 точки так, чтобы обеспечить видимость по вертикали на всю высоту здания. Построение такой плановой основы рекомендуется производить способом строгого построения фигур. Точки плановой основы переносят вертикальным визированием на нечетные этажи. На промежуточные (зачетные) этажи внутри здания можно применять способ наклонного визирования.

Промежуточные оси на этаже разбивают промерами от оси, зафиксированной этим способом. От разбитых и закрепленных на этажах линий основы методом бокового нивелирования выносят на колонны разбивочные оси и маркируют их рисками. Такие осевые риски на колоннах служат исходными для

геодезических разбивок и исполнительных съемок на этаже. Над зенитной точкой основы, отмеченной на палетке, на соответствующем перекрытии центрируют теодолит. Прибор ориентируют на зенитную точку, находящуюся в конце параллельно смещенной оси, и визируют на реечку, прикладываемую к подколоннику (к верху колонны нижележащего яруса), устанавливая ее на отсчет, соответствующий принятому смещению оси. По пятке реечки или нулю рулетки на колоннах отмечают положение разбивочной оси. Если зенитными точками на перекрытии закреплена только средняя продольная ось здания, то визирование по поперечным средней и контурным осям и закрепление разбивочных осей на колоннах производят, не меняя установки теодолита, повернув трубу на 90° , с контролем при втором положении круга.

Перенос разбивочных осей на промежуточные колонны выполняют путем промеров компарированной рулеткой от контурных колонн или колонн, находящихся на средней осевой линии.

Технологическая увязка монтажных геодезических работ на этажах

Монтаж и временное закрепление колонн и ригелей при их установке выполняют групповыми кондукторами на четыре колонны. Кондуктором, устанавливаемым на нечетном этаже, колонны ставят на сферические опоры и закрепляют манжетами и захватами на уже установленные и закрепленные в кондукторе нижние колонны. После монтажа панелей перегородок (их временное закрепление и выверку производят при помощи треугольных стоек) укладывают наружные ригели и центрируют их по осевым рискам. Затем эти ригели приваривают к колоннам, поэтому необходимо до сварки произвести выверку положения колонн в осях и проверку их вертикальности. Обе эти задачи успешно решают методом бокового нивелирования при помощи теодолита, установленного на линиях, параллельных вынесенным на перекрытие продольным и поперечным осям. Этим же методом выверяют плановое смещение и вертикальность перегородочных панелей. Исправив по данным исполнительной съемки положение перегородочных панелей, перекрывают их ригелями и укладывают перекрытие следующего этажа. После планово-высотной выверки и необходимых исправлений панели перекрытия сваривают с колоннами и ригелями, групповой кондуктор перемещают вдоль здания на соседний участок, где последовательность монтажных и геодезических работ сохраняется. На участке этажа со смонтированными колоннами и панелями перекрытия (после геодезической исполнительной съемки) монтируют вертикальные диафрагмы жесткости, перегородочные панели, сантехкабины, вентиляционные блоки, шахты лифтов и прочие сборные элементы.

Геодезическая выверка на каждом этаже планового положения шахт лифтов обязательна. Такова последовательность работ на нечетных этажах каркасно-панельного многоэтажного здания. Порядок геодезических работ на четном этаже такой же, как и на нечетном, но на четных этажах колонны не устанавливают.

По окончании монтажа верхнего этажа от осей, вынесенных на верхнее перекрытие (или от параллельно смещенных линий), проверяют установки парапетных панелей наружных стен и вентиляционных блоков.

1.4.4. Геодезические работы при монтаже оборудования

1.4.4.1. Классификация операций выверки геометрии элементов оборудования

Наиболее распространенными показателями, характеризующими качество геометрических параметров оборудования и их положения в пространстве, являются:

- вертикальность;
- наклонность;
- горизонтальность;
- параллельность;
- перпендикулярность;
- ангулярность;
- криволинейность;
- прямолинейность;
- соосность

Вертикальность, наклонность и горизонтальность - определяются относительно линии горизонта или отвесной линии.

Ангулярность определяет взаимное положение линий и плоскостей (для двух или нескольких линий). Плоскость считается заданной, если даны 3 ее точки, не лежащие на одной прямой и имеющих координаты X , Y , Z .

Криволинейность характеризуется радиусом кривизны.

Прямолинейность характеризуется размещением рассматриваемых точек элементов оборудования на одной линии (оси) в одной какой-либо плоскости (горизонтальной, наклонной, вертикальной).

Соосность является особым видом прямолинейности одновременно в двух плоскостях (горизонтальной и вертикальной, наклонной и вертикальной, двух вертикальных).

Горизонтальность, наклонность и вертикальность определяют положение линии оборудования относительно линии горизонта или отвесной линии. Горизонтальность характеризуется одинаковыми высотными отметками, а вертикальность - одинаковыми абсциссами и ординатами двух каких-либо точек, принадлежащих этим линиям или осям. Наклонность характеризуется величиной уклона, значение которого на различных участках прямой линии должно быть одинаковым.

Параллельность и перпендикулярность линии определяют взаимное положение двух прямых, лежащих в одной плоскости (горизонтальной, наклонной или вертикальной). Параллельные линии при их продолжении не пересекаются, а перпендикулярные линии пересекаются под прямым углом.

Плоскостность характеризует уровень принадлежности семейства каких-либо точек поверхности детали оборудования одной плоскости (горизонтальной, наклонной или вертикальной). Плоскость считается заданной, если даны трехмерные координаты трех ее точек, не находящихся на одной прямой.

Горизонтальность, наклонность и вертикальность плоскости характеризует положение семейства прямых (осей), принадлежащих этой плоскости: в горизонтальной плоскости отметки точек прямых одинаковы, в наклонной - параллельные линии имеют одинаковые уклоны, а в вертикальной - одинаковую направленность (одинаковый дирекционный угол).

Параллельность и перпендикулярность плоскостей характеризуется разностью дирекционных углов линии их пересечения с какой-либо плоскостью (горизонтальной, наклонной или отвесной), причем в первом случае эта разность равна 0^0 , а во втором -90^0 . Для характеристики отклонения линии или плоскости

конструкции от заданных геометрических условий применяется соответствующее выражение характеристики с приставкой “не” , например, непрямолинейность, негоризонтальность, несоосность и т.д. Величина отклонения определяется в линейной или угловой мере.

Криволинейность характеризуется радиусом кривизны сечения элемента оборудования какой-либо плоскостью (горизонтальной, наклонной , вертикальной). Отклонение в геометрии криволинейного элемента оборудования обычно выражают либо изменением радиуса кривизны, либо линейным отклонением от кривой с нормальным радиусом. В практике монтажа оборудования чаще всего используют криволинейные элементы, располагаемые в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Однако при создании сложных поверхностей используют и другие сечения , плоскость которых может иметь различную ориентацию в пространстве. Особой пространственной характеристикой кривизны может быть криволинейная соосность, определяемая радиусом кривизны линии в одной плоскости и плоскостностью точек этой линии в другой плоскости (плоскости радиуса).

Для характеристики качества реализации поверхности целесообразно использовать понятие “поверхность”, определяющее степень приближения реальной поверхности к теоретической, заданной математически. Линейное отклонение точки реальной поверхности от теоретической, направленное вдоль линии пересечения двух нормальных сечений в этой точке, называется неповерхностностью. Чаще всего кривизна поверхности характеризуется радиусами двух нормальных сечений. Допускаемые отклонения при реализации различных форм элементов сооружений и оборудования даются в ГОСТах , СНиПах, технических условиях и рабочих чертежах.

Наибольшее число характеристик геометрических параметров приходится на линии и плоскости элементов оборудования. Обобщенными характеристиками положения линии является соосность ее точек, наклонность (уклон) , а для положения плоскости - плоскостность и наклонность (уклоны). Взаимное положение линий и плоскостей характеризуется ангулярностью - углом между

ними, в частности 0^0 - при их параллельности и 90^0 - при их перпендикулярности. Криволинейность характерна как для плоских, так и для пространственных конструктивных элементов.

1.4.4.2. Выверка прямолинейности

Для контроля прямолинейности применяют в зависимости от условий производства различные методы построения створа. В практике выверки прямолинейности наибольшее распространение получили способы: струнный, струнно-оптический, оптический, коллиматорный, автоколлиматорный, авторефлексионные и интерференционный, включая лазерные. Рабочий створ может быть соосным с выверяемой конструкцией или смещенным относительно нее. В обоих случаях измеряются отклонения $-a$ от створа, которым присваивается определенный знак: "плюс" — при смещении точки конструкции вправо от направления створа и "минус" — при смещении точки влево.

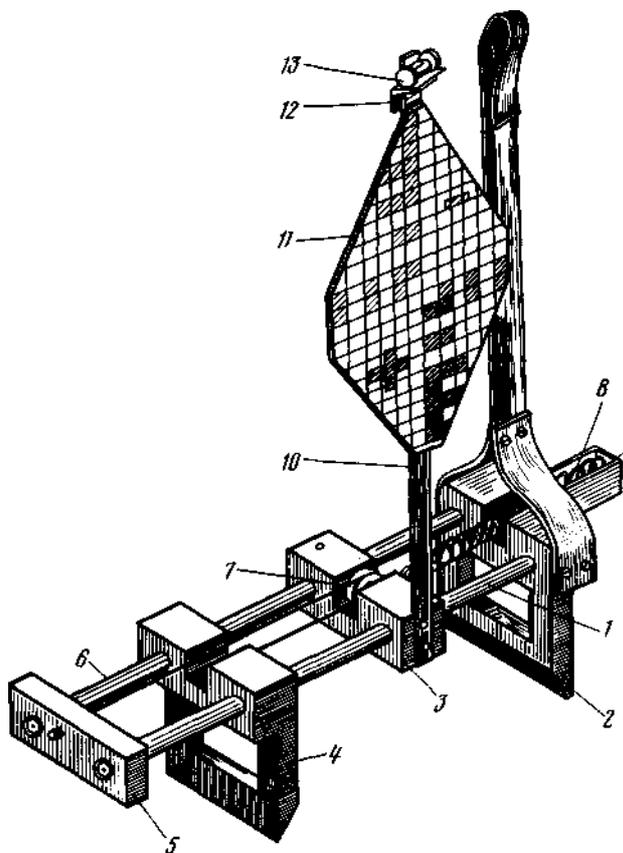


Рис. 24. Однокоординатная симметрирующая визирная марка

При выверке прямолинейности направляющих оборудования (монорельсов, подкрановых путей машин и кранов) используют специальные осевые марки, устанавливаемые на оси головки рельса. Одна из таких марок — однокоординатный симметрирующий прибор — разработана в КИСИ (рис. 24). Марка состоит из направляющих 1, 6, скрепленных с одной стороны планкой 5, а с другой * - неподвижным упором 2. По направляющим перемещаются подвижный упор 4 и каретка 3. На каретке установлен блок 7 с переброшенной через него струной, прикрепленной одним концом к планке 5, а вторым — к подвижному упору. Каретка притягивается пружиной 8 к неподвижному упору 2. Второй конец пружины крепится к кожуху 9. На оси каретки укреплена стойка 10 с кронштейном 12 и уровнем 13, по которой перемещается измерительная марка — мишень 11.

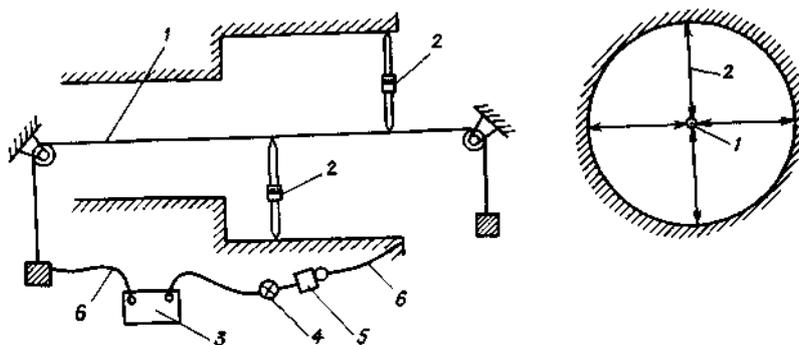


Рис.25. Схема выверки соосности струнным методом.

В процессе выверки прямолинейности марка, устанавливаемая на головке рельса, упорами охватывает головку рельса, а каретка автоматически устанавливается на его оси. Расстояние от головки рельса до центра марки фиксировано, поэтому при установке нивелира или лазерного визира по их горизонтальной линии визирования или лучу можно определять и высотное положение рельсов. По экспериментальным данным погрешность фиксации положения оси рельса и его высоты составляет 0,1—0,3 мм.

Для измерения расстояний между осями рельсов при помощи рулетки, например при выверке параллельности рельсов, внизу стойки 10 на оси марки прикрепляется шкала с отсчетным индексом.

Определение прямолинейности может производиться как в процессе монтажа, так и в процессе эксплуатации оборудования. В первом случае контроль осуществляется непосредственно во время монтажа и, следовательно,

обеспечивается заданная точность юстировки или во время наладки после предварительного монтажа без надлежащего геодезического контроля. В последнем случае и в процессе эксплуатации оборудования прибегают к контрольной (исполнительной) или инвентаризационной съемке оборудования, по результатам которой определяют характеристики (смещения) для выравнивания конструкции и приведения ее в проектное положение. Для определения выровненного' положения направляющих обработку измерений производят методом наименьших квадратов или математического программирования.

1.4.4.3. Выверка соосности

Процесс выверки соосности довольно распространен при изготовлении, сборке и монтаже многих промышленных установок (компрессоров, насосов, реакторов, турбин, технологических трубопроводов и др.).

Выверку обычно производят струнным и оптическим способами. Первый способ используется в основном на расстоянии 5—10 м, а оптический на расстояниях до 50 м и более.

Схема применения струнного способа показана на рис. 25. В выверяемое отверстие вставляют струну /, перебрасывают ее через два блока и натягивают грузами. Регулируя положение блоков в плане и по высоте, добиваются соосного размещения струны относительно базового отверстия. Для обеспечения эквидистантности струны от конструкции базового отверстия применяют нутромер 2, представляющий собой сборную металлическую штангу с коническими, сферическими или уголковыми упорами (наконечниками). Расстояние между упорами изменяется при помощи винтового микрометра. Точность отсчета по микрометру 0,01 мм. Для повышения точности измерения расстояния контакт между упором и струной фиксируют не визуально, а электрически (по звуковому сигналу звонка или генератора). Схема подключения генератора включает: батарею 3, сигнальную лампочку 4, звуковой генератор 5 и провода 6. Иногда звуковой генератор дополняют наушниками. В практике погрешность струнного метода равна 0,03-0,05 мм. Для изменения расстояния между упорами одна штанга

делается телескопической (снабжается стандартными приставками). Обычно нутромером контролируют расстояние от 0,5 до 1,5 м.

При оптическом методе выверки соосности используют зрительную трубу теодолита, прибора проверки соосности (ППС-11, автоколлиматора) и центрированную визирную марку (центроискатель), размещаемую сначала в базовых, а затем в контролируемых отверстиях (расточках). Наиболее прогрессивным методом оптической выверки соосности являются методы оптической алиниметрии и авторефлексии, применяемые в приборе проверки соосности ППС-11, точном оптическом алиниметре FF 01 (ГДР) и др.

В микротелескоп ППС-11 входят следующие блоки: зрительная труба, прецизионный уровень, нивелирная подставка и рама для крепления зрительной трубы в отверстиях оборудования.

На защитном стекле / (рис. 26) нанесена прозрачная подсвечиваемая шкаловая марка — авторефлектор. За ней размещены плоскопараллельная пластинка 2 оптического микрометра, вращающаяся вокруг горизонтальной и вертикальной осей, объектив 3, фокусирующая линза 4 и сетка нитей 5, которая рассматривается через микроскоп 6. При смене окуляров микроскопа труба может иметь увеличение 30 или 45^x.

Кроме измерения отклонений от створа с применением микрометра трубой ППС-11 можно производить измерения несоосности (нест-ворностей) по принципу авторефлексии. При этом на объекте (расточке подшипника) устанавливается зеркальная марка, располагаемая своей плоскостью нормально к оси расточки. Если авторефлексионную марку зрительной трубы подсветить, например автоколлимационным окуляром, то ее изображение, отраженное зеркальной маркой в расточке, получится на сетке нитей либо совмещенное с нитями сетки (когда зеркало расположено нормально к линии визирования), либо смещенное относительно линий сетки (когда зеркало развернуто на некоторый угол φ). Измерив по шкале рефлексивной марки смещение Δ ее центра с нити сетки (горизонтальной или вертикальной), можно вычислить угол φ искривления оси расточки относительно заданного прибором двухстороннего створа

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\Delta}{2L}$$

где L — расстояние от прибора до зеркальной марки.

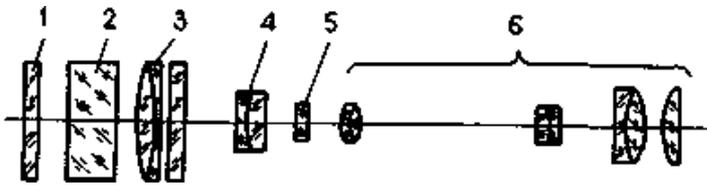


Рис. 26. Оптическая схема трубы микротелескопа

В практике выверки соосности валов теплоэнергетического оборудования преимущественно используют оптический микрометр.

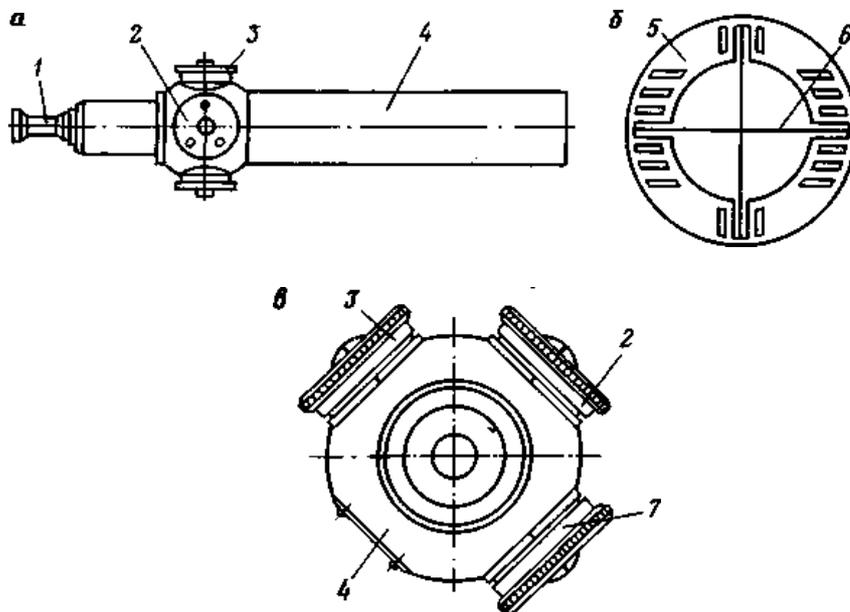


Рис. 27. Конструкция трубы микротелескопа :а— зрительная труба; б — поле зрения; в — положение барабанов

Конструктивно зрительная труба ППС содержит окуляр 1, три барабана 2, 3 и 7, корпус 4 (рис. 27), которые обеспечивают фокусирование изображения наблюдаемого объекта, смещение линии визирования плоскопараллельной пластинкой микрометра по горизонтали и вертикали. Когда плоскопараллельная пластинка микрометра установлена нормально к линии визирования, визирный луч не изменяет своего положения. Наклоном пластинки в горизонтальной и

вертикальной плоскостях обеспечивают совмещение линий 6 сетки трубы с делениями (прорезями) визирной марки 5, установленной в центре отверстия оборудования, и измерение смещений осевой визирной марки с линии визирования прибором. Величину смещения марки отсчитывают по шкалам барабанов 3 и 7 при помощи отсчетного индекса 8. Шкалы обоих микрометров окрашены в два цвета: половина красная, а половина черная, что соответствует положительному и отрицательному значениям смещений (положительное смещение направлено вправо и вверх, а отрицательное — влево и вниз). Отклонение, измеряемое микрометром, равно ± 1 мм, погрешность отсчета 0,002 мм.

Прецизионный накладной уровень содержит корпус, ампулу цилиндрического уровня, лимб и микрометрический винт со шкалами. На шкале лимба нанесено 20 делений, а на шкале микрометрического винта 100 делений. Число оборотов лимба отсчитывает счетчик. При шаге винта 1 мм цена деления шкалы уровня составляет 0,01 мм/1 м.

Нивелирная подставка снабжена лагерами для установки зрительной трубы, зажимным, наводящим и тремя подъемными винтами (рис. 28). При помощи подставки прибор можно устанавливать на фундаменте или на специальном кронштейне. В отдельных случаях, например при выверке соосности расточек турбины, используется рама на кронштейне 4 (рис. 29), закрепляемая на разьеме цилиндра турбины. Рама 2 снабжена регулировочными винтами 5 зрительной трубы 1, при помощи которых ее можно выводить в горизонтальное положение или устанавливать в створ базовой линии. Фиксация трубы осуществляется винтовыми пружинными упорами 6 и опорными пластинками 3.

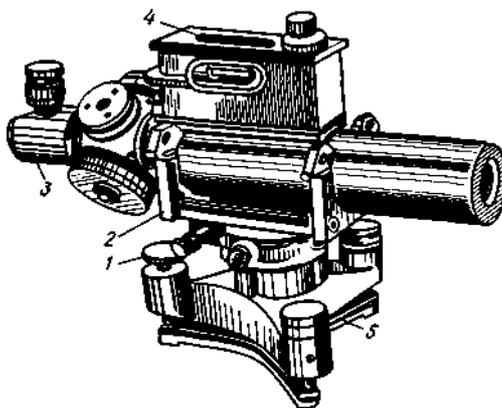


Рис. 28. Нивелирная подставка микротелескопа: 1 — регулировочный винт; 2 — рама для установки зрительной трубы; 3 — зрительная труба; 4 — прецизионный уровень; 5 — основание

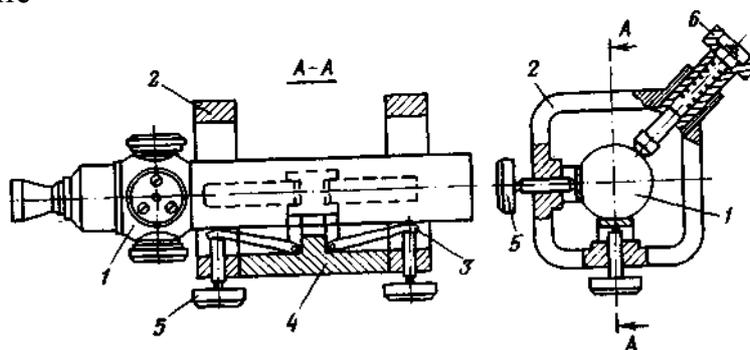


Рис. 29. Рама крепления зрительной трубы микротелескопа

Погрешность m_p измерения отклонения прибором типа ППС равна (в мм) $m_p = 0,01 + 0,005s$, где s — длина визирования, м.

Центрировочные визирные марки делают цилиндрическими с подпружиненными шаровыми упорами, контактирующими со стенками отверстия, и коническими. Их устанавливают на торцах отверстия как заглушки. В центре торцевой части таких марок делается насечка (отверстие) или круговая линейка, используемые для наведения прибора и измерения несоосности. Такие приспособления получили распространение в работах малой и средней точности.

При монтаже апертур технологического оборудования машиностроительного комплекса (компрессоров, насосов, генераторов) используют визирную марку НИИТМАШ 13 (рис, 30). Корпус $б$ марки посредством четырех цилиндрических опор 5 с регулировочным винтом 4 опирается на внутренние стенки отверстия 3 . В центральной части корпуса укреплен поворотный кронштейн 1 , в котором размещен подвижный в радиальном направлении подпружиненный шток 2 . Он содержит в центре марки измерительную шкалу. При вращении оправы кронштейна в отверстии изделия подвижный шток при помощи пружины 7 все время прижимается к стенкам. Величина отклонения марки от центра измеряется штоком по разности его двух противоположных положений. Для ускорения процесса центрирования марки ее снабжают дополнительным штоком, установленном под углом 90° к первому.

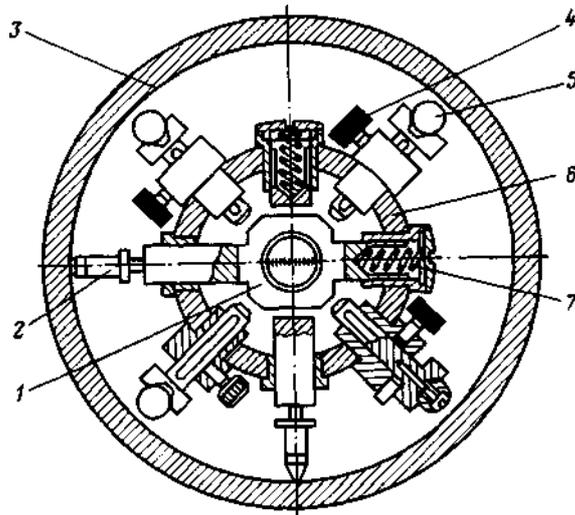


Рис. 30. Визирная марка НИИТМАШ для измерения соосности отверстий

Центроискатель расточный (ЦИР) предназначен для автоматического определения центра расточек цилиндров, корпусов подшипников и диафрагм, а также обозначения их визирной маркой. Действие ЦИР основано на том, что центром расточки 1 является центр окружности (рис. 31), проведенной через концы трех его ножек 2. Ножки прижимаются специальными пружинами к конусу, расположенному в корпусе 3 центроискателя с маркой 4. Перемещением конуса вдоль оси расточки можно выдвигать ножки на одинаковую величину до 25 мм. Для использования в расточках разного диаметра на ножки прибора наворачивают удлинители 5 стандартного микронутромера. В некоторых ЦИР для измерения радиуса расточки используют четвертую ножку, вращающуюся вокруг конуса и оборудованную на конце индикатором часового типа, контактирующем с поверхностью расточки.

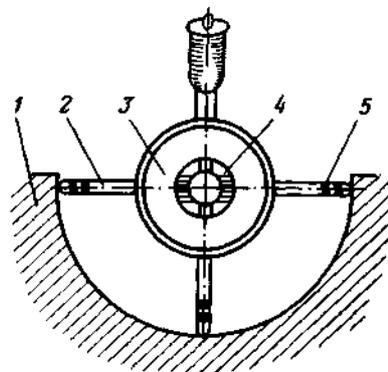


Рис. 31. Центроискатель расточный

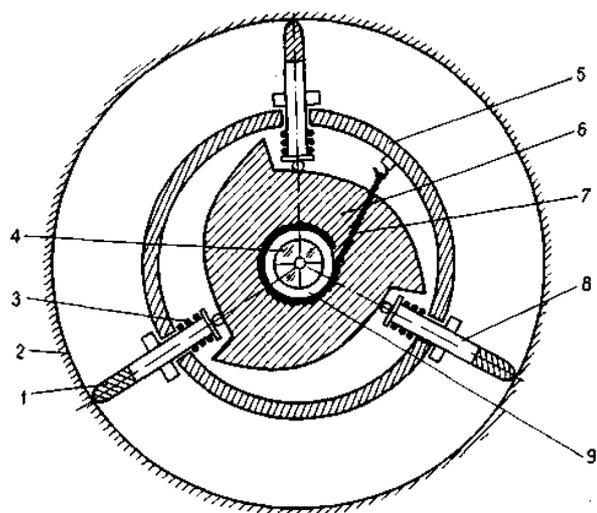


Рис. 32. Центроискатель КИСИ

Для выполнения проверочных работ при входном контроле ответственного тепломеханического оборудования (корпус реактора, парогенератор, циркуляционный насос, трубопроводы главного циркуляционного контура) можно использовать центроискатель, автоматически материализующий ось патрубка или трубопровода.

Центроискатель, разработанный автором в КИСИ, состоит из трех основных частей: цилиндрического корпуса 5, поворотного диска 6 и подвижных наконечников 8 (рис. 32). Цилиндрический корпус во внутренней части снабжен полый цилиндрической осью 9, а с внешней стороны — кожухом и упорной крышкой. Поворотный диск содержит полулю цилиндрическую втулку, насаженную на цилиндрическую ось корпуса и вращающуюся на этой оси, марку круглого сечения с центральным отверстием. Рабочая часть поворотного диска разделена на три сектора с переменным профилем на торце, а внешняя сторона цилиндрической втулки является барабаном для пружины растяжения 7, соединяющей поворотный диск с кожухом корпуса. С внешней стороны кожуха в корпус входят три подвижных наконечника, расположенные друг относительно друга под углом 120° и снабженные контактными упорами на обоих концах, причем один из этих концов находится в постоянном контакте с торцом поворотного диска, а второй оборудован сменными (телескопическими) штангами 1 с концевыми упорами, контактирующими с выверяемой конструкцией 2. Каждый подвижный наконечник,

входящий в корпус, снабжен пружиной сжатия 3. В полой цилиндрической оси корпуса размещено визирное устройство (оптическая или лазерная труба) или целевая марка 4. С внешней стороны к корпусу прикреплена ручка-держатель.

Работа с центроискателем ведется следующим образом. Подобрав сменные (телескопические) штанги 7 необходимого размера (в зависимости от внутреннего диаметра конструкции) и закрепив их в центроискателе, вставляют его в отверстие конструкции 2. При этом одной рукой придерживают корпус 5 за ручку, а второй поворачивают поворотный диск 6 при помощи рукоятки по ходу часовой стрелки до упора. Благодаря постепенному увеличению вырезов поворотного диска 6 подвижные наконечники 8 со сменными (телескопическими) штангами 1 посредством пружин 3 втягиваются внутрь корпуса 5 и устройство свободно вставляется в отверстие конструкции 2 так, чтобы поворотные наконечники располагались в плоскости, перпендикулярной к оси конструкции. Затем отпускают рукоятку, а растянутая пружина 7 поворачивает поворотный диск против хода часовой стрелки, выталкивая сменные (телескопические) штанги 1 до получения их контакта со стенками конструкции 2, чем и останавливается дальнейший разворот поворотного диска. Усилием пружины 7 устройство надежно закрепляется в сечении конструкции 2. Симметричность подвижных наконечников 8 и переменного профиля поворотного диска 6 относительно оси корпуса 5 обеспечивает автоматическое размещение измерительного устройства или целевой марки 4 на оси конструкции 2 цилиндрического или конического сечения.

В настоящее время все большее применение находят такие прогрессивные методы оптической выверки, как метод автоколлимации, рефлексии и интерферометрии.

Одним из методов выверки соосности является косвенный способ определения перекоса валов. Как известно, валы крупных машин соединяются между собой при помощи муфт. Выверка соосности валов разделяется на два этапа (выверка наклона и выверка прямолинейности).

Для выверки наклона на смежных валах выбирают по две точки, например A_1 , B_1 и A_2 , B_2 , измеряют между ними расстояния l_1 и l_2 и нивелируют, определяя

превышения h_1 и h_2 . По этим величинам находят углы наклона валов v_1 и v_2 и общий угол v перекоса муфт

$$v_1 = \arcsin(h_1/l_1); v_2 = \arcsin(h_2/l_2); v = v_2 - v_1.$$

Погрешность угла наклона вала определяется по формуле

$$m_{v_i} = \frac{m_{h_i}}{l_i} \rho,$$

где m_{v_i} — погрешность измерения превышения; l_i — расстояние между точками $\{i=1,2\}$.

Погрешность угла перекоса валов составляет $m_v = \sqrt{m_{v_1}^2 + m_{v_2}^2}$.

По аналогичной методике определяют перекося валов в горизонтальной плоскости "путем измерения их непрямолинейности способом бокового нивелирования.

1.4.4.4. Выверка горизонтальности

При выверке горизонтальности конструкций (опорных плит, валов и т.п.) определяют отметки характерных точек оборудования. Такими точками обычно являются верх плиты, образующей цилиндра вала, шейки подшипника и др.

В настоящее время в практике монтажных работ для выверки горизонтальности (вертикальности и прямолинейности) используют контрольную (поверочную) линейку длиной от 1 до 6 м и накладной уровень с ценой деления 0,05—0,1 мм/1 м. Линейку устанавливают только на обработанную поверхность.

Форма основания уровня зависит от формы выверяемой конструкции. Так например, для выверки горизонтальности валов, роликовых транспортеров удобен уровень с призмным основанием (рис. 33).

Уровень с плоским, особенно с рамным основанием (рис. 34), содержащий два взаимно перпендикулярных уровня с микрометрической головкой, можно использовать не только для выверки горизонтальности и вертикальности, но и для контроля параллельности и перпендикулярности плоскостей (граней) конструкции.

Горизонтальность конструкций с размерами более 3 м эффективно контролировать при помощи нивелирования (геометрического и гидростатического).

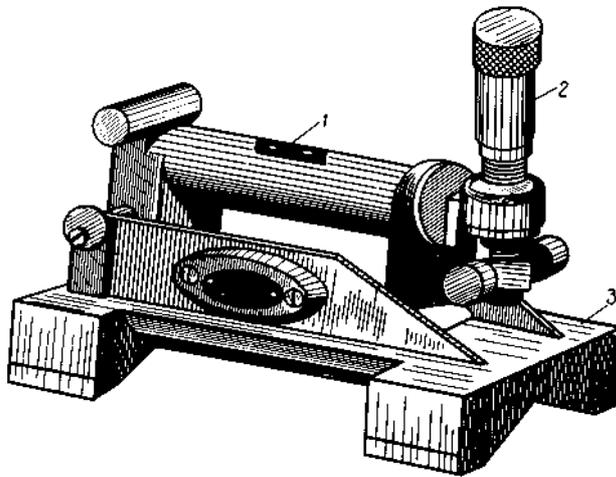


Рис.33. Уровень с призмным основанием: 1-цилиндрический уровень; 2-винт микрометра; 3-основание.

Для нивелирования недоступных маркированных точек оборудования, особенно в процессе эксплуатации, удобно использовать широкопредельный оптический микрометр с зенит-прибором. Микрометр состоит из пентагонального зеркала, закрепленного на вертикальной направляющей — зубчатой рейке, с которой в постоянном зацеплении находится барабан со шкалой. Один оборот барабана соответствует цене деления нивелирной рейки (5 или 10 мм). Число оборотов барабана фиксирует счетчик оборотов. В результате создается возможность измерения величины смещения визирной линии нивелира по высоте в диапазоне до 50—70 мм с точностью 0,01 мм. Такая конструкция нивелира разработана в КИСИ Н.И. Тарасенко.

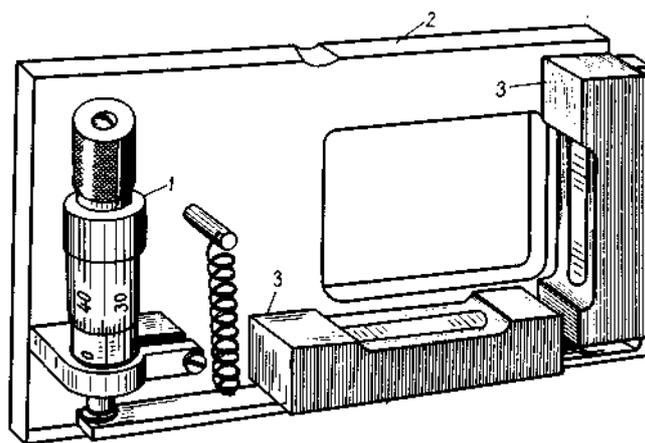


Рис. 34. Уровень с рамным основанием:

1 — винт микрометра; 2 — основание; 3 — цилиндрический уровень

Все это подтверждает наш вывод о том, что современному строительномонтажному производству необходим комплекс приборов, пригодных для выполнения разнообразных контрольных геодезических процессов: зенит-приборы с пентагональной насадкой, теодолит-нивелиры, навесные лазерные приставки.

Нивелируемые точки оборудования выбирают, как правило, в узлах сопряжения конструкций, на опорных частях, в местах ожидаемого наибольшего прогиба (между опорами), в характерных сечениях и т.п. Расстояние между нивелируемыми точками колеблется от 1—2 м на опорных плитах оборудования (реактор, насос) до 5—10 м на направляющих и подкрановых путях. На опорных кольцах нивелируемые точки выбирают симметрично на диаметрах (по 4, 8, 12 или 16 точек) на ближней и дальней кромке, на направляющих — симметрично в одном сечении, ярусе и т.п. Отметки точек определяют, как правило, с одной станции (от одного горизонта) при несоблюдении равенства расстояний до задней, передней и промежуточных точек. Это обстоятельство обуславливает жесткие требования к юстировке нивелира (допускается погрешность непараллельности линии визирования и оси уровня 5—10"), к производству измерений на малой высоте прибора с короткими рейками, шлифовке мест установки реек, оборудованию реек шлифованными опорными пятками, использованию широкопредельного микрометра для наведения зрительной трубы на один и тот же штрих рейки и др.

Основными погрешностями нивелирования являются: $m_{ур}$ — приведения линии визирования в горизонтальное положение, $m_{нав}$ — наведения углового

биссектора на штрих рейки, $m_{\Delta s}$ — неравенства расстояний до реек (разность плеч), m_o — отсчета по микрометру, m_p — установки рейки.

Влияние первых трех погрешностей можно рассчитать по формулам:

$$m_{yp} = \frac{15\tau s}{\rho v_y}; \quad m_{нав} = \frac{10'' s}{\rho v_n}; \quad m_{\Delta s} = \frac{I(s_2 - s_1)}{\rho},$$

где τ — цена деления уровня; s — расстояние до рейки; $(s_2 - s_1)$ — разность расстояний до задней и передней реек; v_y, v_n — увеличение оптической системы контактного уровня и зрительной трубы нивелира; I — угол непараллельности визирной оси и оси уровня.

Погрешности m_o и m_p принимаются равными 0,05 и 0,1 мм.

Общую погрешность взгляда и превышения рассчитывают по формулам

$$m_{взгл} = \sqrt{m_{yz}^2 + m_{нав}^2 + m_{\Delta s}^2 + m_o^2 + m_p^2}.$$

Последняя формула учитывает погрешности взглядов на две рейки и измерение превышений дважды (по основной и дополнительной шкалам).

Следует подчеркнуть, что точность прецизионного нивелирования в большой мере зависит от условий выполнения измерений. Для монтажной площадки характерно большое скопление металлических конструкций, подвергающихся летом сильному солнечному нагреву, а зимой большому охлаждению (температура металла, как правило, на 4—6 °С выше летом и ниже зимой, чем температура воздуха) и являющихся источником рефракционных искажений. П.В. Павлив разработал метод механического учета рефракции в турбулентной атмосфере путем наведения углового биссектора сетки на нижнее изображение колеблющегося штриха, а не на ось симметрии колебания этого штриха (середина между нижним и верхним изображением), как это принято в настоящее время. Способ позволяет не только повысить точность нивелирования в турбулентной атмосфере, но, главное, производить работы в течение всего дня.

При монтажных работах для выведения контролируемых точек на заданный проектный уровень используют подкладки, винтовые домкраты, гидравлические подъемники. Контроль высоты подъема производят нивелиром по рейке или при

помощи индикаторной подставки, включающей опорную плиту, стойку, консоль и индикатор часового типа. Для укрепления на конструкции оборудования опорная плита подставки снабжена магнитным основанием. Для нивелирования направляющих машин, особенно в процессе эксплуатации, применяют различные конструкции гидростатических профилографов. В Японии для нивелирования конструкций небольшой протяженности применяют профилограф, схема действия которого состоит в следующем. Параллельно с исследуемой поверхностью устанавливается лоток с жидкостью, создающей искусственный горизонт — поверхность относимости. По направляющей перемещается каретка, снабженная шпинделем с измерительным наконечником, контактируемым с исследуемой поверхностью. Вертикальные перемещения измерительного наконечника передаются через изоляционные пластины и колонки на диск, являющийся одной из обкладок конденсатора. Другой обкладкой конденсатора служит поверхность жидкости. Разность уровней определяется по разности измеренных емкостей. Высокая чувствительность емкостных преобразователей обеспечивает высокую точность измерения малых превышений.

1.4.4.5. Выверка вертикальности

В строительном-монтажном производстве и при наблюдениях за деформацией сооружений и оборудования выверка вертикальности конструкций является наиболее распространенным процессом. Ее выполняют следующими основными методами: механической вертикали- (струнный отвес, монтажная линейка с накладным уровнем или оптическим квадрантом, рейка-уровень, рейка-отвес), оптической вертикали (прибор вертикального визирования, теодолит, оптический центрир), вертикальной референтной плоскости (коллимационной плоскости теодолита, лазерного планосканера и др.).

При выверке вертикальности конструкций струну отвеса укрепляют при помощи кронштейна в ее верхней части, а внизу к струне прикрепляют груз, погружаемый в демпфирующую жидкость (трансформаторное или автомобильное масло).

Измерения отклонений конструкций от вертикали осуществляют, как правило, при помощи нутромера. Для исключения погрешности контактирования со струной в нутромере применяют электроконтактную микрометрическую головку. Основание нутромера для большего контакта с выверяемой конструкцией и удобства выполнения измерений выполнено с магнитным прихватом. Система электрического контакта нутромера, состоящая из миллиамперметра, наушников телефонного типа, регулировочных сопротивлений и источника питания (батареи), обеспечивает нулевое измерительное усилие контактирования нутромера со струной. Одну клемму батареи присоединяют к нутрометру, а вторую — к подвешенной струне, изолированной специальной втулкой на кронштейне от выверяемой конструкции. Точность способа зависит главным образом от шероховатости конструкции и точности измерений микрометрической головкой нутромера.

При большой, высоте конструкций или повышенных требованиях к установке используют метод оптической или лазерной вертикали. Методика работ этими методами показана ниже на примере установки колонн и ионизационных каналов АЭС.

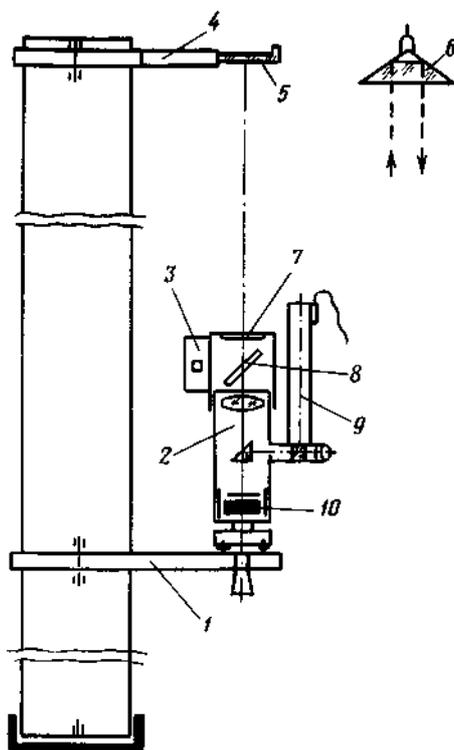


Рис.36.Схема выверки вертикальности колонны навесными приборами

Контроль вертикальности колонн при помощи навесных приборов. В практике монтажа каркасов котлов, стеллажей и этажерок вертикальность колонн можно контролировать приборами, навешенными непосредственно на устанавливаемые конструкции. Навесной прибор (рис. 36) содержит датчик вертикали 10, зрительную трубу 2 и приемное устройство 5, размещенные на одинаковых кронштейнах 1, 4, обеспечивающих параллельность линии визирования и оси конструкции. Датчик вертикали обычно включают в оптическую схему зрительной трубы. Например, жидкостный стабилизатор вертикали, расположенный на половине фокусного расстояния объектива, выполняет одновременно роль фокусирующей системы трубы. Визирную марку с координатной палеткой устанавливают на кронштейне до подъема конструкции краном, а прибор вертикального визирования после приведения и временного закрепления колонны — примерно в отвесном положении. После закрепления прибора на кронштейне приводят его по широкопредельному круглому уровню в рабочее положение, когда вступает в действие датчик вертикали. Визируя зрительной трубой на марку, определяют двухкоординатные элементы крена и координируют положение колонны. После этого вторично измеряют элементы крена и при необходимости доводят ось колонны в отвесное положение. В лазерном исполнении тот же прибор вертикального визирования оборудуется насадкой, включающей источник лазерного излучения 9, отражатель (трипельпризма) 5, полупрозрачное зеркало 8, защитное стекло 7, фотодетектор 3. При необходимости фотодетектор снабжают усилителем и мультивибратором, подающим звуковой сигнал об отвесном положении конструкции.

Луч лазера сначала подается на светоделительную куб-призму -сетки нитей трубы, направляется на отклоняющую призму, жидкостный компенсатор, объектив трубы, полупрозрачное зеркало, защитную пластинку и отражатель. Затем он проходит защитную пластинку, падает на полупрозрачное зеркало и, отражаясь от него, входит в фотодетектор.

Работа с лазерным прибором осуществляется по аналогичной методике, но вместо координатной палетки на кронштейне устанавливают отражатель, причем

его можно закреплять там постоянно или подавать вверх при помощи троса, вставленного в отверстие и блок консоли на земле перед подъемом колонны краном. После установки колонны примерно в отвесное положение, когда лазерный луч попадает в зону действия отражателя, обратный световой сигнал принимается фотодетектором, где также измеряются двухкоординатные элементы крена колонны.

Достоинством такого прибора является возможность двухсторонней стабилизации вертикали и работы в двух режимах (визуальном и лазерном).

Близка к описанной предложенная О.Л. Тыщуком методика выверки вертикальности оси ротора циркуляционного насоса при помощи нивелира N1007 (ГДР) с насаженной на прибор пентапризмой и установленной перед ней плоскопараллельной пластинкой оптического микрометра. Прибор устанавливают над верхним вкладышем подшипника, а в центре нижнего отверстия вкладыша размещают в суппорте визирную марку, соединенную с часовым индикатором. Погрешность измерения в этом случае оказалась равной 0,08 мм при допусковой 0,1—0,15 мм (длина ротора 5 м).

Выверка вертикальности ионизационных каналов. Ионизационные каналы (ИК) АЭС предназначены для проверки радиоактивности вокруг реактора при помощи опускаемых в них ионизационных приборов.

Составные трубы И К должны быть расположены вертикально с погрешностью не более 1—2 мм на всю высоту (до 14 м).

В процессе монтажа вертикальность труб ИК контролируют обычными средствами: теодолитом или отвесом. Основная трудность состоит в исполнительной съемке труб до и после укладки бетона, так как в процессе бетонирования возможны нарушения в их положении. Так как съемку производят по отдельным сечениям, расположенным по вертикали через 1 м, то наиболее эффективным является редуционный способ. В основу этого способа положено использование самоцентрирующейся визирной марки (центроискателя) 4 (рис. 37) и прибора вертикального визирования типа PZL 7, установленного на редуционной подставке 9. Центроискатель состоит из цилиндрического корпуса, в

нижней и верхней части которого установлено по три подпружиненных шарика 5, обеспечивающих совмещение и фиксацию оси корпуса центроискателя с осью ИК. В нижней части корпуса закреплена визирная цель 3, подсвечиваемая электролампочкой 8 от батареи 7. В ионизационном канале 2 Центроискатель подвешивают на заданной высоте при помощи рулетки 6, которая одновременно используется для фиксации отметки измеряемого сечения. Прибор типа PZL устанавливают на редуцированную подставку 9, которая позволяет перемещать его в двух взаимно перпендикулярных направлениях, отсчитывая величины перемещений $a = x - x_0$ и $b = y - y_0$ на координатных шкалах подставки, где x_0 , x и y_0 , y — отсчеты на шкалах подставки, соответствующие исходному положению прибора (основанию трубы ИК) и положению прибора при съемке текущей точки сечения.

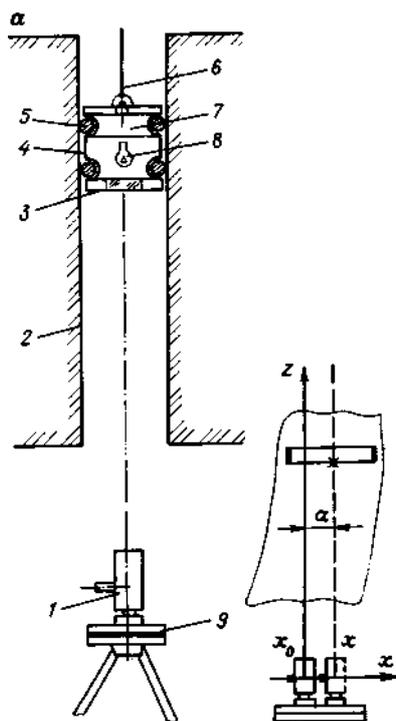


Рис. 37. Схема выверки вертикальности ионизационного канала: *a* — схема наблюдений; *б* — составляющие крена

По измеренным смещениям a и b можно вычислить общее смещение c центра сечения ИК в текущей точке относительно основания ИК и его условный азимут e :

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}, e = \arctg(b / a).$$

Измерение крена способом прямой угловой засечки. В основу способа положен метод построения вертикальной референтной плоскости при помощи теодолита.

Для определения крена требуются наблюдения в двух плоскостях, составляющих между собой, в общем случае, двугранный угол u . Для контроля измерений наблюдения обычно выполняют в трех и более плоскостях. Каждая коллимационная плоскость проходит через точку O основания (нижнюю часть) конструкции или сооружения и является референтной для измерения величины нестворности (неплоскостности) q верхней точки O . Если точка O размещена справа от референтной, то величине q присваивают знак "плюс", а если слева — знак "минус" (наблюдатель находится у теодолита). Величины q_i , ($i = 1, 2, \dots, n$) могут быть получены способом бокового нивелирования или способом измерения малых углов $\Delta\beta_i$.

Измерение крена производят следующим образом. Выбрав места удобной установки теодолитов, например пункты A и B , для наблюдений нижнего, верхнего и промежуточных сечений объекта, и пункты стабильного ориентирования исходных направлений A и B , визируют теодолитом на края (образующие) конструкции (слева и справа), по среднему отсчету находят направления β_1^o и β_2^o ($i = 1, 2$) соответственно для центров нижнего O_n и верхнего O_v сечений (рис. 38). Наблюдения производят при двух положениях круга несколькими приемами (обычно не менее двух). По разности одноименных направлений находят разностные углы:

$$\Delta\beta_1 = \beta_1 - \beta_1^o; \Delta\beta_2 = \beta_2 - \beta_2^o,$$

которые при вертикальном положении конструкции равны нулю.

Знак и величина угла $\Delta\beta$ характеризуют направление и степень отклонения конструкции от вертикали: при положительном значении угла верх отклонен вправо от низа, а при отрицательном влево.

Для определения отклонения в линейной мере (крена) необходимо измерить расстояния S_1 и S_2 от теодолитов до центра конструкции. Тогда крены будут следующими:

$$q_1 = s_1 \frac{\Delta\beta_1}{\rho}; \quad q_2 = s_2 \frac{\Delta\beta_2}{\rho}.$$

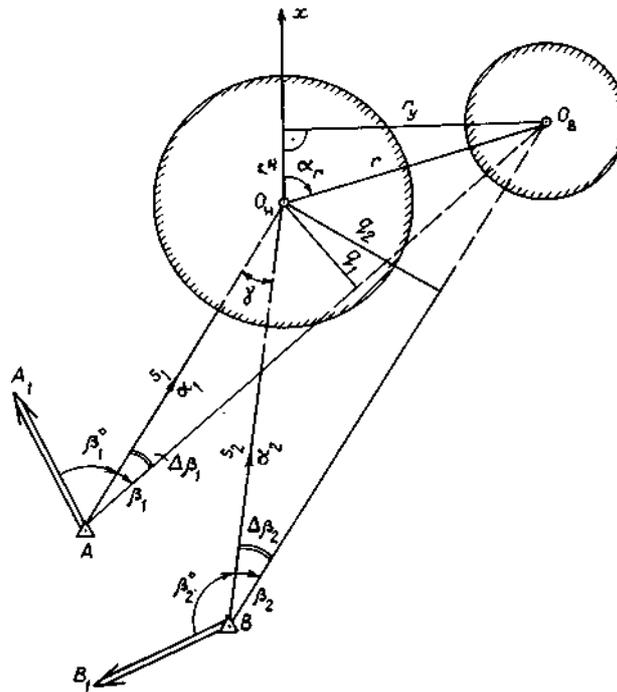


Рис. 38. Схема определения крена способом прямой угловой засечки

Если линии визирования теодолитов взаимно перпендикулярны, то общий крен r и его азимут α_r определяют по формулам $r = q_1^2 + q_2^2$; $\alpha_r = \alpha_1 + \arctg(q_1 / q_2)$, а если они составляют угол $\gamma = \alpha_2 - \alpha_1$, то находят проекции общего крена на оси координат, общий крен и его ориентировку (азимут по формулам):

$$r_x = \frac{q_2 \cos \alpha_1 - q_1 \cos \alpha_2}{\sin \gamma};$$

$$r_y = \frac{q_2 \sin \alpha_1 - q_1 \sin \alpha_2}{\sin \gamma};$$

$$r = r_x^2 + r_y^2; \quad \alpha_r = \arctg(r_y / r_x),$$

где α_1, α_2 — азимуты направлений визирования (засечки).

Последний способ чаще применяют при эксплуатации сооружений и оборудования. Для контроля измерений наблюдения крена производят с 3—4 станций.

1.4.4.6. Выверка наклона

Наклон конструкции и элементов оборудования проверяют различными способами: нивелированием, при помощи теодолита, при помощи оптического квадранта.

При выверке наклонности методом нивелирования (геометрического или гидростатического) определяют превышение точек и расстояние между ними. Тогда искомый уклон и угол наклона находят по формулам

$$I = h / L; v = \arctg(h / L),$$

где h, L — превышение и расстояние между нивелируемыми точками; I — уклон; v — угол наклона.

Погрешности определяемых величин определяют по формулам

$$m_v = \frac{\rho}{L^2 + h^2} \sqrt{(Lm_h)^2 + (hm_L)^2};$$

$$m_I = \frac{1}{L} \sqrt{m_h^2 + (Im_L)^2},$$

где m_h, m_L — погрешности измерения превышения и расстояния (горизонтального приложения) между выверяемыми точками.

Для выверки наклона конструкции теодолитом используют вертикальный круг и измеряют углы наклона v_1 и v_2 при визировании на визирные марки, установленные в выверяемых точках (рис. 39, а). Тогда отметки H_1 и H_2 искомых точек, превышение между ними и уклон будут

$$H_1 = H_1 + L_1 \operatorname{tg} v_1 - \vartheta_1; H_2 = H_1 + (L_1 + L) \operatorname{tg} v_2 - \vartheta_2;$$

$$h = (L_1 + L) \operatorname{tg} v_2 - L_1 \operatorname{tg} v_1 - (V_2 - V_1);$$

$$I = \left(\frac{L_1}{L} + 1\right) \operatorname{tg} v_2 - \frac{L_1}{L} \operatorname{tg} v_1 - \frac{V_2 - V_1}{L}.$$

При выверке наклонности рольгангов и других подобных элементов оборудования сначала задают плановое положение точек, а затем проверяют положение этих точек по высоте. В практике многих работ высоты марок одинаковы и поэтому разность $v_2 - v_1$ равна нулю. Более того, при фиксированном плановом положении точек оборудования коэффициенты $\operatorname{tg} v$ будут постоянными.

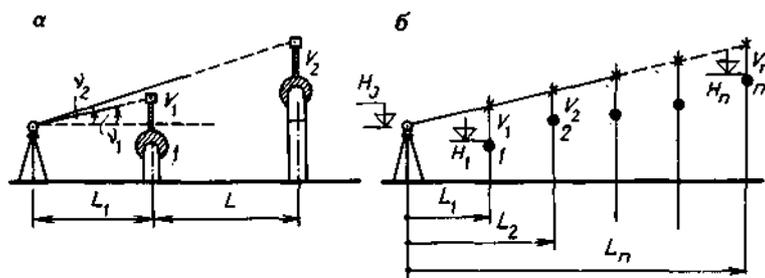


Рис. 39. Способы нивелирования наклонных конструкций: *а* — тригонометрический; *б* — наклонным створом

Первую (исходную) точку оборудования обычно задают отметкой и выводят ее на заданный уровень при помощи нивелира. Поэтому, измерив на эту точку угол наклона v_1 , проектное значение угла наклона v_2 на вторую точку оборудования найдем по формуле

$$v_2 = \arctg \frac{L}{L_1 + L} \left[\left(I + \frac{L_1}{L} + \operatorname{tg} v_1 \right) + \frac{V_2 - V_1}{L} \right],$$

где I — проектный уклон. Сопоставив вычисленный угол v_2 с его измеренным значением v_2' , т.е., зная разность $(v_2 - v_2')$, можно вывести зрительную трубу теодолита на заданный наклон, установив на круге угол $v_2 = v_2' + (v_2 - v_2')$. При этом наклоне закрепляют трубу и конструкцию поднимают или опускают до тех пор, пока визирная марка высотой v_2 не окажется в точке пересечения сетки нитей.

При затруднениях в контроле перемещения конструкции по результатам измерений углов наклона монтажникам выдают величину смещения (рихтовки) по высоте, определяемую по формуле

$$\Delta H = \frac{(L_1 + L)(v_2 - v_2')}{\rho \cos^2 v_2}.$$

Этот метод чаще всего можно использовать при исполнительной съемке оборудования, например криволинейных конвейеров УНРС, наклонных транспортеров и т.п.

При выверке наклона протяженных линий, когда погрешности измерения углов наклона теодолитом могут оказать доминирующее влияние на точность способа тригонометрического нивелирования, применяют способ наклонного

створа. Для этого геометрическим нивелированием определяют отметки H_1 и H_n начальной и конечной точек створа (оборудования). Затем на некотором неизвестном расстоянии от начальной точки оборудования устанавливают теодолит, ориентируют зрительную трубу по оси оборудования и под углом наклона, близким к проектному наклону технологической линии, и так, чтобы с одной стоянки прибора были видны все точки створа (рис. 39, б). В этом случае, при постоянном наклоне визирной оси трубы к горизонту, производят отсчеты $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n$ по рейке (или марке с микрометрической головкой), последовательно устанавливаемой на начальной, всех промежуточных и конечной точках наклонного створа. Измерив затем горизонтальные проложения L_i или соответствующие им наклонные расстояния S_i между точками оборудования, определяют угол наклона линии визирования к горизонту по формулам

$$\operatorname{tg} v = h / L_n; \sin v = h / s_n; h = H_n - H_1 + V_n - V_1$$

и отметки всех промежуточных точек наклонного створа

$$H_i = H_1 + \frac{h}{L_n} L_i = H_1 + \frac{h}{s_n} S_i,$$

где H_1 — горизонт теодолита.

Погрешность определения отметки какой-либо точки выражается зависимостями

$$m_H = \frac{s}{s_n} h \sqrt{2\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2};$$

$$m_h = \sqrt{2(m_H^2 + m_v^2)}.$$

По малости величины m_v в погрешность превышения m_h практически входит погрешность нивелирной связи двух точек оборудования, зависящая от точности нивелирования (класса). Если начальная и конечная точки наклонного створа находятся на разных уровнях, то для определения разности их отметок производят передачу высоты при помощи рулетки и двух нивелиров.

Для измерения углов наклона плоских и цилиндрических конструкций оборудования, а также установки их под заданным углом к горизонту применяют

оптический квадрант КО-1М, КО-10М и др. Основными частями квадранта, например КО-ЮМ (рис. 40), являются: магнитное основание 8, корпус 5 с неподвижно закрепленным в нем стеклянным лимбом, поворотный круг — алидада с отсчетным микроскопом 2, цилиндрическим уровнем 1. На корпусе имеются закрепительный и наводящий (коаксиальные) винты 6 и 7 поворотного круга, связанного с уровнями, винт оптического микрометра 4 и зеркало подсветки круга 3.

В процессе измерений прибор устанавливают на плоскость (поверхность) конструкции, ослабляют зажимной винт и вращают рукой алидаду с уровнем до тех пор, пока пузырек продольного уровня не окажется в середине ампулы (цена деления уровня 10'). Затем при закрепленном зажимном винте вращением наводящего винта пузырек продольного уровня приводят точно в нуль-пункт и после совмещения микрометром изображений диаметрально противоположных частей лимба (рис. 41) производят отсчет угла по шкале микроскопа (цена деления шкалы 10"). На рис. 41 этот отсчет равен $2^{\circ}12'44''$. Аналогичное измерение производят при перестановке прибора на 180° .

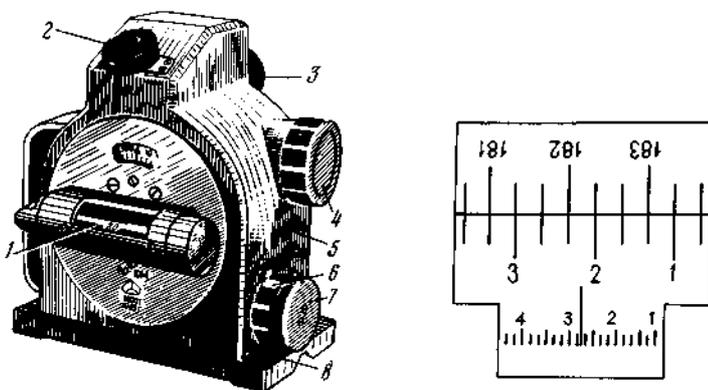


Рис.40. Оптический квадрант КО-10м Рис.41.Поле зрения отсчетного микроскопа

оптического квадранта КО-10м

При установке прибора на выверяемой поверхности необходимо исключать его поперечный наклон, наблюдая за положением пузырька поперечного уровня.

Для установки конструкции под заданным уклоном необходимый угол наклона устанавливают на лимбе, помещают прибор на поверхность этой

конструкции и наклоняют ее до тех пор, пока пузырек продольного уровня не окажется в нуль-пункте. Магнитное основание обеспечивает надежный контакт прибора с поверхностью конструкции. Если требуется проверить наклон двух смежных роликов (или секции рольганга), на них устанавливают сначала контрольную линейку, а на линейку — прибор.

При измерении углов наклона необходимо учитывать место нуля, которое определяют путем установки прибора на одной и той же поверхности при перестановке его на 180° . Место нуля определяют по формуле

$$MO = (V_1 + V_2 - 360^\circ) / 2,$$

где V_1, V_2 — отсчеты по кругу при двух положениях прибора. Юстировку MO производят исправительными винтами уровня при установке на приборе значения угла наклона рабочей поверхности $v = V_1 - MO = MO - V_2$.

Точность измерений оптическим квадрантом зависит главным образом от чистоты рабочей поверхности выверяемых конструкций. Опыт работы с прибором показывает, что при использовании контрольной линейки погрешность задания наклонной поверхности составляет $0,3—0,5$ мм/1 м.

Оптический квадрант можно использовать для выверки, как наклонности, так и горизонтальности и вертикальности конструкций (корпусов и плит оборудования, каркасов котлов, направляющих подъемников и т.п.), особенно при их первоначальной установке (до выверки геодезическими приборами).

При последовательной передаче уклона с секции на секцию погрешность измеренного смещения (превышения или отклонения от вертикали) рассчитывают по формуле $m_h = m_l \sqrt{L/K}$, где m_l — погрешность превышения при одной установке прибора; K, L — длины контрольной линейки и выверяемой конструкции.

При $m_l = 0,4$ мм/1 м, $K = 1,5$ м, $L = 12$ м, $m_h = 1,1$ мм, что свидетельствует о достаточно высокой точности работ (чистота поверхности конструкции не учитывается).

1.4.4.7. Выверка параллельности

Параллельность конструкций оборудования (направляющих, базовых плоскостей и т.п.) имеет большое значение для повышения долговечности оборудования.

При проверке параллельности используют способы, основанные на измерении расстояния между точками конструкции, расположенными в одном поперечном сечении.

Обычно выверка параллельности является задачей, сопутствующей выверке прямолинейности. Поэтому сначала одним из известных способов производят выверку прямолинейности одной (базовой) направляющей, а затем относительно нее выставляют параллельно вторую.

Наибольшее распространение в практике получили способы: с применением нутромера с микрометрической головкой (часовым индикатором); с применением рулетки; съемки каждой направляющих относительно двух Суворов.

Нутромер с микрометрической головкой или индикатором часового типа используют главным образом для выверки параллельности близко расположенных друг от друга направляющих (обычно 1—3 м).

Измерение расстояний между выверяемыми точками конструкции при помощи рулетки является наиболее распространенным способом при выверке металлоконструкций направляющих подъемно-транспортного оборудования. Измерение производят на весу или по предварительно подготовленной (выровненной) поверхности. При этом создают постоянное натяжение рулетки и учитывают поправки за компарирование, температуру, наклон и иногда провес (если осуществляется на весу, а компарирование — на выровненной поверхности).

Вместо рулетки для измерения изменений ширины колеи подкранового пути, например при измерениях деформаций, а по существу — расстояний между рельсами пути в каждом пролете, можно использовать способ провеса струны, предложенный Д.Н. Ковунцом и Н.А. Володиным. Струну длиной l протягивают между двумя симметрирующими устройствами, определяющими положение осей

рельсов при известном расстоянии L_1 между ними (рис. 42). При подвешенном грузе струна будет иметь некоторую стрелу изгиба F_1 так что

$$L_1 = 2\sqrt{(l/2)^2 - F_1^2} \approx l - 2F_1^2/l.$$

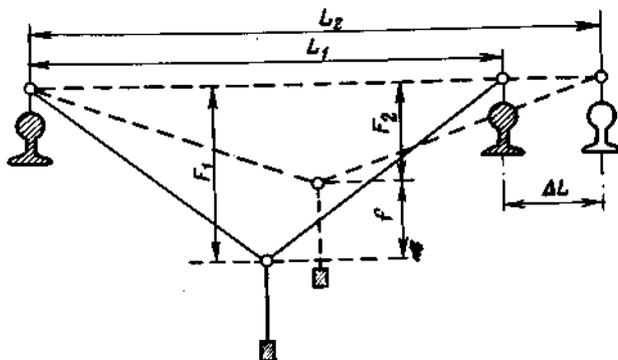


Рис.42.Схема измерений ширины колеи подвесной струной

Если систему переместить в другой пролет, где ширина пути равна $L_2 > L_1$, что стрела изгиба струны F_2 будет меньше F_1 . При неизменной длине струны запишем

$$L_2 = 2\sqrt{(l/2)^2 - F_2^2} \approx l - 2F_2^2/l.$$

Приняв $F_2 = F_1 - f$, где f - изменение стрелы изгиба струны, приращение ширины в пролете получим

$$\Delta L = L_2 - L_1 \approx \frac{4F_1}{l}(F_1 - F_2).$$

Таким образом, измерив, изменение стрелки изгиба струны в текущем пролете относительно стрелы в начальном пролете, можно легко определить изменение ширины колеи. Погрешность составит

$$m_{\Delta L} = \frac{4F_1\sqrt{2}}{l}m_F,$$

где m_F — погрешность измерения изменения стрелы прогиба.

Из этой формулы следует, что для высокой точности измерений стрелу F_1 следует делать небольшой. Следует подчеркнуть, что стрелу можно измерять с крана, присоединив к грузу струну с индексом и фиксируя его смещение относительно неподвижной шкалы, закрепленной на мосту крана в кабине крановщика.

Если при перемещении крана изменяется и высотное положение рельсов, то из измерений разности стрел изгиба F необходимо вычесть половину превышения h между головками рельсов в пролете $h = H_2 - H_1$, т.е. в расчете использовать приведенную к горизонту разность стрел $F = F - h/2$.

Расчеты показывают, что струнная система может быть весьма эффективной при выполнении измерений с крана, особенно при автоматизации нивелирования с применением гидростатической системы.

В протяженных направляющих со сложным креплением (подкрановые пути) с большими пролетами выверку параллельности производят от двух параллельных (в общем случае непараллельных) створов аналогично выверке прямолинейности направляющей. В ряде случаев при выверке параллельности используют коллимационную плоскость теодолита, ориентированную параллельно базовой плоскости оборудования. При этом теодолит устанавливают в точке T на удалении a_0 от базовых точек A и B , которые задают линию, параллельную оси оборудования (рис. 43, а), и визуально ориентируют его. Приложив в указанных точках линейки со шкалами и взяв по ним отсчеты a_1 и a_2 , находим разность $\Delta a = a_2 - a_1$. Если она не равна нулю то теодолит необходимо повернуть на угол $\Delta\alpha = \rho(a_2 - a_1)/(s_2 - s_1)$, где s_1 s_2 , - удаления базовых точек от теодолита. Для контроля отложения угла $\Delta\alpha$ целесообразно вычислить отсчет a_T по линейкам, соответствующий параллельности визирной оси теодолита заданной базовой линии

$$a_0 = a_1 - \frac{a_2 - a_1}{s_2 - s_1} s_1 = a_2 - \frac{a_2 - a_1}{s_2 - s_1} s_2.$$

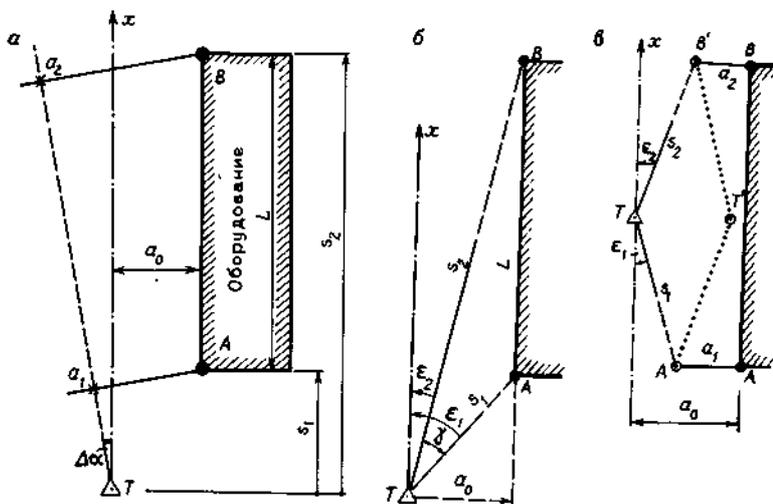


Рис.43. Схема ориентирования теодолита по направлению, параллельному оси конструкции

Если контролируемый объект лежит слева от коллимационной плоскости теодолита, то величинам a_1 и a_2 , присваивают знак минус. Тогда положительное значение поправки $\Delta\alpha$ будет указывать на необходимость поворота теодолита по ходу, а отрицательное - против хода часовой стрелки.

Погрешности искомых величин будут

$$m_{\Delta\alpha} = \frac{m_a \sqrt{2}}{L} \rho; m_{a_o} = m_a \sqrt{1 + 2 \frac{s_1}{L} (1 + \frac{s_1}{L})},$$

где L — длина базовой линии.

Если точки A и B оборудования маркированы, но недоступны для установки реек (линеек), то задача построения параллельной плоскости решается, следующим образом. Выбрав пункт T , из которого видны точки 1 и 2 объекта, устанавливают в нем теодолит и измеряют угол γ (рис 43, б). При известных расстояниях до базовых точек (при полной недоступности их получают косвенным способом или определяют конструктивно) удаление a_o параллельной плоскости от базовой линии (плоскости) определяют по формуле

$$a_o = \frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma.$$

Заметим, что эта формула справедлива для случая, когда пункт T выбран в промежутке между базовыми точками, как это показано на рис.43,в.

В случае, если точки визирования A' и B' отнесены от точек A и B базовой плоскости соответственно на расстояния a_1 и a_2 , например, если видны края строительных конструкций, то искомое расстояние определяют из решения квадратного уравнения, а именно

$$a_o = b \pm \frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma \sqrt{1 + \frac{b^2 - c}{(\frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma)^2}};$$

$$b = \frac{s_1^2 a_2 + s_2^2 a_1 - s_1 s_2 (a_1 + a_2) \cos \gamma}{L^2};$$

$$c = \frac{s_1^2 a_2^2 + s_2^2 a_1^2 - 2s_1 s_2 a_1 a_2 \cos \gamma}{L^2};$$

$$L^2 = s_1^2 + s_2^2 - 2s_1 s_2 \cos \gamma.$$

Расстояния s_1 и a_2 измеряют заблаговременно или задают конструктивно. При $a_1 = a_2 = a$ величина $b=a$, а $c=a^2$. Поэтому выражение (9) имеет вид

$$a_0 = a \pm \frac{s_1 s_2}{L} \sin \gamma.$$

Знак "минус" в формулах (9) и (10) относится к зеркальному изображению точки P относительно искомой параллельной оси. В практических расчетах второй член формул берут со знаком "плюс". Очевидно также, что в случае $a=0$ формула (10) преобразуется к выражению (8). Таким образом, в зависимости от конкретной задачи удаление параллельной оси от базовой определяют по одной из формул (8), (9) или (10).

Направление параллельной оси в точке P задают теодолитом путем построения углов ϵ_1 и ϵ_2 , вычисляемых по формулам

$$\sin \epsilon_1 = \frac{a_0 - a_1}{s_1}; \sin \epsilon_2 = \frac{a_0 - a_1}{s_2}$$

или с учетом (10) при $a_1 = a_2 = a$

$$\sin \epsilon_1 = \frac{s_2}{L} \sin \gamma; \sin \epsilon_2 = \frac{s_1}{L} \sin \gamma.$$

Построенная параллельная ось может использоваться при контроле установки конструкций и входном контроле параметров оборудования. Заметим, что этот способ можно также применять для косвенного измерения угла ω между плоскостями или осями установленного оборудования. Точность решения всех задач зависит от точности измерения расстояний и углов. Погрешность определения ординат составляет

$$m_{a_0} = \sqrt{m_a^2 + a_0^2 \left[\left(\frac{m_{s_1}}{s_1} \right)^2 + \left(\frac{m_{s_2}}{s_2} \right)^2 + \left(\frac{m_L}{L} \right)^2 + \left(\operatorname{ctg} \gamma \frac{m_\gamma}{p} \right)^2 \right]},$$

где $m_{s_1}, m_{s_2}, m_L, m_a$ — погрешности измерения соответствующих расстояний; m_γ — погрешность измерения угла γ .

При заданной величине погрешности m_{a_0} допустимые погрешности линейных и угловых измерений будут

$$\frac{m_s}{s} \leq \frac{m_{a_0}}{a_0 \sqrt{3(1+v^2)}};$$

$$m_\gamma \leq \frac{vm_{a_0} \rho}{a_0 \operatorname{ctg} \gamma \sqrt{1+v^2}},$$

где v — коэффициент запаса точности (обычно $v = 1,5; 2; 2,5$ и 3). Например, при $m_{a_0} = 5$ мм, $s_1 = 100$, $s_2 = 50$ и $L = 173,65$ м, $\gamma = 10^\circ$, $v = 2$, $a_0 = 5$ м получим $m_s/s < 1/3900$ и $m_\gamma = 18''$. При углах γ , близких к 0 или 180° , формула для расчета погрешности m_{a_0} упрощается

$$m_{a_0} = \sqrt{\left(a_0 \sqrt{3} \frac{m_s}{s}\right)^2 + \left(\frac{s_1 \cdot s_2}{L \rho} m_\gamma\right)^2}.$$

При малых или тупых углах линейные измерения можно осуществлять с небольшой, а угловые с высокой точностью.

При достаточном приближении точки T к створу базовой линии погрешность m_ϵ можно определить по формуле

$$m_\epsilon = \sqrt{\left(\sqrt{2} \frac{a_0}{s} \cdot \frac{m_s}{s} \rho\right)^2 + \left(\frac{s}{L} m_\gamma\right)^2},$$

где s — длина линии, противостоящей определяемому углу ϵ .

На основании изложенного можно сделать следующие практические выводы:

- 1) определение отстояния параллельной оси от базовой осуществляется по одному алгоритму независимо от положения рабочей точки относительно базовых пунктов;
- 2) точность определения ординаты оси зависит как от точности измерения расстояний и углов, так и от геометрии рабочей фигуры;
- 3) для измерения расстояний с меньшей точностью рабочую точку следует максимально приближать к створу базовой линии или к одной из базовых точек.

В случае, когда базовые точки не видны с одной станции, применяют более сложные построения, выполняя измерения с параллельной монтажной оси, смещенной относительно оси оборудования на некоторую величину h . В первом

случае, когда лишь видны конечные пункты оси оборудования A и B (рис. 44,а), положение пунктов монтажной оси A_1 и B_1 можно определять решением засечки Ганзена, измеряя углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ и β_4 . Принимая ось AB условно за ось абсцисс, а точку A — за начало координат, можно определить дирекционный угол a_0 линии A_1B_1 по формуле

$$\operatorname{tga}_0 = \frac{c_y}{c_x} = \frac{A(y_B - y_A) - B(x_B - x_A)}{A(x_B - x_A) + B(y_B - y_A)},$$

где

$$A = e_2 \cos \beta_1 - e_1 \cos \beta_3; e_1 = \sin(\beta_2 - \beta_1) \cdot \sin \beta_4;$$

$$B = e_2 \sin \beta_1 - e_1 \sin \beta_3; e_2 = \sin(\beta_4 - \beta_3) \cdot \sin \beta_2.$$

При $a_0 > 0^\circ$ ордината точки B_1 больше ординаты точки A_1 . По значению a_0 вычисляют дирекционные углы $a_i (i=1, 2, \dots, 4)$ направлений прямой угловой засечки

$$a_1 = a_0 + \beta_1 \pm 180^\circ; a_3 = a_0 + \beta_3;$$

$$a_2 = a_0 + \beta_2 \pm 180^\circ; a_4 = a_0 + \beta_4,$$

а по известным формулам Гаусса- координаты станций A_1 и B_1 .

Точность получения координат рабочих пунктов функционально связана с длиной опорной стороны, что необходимо учитывать при проектировании технологии геодезических работ.

Контроль определения положения пунктов A_1 и B_1 удобно производить либо путем измерения расстояния A_1B_1 , либо путем определения координат пунктов-дублеров A_2 и B_2 , смещенных относительно пунктов A_1 и B_1 на известное малое расстояние (практически 5-10 мм). Реализацию таких смещений удобно выполнять на геодезической редуцированной подставке (ГРП).

Во втором случае, когда пункты A и B доступны для измерения к ним расстояний l_1 и l_2 от определяемых пунктов A_1 и B_1 (рис. 44,б), в последних измеряют углы β_1 и β_2 . В результате вычисляют величины

$$h_1 = l_1 \sin \beta_1; h_2 = l_2 \sin \beta_2;$$

$$a_0 = \operatorname{arctg}\left(\sin \frac{h_2 - h_1}{b}\right),$$

где h_j, c_j — длины перпендикуляров из пунктов A и B на сторону A_1B_1 и оснований прямоугольного треугольника ($j = 1, 2$). Координаты пунктов A_1 и A_2

вычисляют по формулам

$$X_{A_1} = -l_1 \cos(\alpha_0 - \beta_1); X_{B_1} = b + l_2 \cos(\alpha_0 + \beta_2);$$

$$Y_{A_1} = -l_1 \sin(\alpha_0 - \beta_1); Y_{B_1} = l_2 \sin(\alpha_0 + \beta_2).$$

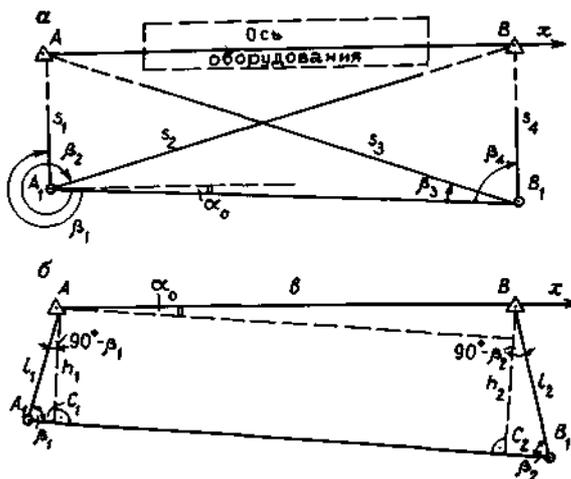


Рис. 44. Схема построения линии, параллельной оси оборудования способами:

a — обратной засечки пары пунктов; b — обратного редуцирования

Погрешности искомых величин с достаточной для практики точностью определяются из выражений:

$$m_{\alpha_0} = m_l \rho \sqrt{2} / b;$$

$$m_{X_1} = \sqrt{(m_l \cos \beta)^2 + (h \frac{\sqrt{m_{\alpha_0}^2 + m_{\beta}^2}}{\rho})^2};$$

$$m_{X_2} = \sqrt{m_b^2 + m_{X_1}^2};$$

$$m_{Y_{1,2}} = \sqrt{(m_l \sin \beta)^2 + (c \frac{\sqrt{m_{\alpha_0}^2 + m_{\beta}^2}}{\rho})^2};$$

$$c = l \cos \beta,$$

где m_l и m_{β} — погрешности измерения расстояний и углов, m_b — погрешность исходной стороны.

Если непосредственное измерение расстояний к конечным пунктам оси затруднено, то их получают косвенным путем.

1.4.4.8. Выверка перпендикулярности

Перпендикулярность конструкций выверяется при сборке плоских, цилиндрических, конических и других деталей технологических линий.

Наиболее простой случай выверки перпендикулярности имеет место при сопряжении двух осей или плоских конструкций, например, панелей, которые должны быть расположены друг к другу под прямым углом (рис. 45, *a*). Теодолит, установленный в точке T , расположенной на возможно близком расстоянии от плоскости конструкции, ориентируют по оси x . В этом положении прибора методом бокового нивелирования по реечке с миллиметровыми делениями или при помощи специальной марки с микрометрической головкой и магнитной опорной пятой измеряют расстояния a_1 и a_2 — отклонения точек 1 и 2 конструкции от коллимационной плоскости теодолита. Далее, повернув теодолит на 90° , измеряют аналогичные отклонения b_1 и b_2 для точек 1 и 3 от оси y . Наблюдения производят при двух положениях вертикального круга, ориентируя каждый раз теодолит по одной и той же фиксированной на оси точке, и из результатов двух наблюдений находят средние отклонения. Искомый угол ω между конструкциями определяют по формуле

$$\omega = 90^\circ - \left(\operatorname{arctg} \frac{a_2 - a_1}{s_a} + \operatorname{arctg} \frac{b_2 - b_1}{s_b} \right).$$

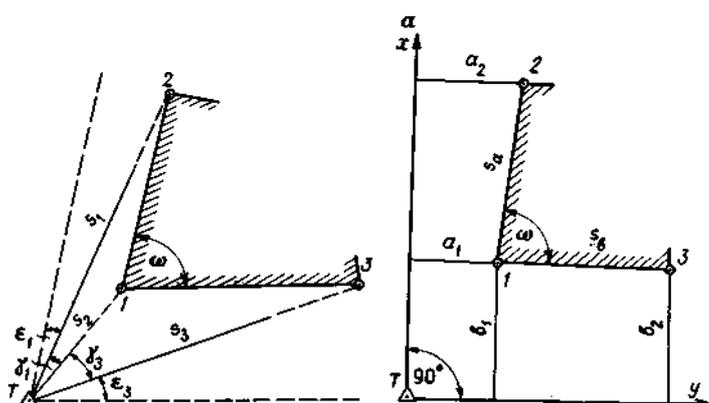


Рис. 45. Схема контроля перпендикулярности конструкций способами:
a — бокового нивелирования; *б* — измерения угла непараллельности

Погрешность m_ω измеренной величины угла будет

$$m_{\omega} = \rho \sqrt{2 \left[\left(\frac{m_a}{s_a} \right)^2 + \left(\frac{m_b}{s_b} \right)^2 \right]},$$

где s_a, s_b — длины сторон искомого угла.

При $s_a = s_b = 10$ м, $m_a = m_b = 0,2$ мм получим $m_{\omega} = 4''$.

Подобная задача выверки перпендикулярности может также решаться как в вертикальной, так и наклонных плоскостях. В первом случае проверку положения точек в горизонтальной плоскости производят нивелиром, а в отвесной — струнным отвесом или теодолитом, т.е. используют комбинированное построение, сочетающее в себе нивелирование и контроль вертикальности.

Если боковое нивелирование панелей затруднено, а точки конструкций маркированы, то можно использовать способ размещения коллимационной плоскости параллельно базовой плоскости, описанный в предыдущем параграфе. При этом визируют на три базовые точки объекта, измеряют до них расстояния, углы γ_1, γ_3 и вычисляют по формуле (11) углы ϵ_1, ϵ_3 . Искомый угол ω между базовыми линиями вычисляют по формуле

$$\omega = \gamma_1 + \gamma_3 + \epsilon_1 + \epsilon_3.$$

Погрешность полученного угла можно вычислить по приближенной формуле

$$m_{\omega} \approx \sqrt{2(m_{\gamma}^2 + m_{\epsilon}^2)}.$$

Косвенный способ построения перпендикуляра к базисной линии. Пусть необходимо построить перпендикуляр к базисной линии AB , конечные пункты которой недоступны для установки теодолита. Для этого можно применить прямой и косвенный способы. В прямом способе теодолит устанавливают в точке T (рис. 46, *a*) и измеряют угол γ при визировании на конечные пункты базисной линии (створа). При известном удалении теодолита от конечных пунктов створа определяют высоту

$$h = \frac{s_1 s_2 (180^\circ - \gamma)}{(s_1 + s_2) \rho},$$

которую откладывают по перпендикуляру к линии AB , и фиксируют створную точку C . Установив в ней теодолит (для перемещения теодолита из точки

T в C можно использовать геодезическую редуционную подставку), наводят на одну из конечных точек створа, откладывают прямой угол и фиксируют точку перпендикуляра A_1 , а переводя трубу теодолита через зенит — точку B_1 . Аналогичные действия выполняют при другом положении круга. Для контроля разбивки все измерения повторяют, желательно с точки-дублера, близкой к Γ .

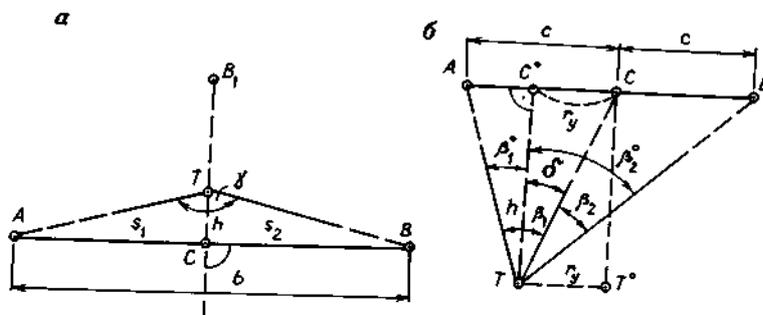


Рис. 46. Способы построения перпендикуляра к базовой линии

Угловая погрешность перпендикулярности может быть рассчитана по формуле

$$m_{\perp} = \sqrt{\left(\frac{s_1 m_{\gamma}}{s_1 + s_2}\right)^2 + m_{90^\circ}^2},$$

где m_{90° — погрешность построения прямого угла, в которую входят погрешность центрирования теодолита в точке C и погрешности угловых построений.

Если точку T нельзя выбрать в непосредственной близости к базисной линии, применяют косвенный способ. Теодолит устанавливают в точке B_1 (рис. 46, б) и измеряют угол γ при визировании на конечные пункты A и B , расстояние b между которыми должно быть известно с погрешностью 1—3 мм. Кроме того, измеряют расстояние s_1 (для контроля также и s_2). Решая треугольник AB_1B , находим

$$\sin B = \frac{s_1}{b} \sin \gamma; \sin A = \frac{s_2}{b} \sin \gamma;$$

$$\beta = 90^\circ - B; \alpha = 90^\circ - A,$$

контроль $\alpha + \beta = \gamma$. Откладывая угол β от исходной стороны, разбивают точку A_1 . Для контроля разбивки аналогичные построения по углу α производят от линии B_1A . Для разбивки створной точки C находят длину перпендикуляра

$h = s_1 \cdot \cos \alpha = s_2 \cdot \cos \beta$. Точность его построения зависит от качества измеренных величин.

При выверке перпендикулярности вала к оси технологической линии (ОТЛ) применяют способ вращения вала с навесным измерительным блоком — нутромером (рис. 47, а).

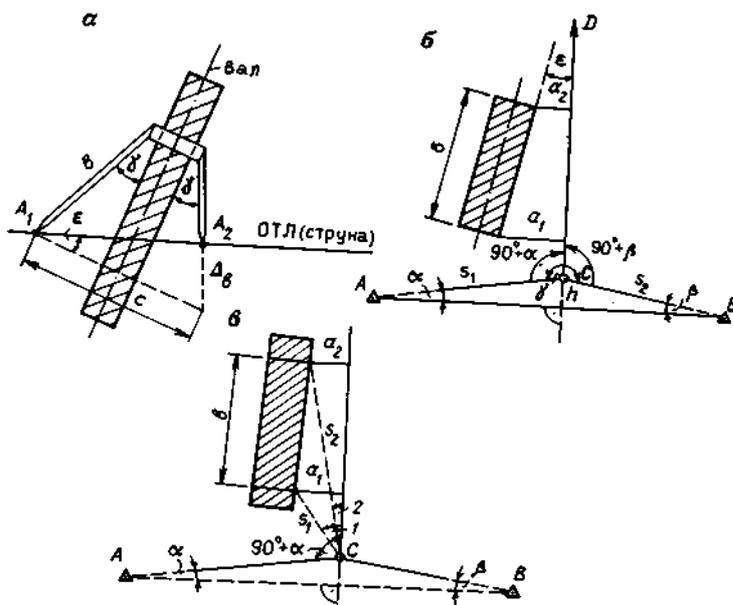


Рис. 47. Схема контроля перпендикулярности оси вала к оси оборудования способами:

а — струнным; б — бокового нивелирования; в — измерением малых углов

Измерительный блок содержит обойму, консольный нутромер (штихмас) с индикатором часового типа. Длину нутромера b подбирают таким образом, чтобы индикатор касался струны в точках A_1 и A_2 , задающей направление оси технологической линии. При контактировании индикатора со струной на его шкале делается отсчет a_1 , а затем, после поворота вала на 180° , т.е. при положении индикатора в точке A_2 , — отсчет a_2 . Если эти отсчеты одинаковы, то ось вала перпендикулярна к ОТЛ. В противном случае по разности $\Delta b = a_2 - a_1$ определяют угол ϵ неперпендикулярности

$$\operatorname{tgc} = \frac{\Delta b}{c} \cos \gamma = \frac{\Delta b}{2b} \operatorname{ctg} \gamma,$$

где c — расстояние между концами нутромера в двух положениях; γ — угол между валом и консольным нутромером, который рекомендуется принимать не более 45° . Тогда погрешность будет

$$m_e = \frac{m_{\Delta b}}{2b} \rho,$$

что при $b=1$ м и $m_{\Delta b} = 0,1$ мм составит $10''$. Следует, однако, подчеркнуть, что точность измерения смещения Δb может быть повышена, если вместо струны направление ОТЛ задавать теодолитом, установленным на постоянных концевых пунктах с устройством для принудительного центрирования и снабженным оптическим микрометром. Это позволяет увеличить протяженность наблюдений, а погрешность измеренного угла неперпендикулярности не превысит $5\text{--}10''$. В ряде случаев, например когда расположение валов не позволяет подвесить струну, можно использовать другой способ (рис. 47, б). Установив теодолит в точке C , примерно в створе ОТЛ, закрепленной марками в точках A и B , измерив угол γ и вычислив по нему расстояния s_1 и s_2 , нерастворность h , найдем углы α и β

$$\alpha = \arcsin(h/s_1); \beta = \arcsin(h/s_2);$$

$$h = \frac{s_1 s_2 (\gamma - 180^\circ)}{(s_1 + s_2) \rho},$$

а по ним углы $90^\circ + \alpha$ и $90^\circ + \beta$, при которых линия визирования теодолита устанавливается по линии CD , перпендикулярной к ОТЛ. Прикладывая линейку к образующей вала, измеряют боковым нивелированием отклонения a_1 и a_2 , а затем определяют угол

$$e = \arcsin \frac{a_2 - a_1}{b},$$

где b — длина вала. Вследствие малости этого угла можно записать

$$m_e = \frac{m_a \sqrt{2}}{b} \rho,$$

а с учетом погрешности построения линии CD

$$m_e = \sqrt{\left(\frac{s_2 m_\gamma}{s_1 + s_2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2} m_a}{b} \rho\right)^2}.$$

При длине вала $b = 3$ м; $s_1 = s_2 = 50$ м; $m_\gamma = 10''$ и $m_a = 0,1$ мм получим

$$m_e = \sqrt{\left(\frac{50 \cdot 10}{100}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{2} \cdot 0,1}{3000} 206265\right)^2} = 10,7'',$$

т.е. точность определения неперпендикулярности вала зависит в основном от его длины и погрешностей измерений отклонений a_i ($i= 1,2$). Последние можно уменьшить, если разность $(a_2 - a_1)$ измерять оптическим микрометром, особенно из повторных измерений. Опыт показывает, что величина m_c может быть доведена до 5".

В случае затруднений с непосредственным измерением отклонений их получают косвенным путем из створных измерений относительно поперечной оси (рис. 47, в) по измеренным углам ϵ_1, ϵ_2 и расстояниям s_1 и s_2 до точек визирования. При контроле барабанов бумагоделательных машин указанные точки можно маркировать белой леской с грузами, подвешенными ниже контролируемой образующей цилиндра. Расстояния до отвесов измеряют рулеткой.

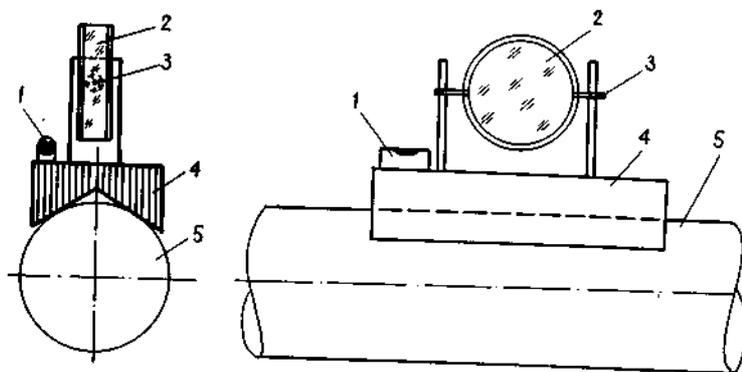


Рис. 48. Схема контроля перпендикулярности вала к оси прокатки автоколлимационным способом

Валы небольших диаметров, в частности, рольгангов и прокатных станов можно контролировать автоколлимационным теодолитом, ориентированным вдоль оси прокатки, и автоколлимационным зеркалом 2 на призматической опоре 4 (рис. 48). Такая опора, снабженная Т-образным уровнем 1, хорошо фиксирует плоскость зеркала относительно оси вала 5. Зеркало укреплено в оправе, имеющей вращение вокруг горизонтальной оси 3, параллельной призматической грани опоры. Это позволяет наклонять зеркало в плоскости, нормальной к оси вала, и обеспечивает получение в теодолите автоколлимационного изображения сетки. Для простоты выполнения поверок и контрольных операций в процессе измерений зеркало должно быть двусторонним. Сначала проверяются уровни (перестановкой опоры на 180°), затем условие, чтобы плоскость зеркала была параллельна оси его вращения

(юстировку выполняют перемещением оправы на половину дуги отклонения) , и, наконец условие, чтобы ось вращения зеркала и ребро призматической опоры находились в одной плоскости (юстировку выполняют путем перемещения оси). В последних двух поверках используют теодолит с зеркалом, причем в первой поверке зеркало вращается на 180° , а во второй — изменяется на 180° положение опоры.

В начале работ автоколлимационный теодолит ориентируют по продольной оси оборудования и закрепляют в таком положении. Затем на выверяемый вал устанавливают призматическую подставку с зеркалом в месте нуля. При совпадении отраженного от зеркала изображения вертикального штриха сетки нитей с его действительным изображением ось вала перпендикулярна к главной оси оборудования. Если изображения нитей сетки не совпадают, то вал подлежит развороту на некоторый угол φ . Здесь обычно рассматривают два случая геодезического обеспечения монтажных работ. Первый случай — выверка состоит в развороте вала на угол φ , т.е. до тех пор, пока изображения нитей сетки не совпадут. Второй случай — исполнительная съемка — состоит в определении угла φ и сравнении его с допусковым значением неперпендикулярности.

Обычно измерение угла φ производят поворотом алидады теодолита микрометрическим винтом до совпадения изображений нитей сетки. Если зеркало жестко посажено на призме и, следовательно, не имеет горизонтального круга для поворота по азимуту (такая конструкция встречается реже), то изменение угла φ производят только теодолитом. При развороте теодолита угол неперпендикулярности φ определяют по формуле $\varphi = M - M_0$, где M — отсчет по горизонтальному кругу при совпадении изображений нитей сетки автоколлимационного теодолита; M_0 — место нуля горизонтального круга теодолита, соответствующее положению коллимационной плоскости параллельно оси прокатки.

При выверке перпендикулярности торцевой плоскости вала или цилиндрической обечайки к ее оси можно использовать автоколлимационный

способ при установке теодолита на продольной оси конструкции и автоколлимационного зеркала на торце. Если размещение зеркала на торце затруднено, например, при большом диаметре обечайки (более 3 м), выверку целесообразно делать косвенным способом, устанавливая теодолит в наклонном положении вне объекта таким образом, чтобы коллимационная плоскость трубы была перпендикулярна к оси обечайки.

Этот метод может применяться для контроля секций вращающихся печей и сушилок, телевизионных антенн, мачт и др.

В практике монтажных работ довольно распространенной операцией является контроль перпендикулярности закрепленных на фундаменте (опорной плите) осей оборудования. Если в точке пересечения этих осей можно установить теодолит, то такая задача решается измерением прямых углов и анализом результатов. Если же указанная точка недоступна для установки прибора, то целесообразно применять либо способ продолженных створов, измерив угол между ними, либо способ трилатерации, например, если выверяемая деталь расположена в наклонной плоскости. При этом рулеткой измеряют хорды c_1, c_2, c_3, c_4 и расстояния s_1 между точками осей ($i = 1, \dots, 4$) в цельной конструкции (рис. 49, а) или диагонали d_i ($i = 1, 2$) в пустотелой (рис. 49, б). Теперь, по измеренным сторонам, можно вычислить необходимые углы: в первой схеме

$$Q_{12} = \arccos \frac{s_1^2 + s_2^2 - c_1^2}{2s_1s_2};$$

во второй схеме

$$Q_{12} = \arccos \frac{c_3^2 + d_1^2 - c_4^2}{2c_3d_1} + \arccos \frac{c_3^2 + d_2^2 - c_2^2}{2c_3d_2}.$$

Но так как сеть трилатерации содержит по одному избыточному измерению, то целесообразно выполнить упрощенное уравнивание линий. Для этого в первой схеме вычисляем центральные углы $\gamma_{i,i+1}$, сумма которых теоретически должна быть равна 360° . Невязка $w = \gamma_{12} + \gamma_{23} + \gamma_{34} + \gamma_{41} - 360^\circ$ используется для вычисления поправок в измеренные стороны

$$(c_i) = -\frac{c_i w}{16\rho}; (s_i) = -\frac{(c_i)}{\sqrt{2}},$$

которые прибавляются алгебраически к значениям измеренных длин.

В схеме, не содержащей центрального пункта (см. рис. 49, б), по сторонам треугольников находят углы γ'_3, γ''_3 и γ_3 - образующие невязку $w = \gamma'_3 + \gamma''_3 - \gamma_3$ и определяют поправки в измеренные стороны $(c_i) = -\frac{c_i w}{12\rho}; (d_i) = -2\sqrt{2}(c_i)$.

По исправленным длинам вычисляют окончательные значения центральных углов. Контролем правильности вычислений являются нулевые невязки в фигурах

1.4.4.9. Выверка плоскостности

Операция определения плоскостности конструкции является первичной, а все другие характеристики положения плоскости (горизонтальность, параллельность и т.п.) — производными от нее.

Для определения плоскостности малых деталей обычно используют специальные калибры — эталонные плиты (проверка под краску), контрольные линейки (проверка на просвет), карусельный плоскомер и т.п.

При контроле плоскостности крупногабаритных деталей прибегают к площадной съемке (нивелирование) поверхности. Для этого на исследуемой поверхности чаще всего строят сетку квадратов или прямоугольников, и положение точек поверхности определяют пространственными координатами. Следует, однако, различать три случая примерного положения конструкции при съемке поверхности: горизонтальное, вертикальное и наклонное. В первом случае наибольшая точность измерений предьявляется к нивелированию вершин сетки квадратов, во втором — к измерению отклонений вершин сетки от вертикали, в третьем — к измерению всех трехмерных координат с учетом величины наклона плоскости конструкции к горизонту. Третий случай является общим и наиболее сложным, но редко встречающимся в производстве, а первый и второй — частными, но наиболее простыми в реализации и, следовательно, наиболее распространенными. Если плоский элемент расположен в горизонтальной

плоскости, то выполняют геометрическое или гидростатическое нивелирование, а если в отвесной, то боковое нивелирование коллимационной плоскостью теодолита. В нивелируемых точках устанавливают вертикально (горизонтально) нивелирную рейку перпендикулярно к референтной плоскости прибора.

При затруднениях в установке рейки на точке конструкции (камера, бассейн) для измерения вертикальности можно эффективно использовать рейку-копир на трехколесной тележке с подвесной отсчетной шкалой (рис. 49). На раме 3 тележки смонтировано заднее рабочее колесо 7 и симметричные относительно него два передних опорных колеса 4. На оси вращения колеса 7 укреплен шарнир 7 отсчетная линейка 2, снабженная на конце маркировочным индексом. С линейкой 2 жестко соединен стержень, несущий на конце датчик вертикали (маятник) 8 с демпфером. Для обеспечения работы устройства при выверке вертикальности и горизонтальности выверяемой конструкции 6 датчик вертикали снабжен переключателем, обеспечивающим установку стрелки вдоль или перпендикулярно к оси линейки. В процессе измерений заднее колесо тележки устанавливают по индексу линейки в начальной точке трассы нивелирования и, протягивая тележку по характерным точкам профиля, что фиксируется по мерному тросику 5, нивелируют поверхность в заданных точках, доступ к которым затруднен или ограничен. При выверке плоскостности высокоточного оборудования применяют оптико-механические методы, в частности, автоколлиматор и оптический плоскомер. В последние годы апробированы и интерференционные методы.

По результатам нивелирования определяют условные отметки точек поверхности объекта. Если референтная плоскость параллельна базовым точкам плоского элемента (обычно принимают 3—4 точки, расположенные по углам детали и не находящиеся на одной прямой), то разность $h_i = H_i - H_{усл}$ определяет неплоскостность текущей точки поверхности. Такая характеристика неплоскостности условная, но она широко распространена в практике, особенно при контроле положения плоских элементов оборудования относительно осей технологических линий.

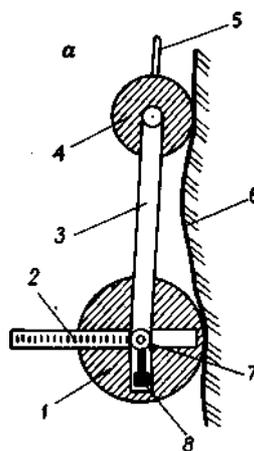


Рис. 49. Нивелирная рейка на тележке: *а* — геометрическое нивелирование; *б* — боковое нивелирование

При изготовлении или сборке из готовых блоков ответственных плоских элементов оборудования (машиностроительных столов, станов, для формовки материалов — стекла, листовой стали, проката и др.) с целью разработки наиболее рациональной технологии обработки деталей необходимо использовать метод оптимальной плоскости, максимально приближающейся к семейству представительных точек объекта.

1.4.4.10. Выверка кривизны

Криволинейные элементы оборудования занимают особое место в монтажном производстве и подвергаются тщательному контролю при изготовлении и монтаже. Для характеристики кривизны окружности обычно пользуются радиусом. Если же контур конструкции описывается более сложной кривой (эллипсом, параболой или радиоидальной спиралью), то кривизна задается точками в прямоугольной или полярной системе координат.

Для непосредственного измерения внутренних диаметров (лучше радиусов) малогабаритных деталей используют рулетку, нутромер с микрометрической головкой или с индикатором часового типа. В крупногабаритных деталях радиус (диаметр) измеряют либо непосредственно с помощью рулетки, либо получают косвенно из специальных измерений, используя способ "наездника" с помощью Струны и линейки. Струну известной длины хорошо натягивают, прижимают концами к внутренним стенкам цилиндра и при помощи линейки с

миллиметровыми делениями измеряют стрелу прогиба- расстояние от стенки до струны в ее середине по перпендикуляру к ней (рис. 51, а) . Искомый внутренний радиус R_l , рассчитывают по формуле

$$R = \frac{l^2}{8f} + \frac{f}{2}, \quad (A)$$

где l –длина рабочей части струны. Погрешность радиуса получается по формуле

$$m_R = R \sqrt{\left(2 \frac{m_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2} \approx \frac{m_f}{f} R,$$

где m_l и m_f — погрешности измеряемых величин. При $R = 6$ м, $l = 8,5$ м, $f = 1,76$ м, $m_l = 2$ мм, $m_f = 1$ мм погрешность $m_R = 4,4$ мм, причем доминирующее влияние на нее оказывает погрешность измерения стрелы изгиба. Если ее измерять нутромером с микрометром, то погрешность определения радиуса можно уменьшить до 2 мм. Практически обеспечивается точность радиуса в пределах 0,05—0,1 % и выше. Способ используют, в частности, для контроля кривизны ложемент парогенератора. При этом на ложементе выбирают три пары равноудаленных точек: P_1, P_3, P_5 и P_2, P_4, P_6 . Измерив стрелы прогиба f_1 и f_2 в точках P_1 и P_2 , вычисляют по формуле (А) два значения радиуса R_1 и R_2 , из которых находят среднее. Если дополнительно включить в нивелирование точки основания ложемент, то можно определить расстояние от оснований до нижней точки ложемент, по которому контролируют высотную размерную цепь оборудования.

Внешний радиус (диаметр) цилиндрической оболочки (рис. 51, б) можно получить из измерений теодолитом угла (f) и расстояния l от теодолита по направлению биссектрисы до точки K оболочки. Внешний радиус составит

$$R = l \frac{\sin(\varphi / 2)}{1 - \sin(\varphi / 2)}.$$

Контроль измерений производят повторными наблюдениями с других точек, расположенных на взаимно перпендикулярных осях. Погрешность вычисляют по формуле

$$m_R = \frac{\sqrt{[m_l \sin(\varphi / 2)]^2 + [l \cos(\varphi / 2) \frac{m_\varphi}{\rho}]^2}}{1 - \sin(\varphi / 2)},$$

где m_l и m_φ — погрешности измеряемых величин.

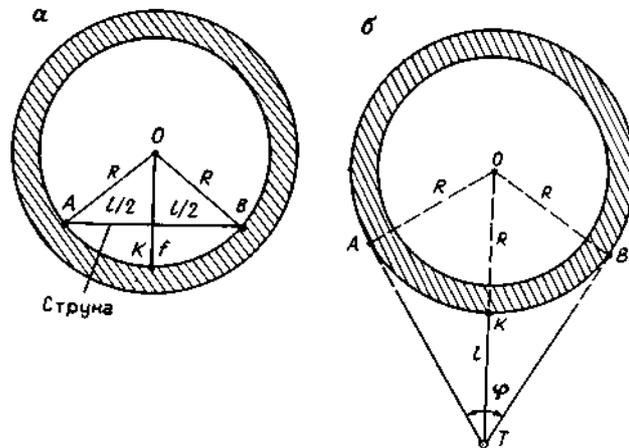


Рис. 50. Способы определения радиуса кривизны оболочки:

а — внутреннего; *б* — наружного

Измерение внешнего диаметра осуществляется и способом обкатывания цилиндрической конструкции мерным роликом, например в процессе работы вращающейся печи, что отвечает рабочему состоянию деталей. Мерный ролик вводится в контакт с поверхностью детали (корпуса печи, опорного ролика) и вращается вместе с ней. При отсутствии скольжения мерного ролика по поверхности обмеряемой детали искомый диаметр вычисляют по формуле $D = (n_2/n_1) \cdot d$, где d - диаметр мерного ролика; n_2, n_1 — число оборотов детали и мерного ролика за время измерения.

1.4.4.11. Установка и выверка подкрановых балок и рельс

Установка

Для окончательной установки подкрановых балок по продольной оси проектную ось подкранового рельса, совпадающую с осью балки, выносят на специальные кронштейны, привариваемые над балками, или смещают ось на боковую поверхность колонны на уровне головки рельса.

При установке подкрановых путей допускается смещение оси рельса с оси балки в пределах 15 мм, а отклонение расстояния между осями подкрановых рельсов одного пролета ± 10 мм. Разбивку осей подкрановых балок (осей подкрановых рельсов) производят с обязательным соблюдением следующих условий:

- а) независимо от длины подкранового пути выноска и закрепление осевых точек должны быть произведены не менее чем в трех местах на равных расстояниях;
- б) при длинном подкрановом пути выноски оси производят через 100 м;
- в) закрепленные осевые точки должны быть проконтролированы наблюдением их створности; от осевого створа закрепляют ось на кронштейнах или смещенную ось на колоннах не реже чем через 25 м;
- г) вынесенные и закрепленные оси проверяют непосредственным промером подкранового пролета; отклонение расстояния между осями подкрановых рельсов одного пролета допускается ± 10 мм;
- д) после разбивки осей подкрановых рельсов второй исполнитель проверяет правильность начальной и конечной выносок створа оси в подкрановой плоскости и выборочно - пролета между осями.

Для проверки установки балок по высоте на горизонт верха балок передают снизу через 50 - 60 м по направлению ряда колонн отметки. Рекомендуется для лучшей увязки по высоте рельсов в пролете высоту выносить на уровень балки

первого ряда, затем через 60 м - на второй ряд, через 60 м снова на первый и т. д. Окончательную установку балок проверяют постановкой реек на верхней поверхности балок у стыков, на плече колонны и в промежутках через 5 - 7 м.

Основные отметки должны быть переданы с нижнего горизонта с точностью ± 2 мм. После исправления положения балок по высоте (допуск ± 5 мм) производят контрольную нивелировку и балки, установленные по осям и высоте, закрепляют окончательно.

При тяжелых конструкциях балки укладывают не непосредственно на плечо колонны, а на специальные балансиры, которые нивелируют перед укладкой балок.

На выверенные балки по осям, вынесенным на кронштейны, или по смещенным осям, закрепленным на боковой поверхности колонн, укладывают рельсы. После укладки положение рельсовых путей окончательно проверяют в плане и по высоте.

Плановую выверку производят, устанавливая инструмент на подкрановой плоскости в створе осевых креплений. Ось уложенного подкранового рельса привязывают к этому створу, визируя с помощью теодолита на специальную рейку-шаблон (рис. 150, а). Эту рейку накладывают на головку рельса, ее нуль-пункт совмещают с осью рельса. Отсчеты по рейке производят вертикальной нитью сетки теодолита через 5 - 10 м длины пути, определяя смещение рельса от осевого створа.

По полученным данным составляют график смещений оси рельса (см. рис. 150, б). График составляют в горизонтальном масштабе 1: 500 и вертикальном 1: 1.

Одновременно измеряют рулеткой или светодальномером типа МСД-1 расстояние между осями подкрановых рельсов также через 5 - 10 м по длине пути. Результаты контрольных измерений показывают на сводном графике положения путей (см. рис. 150, в). Головку рельсов нивелируют, устанавливая рейку в местах опорных поверхностей колонн и на середине балки между колоннами. Исполнительный профиль пути также составляют в горизонтальном масштабе 1: 500 и вертикальном 1: 1. Разность отметок головок подкрановых рельсов в одном разрезе пролета зданий на плечах колонн допускается 15 мм, а в пролете - 20 мм. Разность отметок подкрановых рельсов на соседних колоннах при расстоянии между колоннами l допускается - $l/1000$, при $l < 10$ м - можно допустить 10 мм.

При соответствии зафиксированных отклонений указанным выше допускам разбивки для монтажа подкрановых путей считаются законченными.

Для периодических наблюдений за состоянием подкрановых путей в процессе эксплуатации цеха отнаблюденные точки (1) - (5) (см. рис.1 в) закрепляют кернами и краской на нижней части рельса. Дальнейшие наблюдения отклонений производят указанным выше способом с привязкой в плане и по высоте одних и тех же точек.

Методика и точность работы по разбивкам подкрановых путей на железобетонных балках аналогичны разбивкам для металлоконструкций, но для выноски оси пути кронштейны в этом случае не применяют. Параллельно смещенную ось пути закрепляют на боковой поверхности колонн и от нее устанавливают балки и рельсы. Установку теодолита в створе при контрольной съемке производят по точкам оси на балке или рельсе, полученным обратным отмером от параллельно смещенной оси.

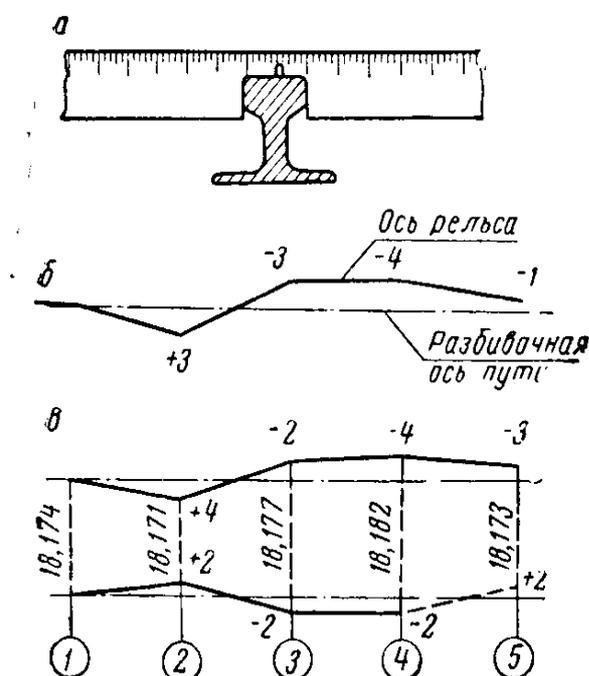


Рисунок 150 - Положение подкрановых рельсов в плане

Геодезический контроль монтажа, съемка и рихтовка подкрановых путей

Контроль монтажа подкрановых путей состоит из следующих операций: нивелировка консолей колонн каркаса; перенесение осей подкрановых балок

на консоли; контроль горизонтальности и прямолинейности подкрановых балок; контроль горизонтальности, прямолинейности и параллельности подкрановых рельсов.

Нивелирование консолей обычно ведется косвенным путем по высотным рискам колонн на уровне пола цеха. При этом используется геометрическое нивелирование. В связи с большим неравенством плеч в нивелирах должна быть проверена параллельность визирной оси и оси уровня.

Перенесение осей балок на консолях осуществляется от смещенных осей колонн при помощи теодолита, При отсутствии видимости на все консоли теодолит устанавливают в промежуточных точках смещенных осей. Совмещением осевых рисок торцов балок и консолей обеспечивается высокая точность монтажа.

При нивелировании подкрановых балок нивелир обычно устанавливают на самой балке, специальной консоли, прикрепляемой к колонне, на платформе крана и т. п. Нивелирование можно выполнять на каждой балке в отдельности или совместно. Однако во всех случаях для взаимной увязки отметок левой и правой балок устраивают перемишки между станциями в двух точках - на левой и правой балках. Это особенно важно для конечной стадии - монтажа подкрановых рельсов. Наверх отметка передается от рабочего репера в начале и в конце пути (на длинных путях контроль осуществляется по частям длиной 300 - 500 м). По максимальной отметке (минимальному отсчету) для обеих балок определяют толщины подкладок под рельсы, чтобы они были горизонтальны.

При контроле прямолинейности балок проверяют, чтобы элементы крепления рельсов располагались на оси балки. После крепления рельсов осуществляется окончательная выверка их горизонтальности, прямолинейности и параллельности. Горизонтальность проверяют путем нивелирования головок рельсов по схеме, аналогично балкам.

По результатам нивелирования составляют исполнительный профиль в горизонтальном масштабе 1: 100 (1: 200) и вертикальном - 1: 10. Чаще всего, для наглядности, составляют совмещенный профиль пути, показывая на нем высотное положение обоих рельсов. При этом, графу «Фактические отметки» делят на две части: левый рельс и правый рельс. По разности фактических отметок рельсов в

одном пролете определяют места с недопустимым поперечным уклоном. Основные требования, предъявляемые СНиП к монтажу подкрановых путей для железобетонных и стальных конструкций, приводятся в табл. 1

Таблица 15

Наименование отклонений	Допустимые отклонения
Смещение оси подкранового рельса с оси подкрановой балки	± 15
Отклонение оси подкранового рельса от прямой	± 15 на участке длиной 40 м
Отклонение расстояний между осями подкрановых рельсов одного пролета	± 10
Разности отметок подкранового рельса на соседних колоннах (расстояние между колоннами L)	L/1000, но не более ± 15
Разности отметок головок подкрановых рельсов в одном пролете	± 20
Взаимное смещение торцов смежных подкрановых рельсов в плане и по высоте	± 2

Для контроля прямолинейности и параллельности рельсов производят исполнительную съемку от двух в общем случае непараллельных створов X_1 и X_2 (рис. 151). Начальные и конечные точки створов выбирают произвольно на концах обследуемого участка подкрановых путей. Чаще всего их совмещают с осью рельса. При помощи теодолита, лазерного визира или струны, ориентированных по линии створов, способом бокового нивелирования измеряют отклонения a_{i1} и осей a_{i2} рельсов от своих створов, где i - номер текущей точки пути или створа ($i=1,2,\dots,n$); n -число точек одного створа. Измеренным отклонениям присваивают знаки: "+", если ось рельса смещена вправо от створа, и "-", если ось рельса смещена влево. Для простоты отсчитывания отклонений рационально использовать специальную накладную марку со шкалой, имеющей сантиметровые деления.

Для обеспечения прямолинейности и параллельности путей производят их выравнивание с определением оптимальных элементов рихтовки (смещений). Задача решается по методу наименьших квадратов. Для равномерно

расположенных точек створа положение выравнивающей прямой левого рельса определяется ординатами начальной и конечной точек:

$$y_{11} = C_1[a] - C_2[\beta a] + \frac{1}{2}(L_1 - L_0);$$

$$y_{1n} = C_2[\beta a] - C_3[a] + \frac{1}{2}(L_n - L_0);$$

$$C_1 = \frac{2n-1}{n(n+1)};$$

$$C_2 = \frac{3(n-1)}{n(n+1)};$$

$$C_3 = \frac{n-2}{n(n+1)};$$

$$a_i = a_{1i} + a_{2i}; \beta_i = \frac{i-1}{n-1},$$

где L_1, L_n -расстояния между створами в начале и конце пути; L_0 - проектное расстояние между осями рельсов; β - множитель.

Выравнивающая прямая правого рельса определяется ординатами:

$$y_{21} = y_{11} + (L_0 - L_1);$$

$$y_{2n} = y_{1n} + (L_0 - L_1)$$

соответственно для его начальной и конечной точек. Ординаты промежуточных точек выравнивающих прямых определяются путем интерполирования по формулам:

$$y_{1i} = y_{11} + \beta_i(y_{1n} - y_{11});$$

$$y_{2i} = y_{21} + \beta_i(y_{2n} - y_{21}).$$

Знаки ординат аналогичны знакам отклонений.

Элементы рихтовки, т.е. величины смещений искривленных рельсов для придания им проектного положения, равны :

$$v_{1i} = y_{1i} - a_{1i};$$

$$v_{2i} = y_{2i} - a_{2i}.$$

Правильность вычислений контролируют по формуле

$$[v_1] + [v_2] = 0.$$

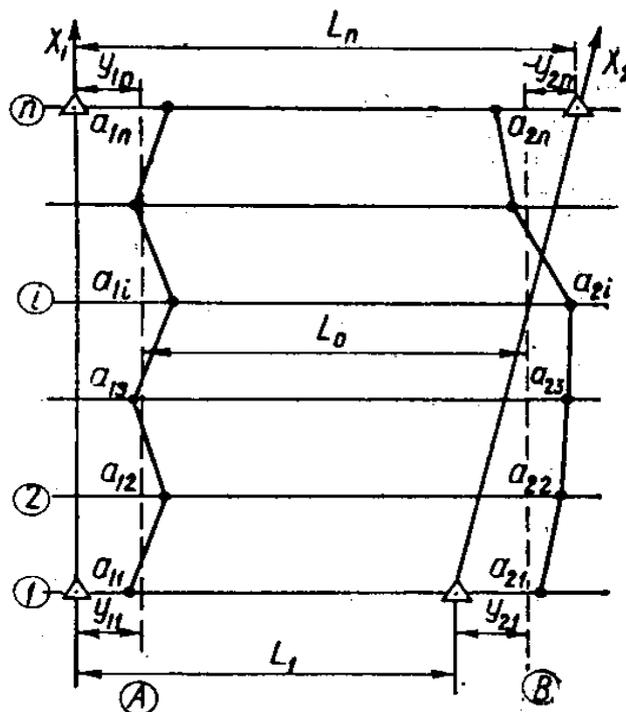


Рисунок 151 - Схема съемки и рихтовки подкрановых путей.

Если величина v положительна, то рельс смещается вправо от своего положения, а если отрицательна, то влево. Контроль смещений при рихтовке осуществляется по “маяку” - передней плоскости колонны - при помощи контрольной линейки путем измерения удалений рельса до рихтовки и после нее. Необходимость рихтовки определяют по величине отклонений рельса от прямой линии и по отклонению расстояний между фактическими осями рельсов от проектных (см. табл. 16). Это расстояние определяют по формуле:

$$L_i = L_1 + \beta_i(L_n - L_1) + a_{2i} - a_{1i}.$$

Пример расчета элементов рихтовки дан в табл. 16.

$$(L_1 = 16992; L_7 = 17027; L_0 = 16990 \text{ мм}).$$

Таблица 16.

№ ряда коло нн	β	Изме- ренны е откло- нения рель- сов от ство- ра, мм a_1	Изме- ренны е откло- нения рель- сов от ство- ра, мм a_2	a	βa	Орди- наты вырав- нива- ющих пря- мых, мм y_1	Орди- наты вырав- нива- ющих пря- мых, мм y_2	Эле- мент ы рих- товки рель- сов, мм v_1	Эле- мент ы рих- товки рель- сов, мм v_1
1	0	0	0	0	0	0.8	-1.2	0.8	-1.2
2	0.167	-9	6	-3	-0.50	4.1	-3.7	13.1	-9.7
3	0.333	-19	24	5	1.66	7.4	-6.2	26.4	-30.2
4	0.500	-14	18	4	2.00	10.8	-8.8	24.8	-26.8
5	0.667	-10	4	-6	-4.00	14.1	-11.3	24.1	-15.3
6	0.883	2	12	14	11.66	17.4	-13.8	15.4	-25.8
7	1.000	0	0	0	0	20.7	-16.3	20.8	-16.3
Σ	3.500	-	-	-	10.82	-	-	125.4	-125.3

При затруднениях в рихтовке рельсов, вызванных ограничением перемещения рельса на балке, требуется рихтовка и балок. Такие случаи встречаются, как правило, в процессе эксплуатации промышленных зданий. Здесь рационально также находить оптимальные элементы рихтовки балок и рельсов, используя метод математического программирования - линейного или квадратичного.

В основу решения берут систему ограничений на перемещение рельса в пределах подкрановой балки, балки в пределах консоли, а также крано - проходной габарит мимо передней грани колонны.

Литература:

1. Баран П.И., Шелест В.П. Оптимизация рихтовки подкрановых балок методом линейного программирования. - Инженерная геодезия, Киев, 1975, вып.18.

2. Баран П.И., Шелест В.П. Оптимизация рихтовки подкрановых рельсов методом линейного программирования. - Инженерная геодезия, Киев , 1976, вып.19.
3. Баран П.И., Шелест В.П. Совместное определение оптимальных элементов рихтовки подкрановых балок и рельсов методами математического программирования. -Инженерная геодезия, Киев , 1975, вып.19.

1.5. НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ

1.5.1. Общие сведения о геодезических методах измерения деформаций оснований зданий и сооружений

Наблюдение за деформациями сооружений занимают значительное место в современной практике инженерно-геодезических работ. Достаточно сказать, что ни одно строительство крупных сооружений не обходится без деформационных измерений, а для сооружений, где от величины происходящих деформаций зависит их устойчивость и особенно нормальный режим технологического процесса, наблюдения, начатые в период строительства, могут продолжаться и весь период эксплуатации. При этом объем и сложность наблюдений, а также требования к точности их производства из года в год возрастают.

Так, если для строительства конструкций допустимые ошибки измерения выражаются единицами миллиметров, то для технологического оборудования они могут быть ограничены десятыми и даже сотыми долями миллиметра.

Для обеспечения современных требований разрабатываются специальные методы и средства измерений, основанные на последних достижениях науки и техники. Специфика наблюдений за деформациями позволяет, а порой и требует применения автоматизированных систем и приборов.

Для оценки и инженерной интерпретации результатов наблюдений широко применяются методы математической статистики.

В настоящее время накоплен большой опыт в области теории и практики геодезических измерений деформаций сооружений.

1.5.2. Классификация деформаций оснований и сооружений.

Деформации оснований сооружений происходят за счет взаимного перемещения частиц грунта и их сжимаемости. Основными факторами, влияющими на сжимаемость грунта являются:

- ◆ пористость и величина сжимаемой толщи;
- ◆ вес, размеры, форма и конструктивная жесткость фундамента;

- ◆ конструктивная жесткость, распределение давления по подошве фундаментов;
- ◆ тип и материалы несущих надфундаментных конструкций;
- ◆ природные факторы (способность горных пород к просадкам, пучение при замерзании и оттаивании водо-насыщенных пород, изменение влажности пород и уровня грунтовых вод и т.д.) и др.

Грунты основания (для жилых зданий) по степени сжимаемости условно делят на следующие виды:

- слабо сжимаемые (модуль сжатия $E \geq 200$ кг/см.кв., или когда средняя измеренная осадка здания $S_{cp} \leq 5$ см.);
- средне сжимаемые ($E \leq 200$ кг/см.кв., или $S_{cp} = 5-15$ см.);
- сильно сжимаемые ($E \leq 75$ кг/см.кв., или $S_{cp} > 15$ см.).

Для наглядного представления явления осадки следует предположить, что все фундаменты сооружений заложены на одной горизонтальной плоскости, соответствующей проектной отметки. В результате сжатия грунта точки, лежащие на этой плоскости, могут смещаться от начального положения и образовывать некоторую деформируемую поверхность. При этом точки могут перемещаться как вниз и вверх в вертикальной плоскости, так и в стороны.

Различают следующие виды деформаций:

- ◆ перемещение фундаментов и всего сооружения вниз называют осадкой;
- ◆ набухания и усадки - деформации, связанные с изменением объема некоторых глинистых грунтов с изменением влажности и температуры;
- ◆ оседания - деформации земной поверхности, вызванные разработкой полезных ископаемых или изменением гидрогеологических условий;
- ◆ перемещение фундаментов и всего сооружения вверх называют подъемом или выпучиванием;
- ◆ перемещение в сторону - горизонтальным смещением или сдвигом сооружения.

Математическая характеристика осадок выражается величинами перпендикуляров, опущенных с начальной горизонтальной плоскости,

образованной подошвой фундамента, до пересечения с деформированной поверхностью. В тех случаях, когда отрезки этих перпендикуляров равны, осадки называются равномерными, когда отрезки не равны, осадки называют неравномерными (рис. 152).

Таким образом, равномерные осадки могут происходить лишь в тех случаях, когда давление, вызываемое весом сооружения, и сжимаемость грунтов во всех случаях основания под фундаментом одинаковы.

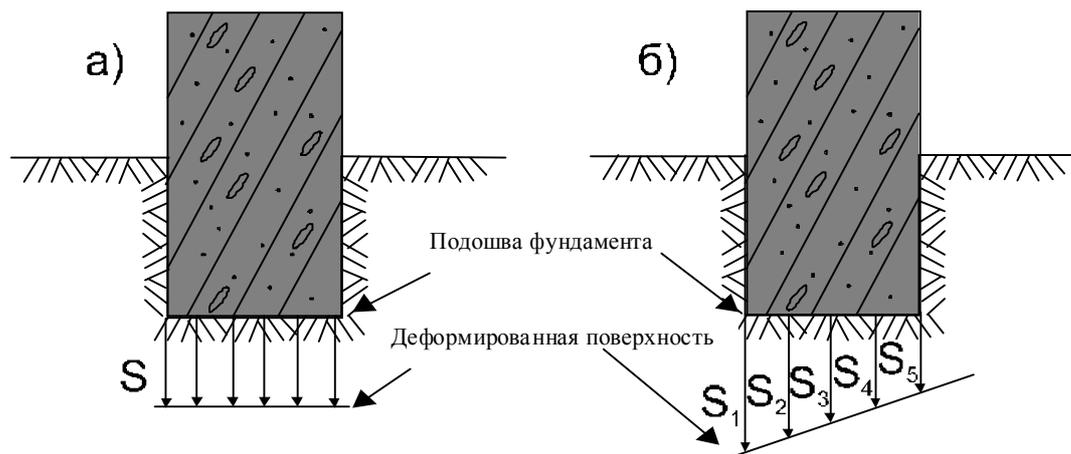


Рисунок – 152: а) равномерные осадки; б) неравномерные осадки.

Неравномерные осадки происходят, прежде всего, в результате различного давления частей сооружения и неодинаковой сжимаемости грунтов под фундаментом, что в свою очередь вызывает разного рода перемещения и деформации в надфундаментальных конструкциях.

В действительности равномерных осадок на сжимаемых грунтах почти не бывает, так как геологическое строение основания и в вертикальном и в горизонтальном направлениях даже на незначительных площадях неоднородно.

Равномерные осадки не снижают прочности и устойчивости сооружений, но большие по величине равномерные осадки могут вызвать при эксплуатации сооружения осложнения и способствовать появлению новых нежелательных деформаций. Предположим, на предприятии здания имеющие равномерные, но разных размеров осадки связаны между собой каким-либо технологическим процессом, тогда это приведет к нарушению их нормальной эксплуатации.

Неравномерные осадки являются более опасными по вызываемым ими последствиям для сооружений. Например, даже незначительный наклон высокого

сооружения может вызвать нарушения при эксплуатации лифта или привести к перенапряжениям в несущих конструкциях. Опасность тем больше, чем значительнее разность осадок частей сооружений и чем чувствительнее к ним его конструкции.

В том случае, когда сжимаемость грунтов под фундаментом неодинаковая или нагрузка, приходящаяся на грунт, различная, возникают деформации-смещения, кручение, которые внешне могут проявляться в виде трещин и даже разломов.

В соответствии со СНиП вертикальные деформации оснований зданий и сооружений подразделяются на осадки и просадки.

Осадки - деформации (уплотнение грунтов под нагрузкой в связи с уменьшением их пористости), вызывающие вертикальное перемещение всего сооружения вниз под воздействием его веса.

При расчете осадок следует различать конечную(стабилизированную) осадку, соответствующую полному уплотнению грунта основания, и нестабилизированную осадку, изменяющуюся во времени и соответствующую незавершенному процессу уплотнения грунта основания.

Просадки - деформации, носящие провальный характер и вызываемые коренным изменением сложения грунта (например, уплотнением мелкопористого грунта при его замачивании, уплотнение рыхлых песчаных грунтов вследствие сотрясения, оттаиванием мерзлых грунтов, выпиранием грунта из-под сооружения и т.д.).

Деформации основания характеризуются:

1) Абсолютной (полной) осадкой отдельных точек фундамента, определяемой измерениями. Абсолютная или полная осадка S каждой отдельной точки сооружения вычисляется как разность отметок начального H_0 и текущего H_i циклов измерений, определенных относительно отметки исходной точки, принимаемой за неподвижную,

$$S=H_0 - H_i.$$

2) Средней осадкой здания или сооружения S_{cp} , определяемой вычислением по данным фактических осадок не менее чем трех отдельных фундаментов,

расположенных в пределах здания или сооружения (вычисляется только при мало изменяемой сжимаемости основания)

$$S_{\text{ср}} = \frac{\sum^n S}{n};$$

где n- кол-во точек.

Одновременно со средней осадкой для полноты общей характеристики указывают наибольшую S_{max} и наименьшую S_{min} осадки точек сооружения.

3) Разности осадок ΔS двух точек i и j или двух (m -го и n -го) циклов наблюдений вычисляются соответственно по формулам:

$$\Delta S_{ij} = S_j - S_i,$$
$$\Delta S_{m,n} = S_n - S_m.$$

4) Послойная деформация ΔS_z грунтов основания или толщи тела сооружения мощностью z определяется как разность осадок точек, закрепленных в кровле и подошве слоя грунта сооружения:

$$\Delta S_z = S_{\text{кр}} - S_{\text{под}}.$$

5) Перекосом конструкций (для относительно жестких зданий и сооружений), измеряемым максимальной разностью неравномерных осадок двух соседних опор, отнесенной к расстоянию между ними.

6) Креном (для абсолютно жестких зданий и сооружений), представляющим наклон или поворот основных плоскостей всего сооружения в результате неравномерных осадок, без нарушения его цельности и геометрических форм. В строительной практике различают крен сооружения, который характеризуется отклонением его вертикальной оси от отвесной линии и выражается в угловой, линейной или относительной мере, и крен фундамента, понимаемый как отклонение плоскости его подошвы от горизонта и выражаемый в линейной или относительной мере. Для оценки устойчивости сооружений более наглядной является характеристика крена, отнесенная к расстоянию L между точками i и j . Относительный крен K (соответственно - завал и перекос) вычисляется по формуле:

$$K = \frac{S_j - S_i}{L}.$$

7) Относительный прогиб (или перегиб) фундамента, представляющим частное от деления величины стрелы прогиба на длину изогнувшейся части здания или сооружения. Симметричный относительный прогиб f отдельных частей сооружения вычисляется по формуле:

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

где S_i и S_j -осадки точек i и j , фиксированных на краях прямолинейного участка сооружения длиной L ;

S_K - осадка точки K , расположенной в середине между точками i и j . Направление прогиба определяется знаками: плюс - при выпуклости, минус - при вогнутости.

8) Кручением здания, представляющим сложную деформацию-поворот его параллельных поперечных сечений вокруг продольной оси в разные стороны и на разные углы.

9) Горизонтальное смещение Q отдельной точки сооружения характеризуется разностью ее координат X_n, Y_n, X_m, Y_m соответственно в n -ном и m -ом циклах наблюдений. Положение осей координат, как правило, совпадает с главными осями сооружений. Вычисляют смещения в общем случае по формулам:

$$Q_x = X_n - X_m$$

$$Q_y = Y_n - Y_m.$$

10) Трещинами, представляющими разрывы в отдельных конструкциях сооружения и возникающими вследствие неравномерных осадок и дополнительных напряжений.

1.5.3. Основные причины деформаций

Основные причины осадок и деформаций можно разделить на две группы:

1. *Общие причины*, связанные с особенностями инженерно-геологических и гидрогеологических условий и физико-механических свойств грунтов.

К ним относятся:

а) способность грунтов к упругим и пластическим деформациям (просадкам, оползням, карстовым явлениям и т. п.) под влиянием нагрузки;

б) неоднородное геологическое строение основания, приводящее к неравномерному сжатию и перемещением грунтов под воздействием веса сооружения;

в) пучение при замерзании водо-насыщенных и оттаивание мерзлых льдо-насыщенных грунтов;

г) изменение гидротермических условий, связанных с сезонными и многолетними колебаниями температуры и уровня грунтовых вод.

2. *Частные причины*, связанные с погрешностями, возникающими при изысканиях и проектировании, с особенностями производства строительных работ, эксплуатацией сооружений и т. п.

К ним относятся:

а) недостаточно правильная планировка участка, плохой дренаж атмосферных и паводковых вод;

б) неточности, допущенные при проведении инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий;

в) искусственное понижение или повышение уровня грунтовых вод при проведении строительных работ;

г) увлажнение лессовидных и оттаивание мерзлых грунтов;

д) ослабление основания подземными разработками, приводящее к смещению всей толщи напластований над выработками или к выносу частиц грунта в выработанное пространство;

е) возведение (в непосредственной близости) новых крупных сооружений;

ж) изменение давления, вызванное надстройкой, переменной загрузкой и т. п.;

з) неравномерное распределение давления сооружения по подошве фундамента (ступенчатые надфундаментные конструкции);

и) форма, размеры и конструктивная жесткость фундамента;

к) вибрация фундаментов, вызываемая работой всевозможных машин или интенсивным движением транспорта.

1.5.4. Геодезические знаки, используемые для измерений осадок сооружений методом геометрического нивелирования

1.5.4.1. Общая классификация знаков

Для измерения деформаций оснований и сооружений при производстве строительных работ и научных исследований, в зависимости от целей наблюдений, а также геологических и гидрогеологических условий, используются следующие геодезические знаки:

1. Реперы - исходные знаки высотной основы.

Глубинные (незащитаемые трубчатые, свайные и др.), фундаментальные (железобетонные, трубчатые, скальные и др.), грунтовые или рабочие (бетонные, трубчатые и др.) и стенные (из литья, изготовленные в мастерских и др.).

2. Осадочные марки - для наблюдений за осадками фундаментов зданий, промышленных и гидротехнических сооружений.

Стенные закрытые, шкаловые, магнитные, плитные, цокольные, боковые, кордонные, трубомарки, поверхностные, временные, стенные открытые и др.

3. Глубинные марки - для измерения деформаций в основаниях земляных и бетонных сооружений.

Трубчатые, железобетонные плиты-марки, металлические плиты -марки, камерные, закладные (укороченные) и др.

4. Поверхностные марки - для измерения осадок и просадок дневной поверхности. Грунтовые, поверхностные временные и др.

1.5.4.2. Количество и размещение геодезических знаков

Исходные высотные знаки (реперы)

Измерение осадок зданий и сооружений производится путем периодического нивелирования высотных знаков, закладываемых согласно проекту, составляемому при организации наблюдений.

К проекту прилагается схема нивелирных ходов с указанием размещения закладываемых реперов и осадочных марок. Установка высотных знаков обычно осуществляется строительной организацией при участии специалистов, наблюдающих за осадками.

При измерении осадок сооружений к исходным высотным знакам предъявляются следующие требования:

- 1) длительное сохранение неподвижности;
- 2) надежный контроль за устойчивостью;
- 3) возможность передачи с них отметок на марки, заложенные в сооружения (при помощи одной или двух установок инструмента).

Опыт показывает, что исходными высотными знаками для наблюдений за осадками наиболее ответственных сооружений могут служить глубинные реперы той или иной конструкции. При этом количество реперов на строительной площадке должно быть достаточным для того, чтобы можно было взаимно контролировать их устойчивость и чтобы возможная ошибка измерения высотного положения осадочных марок не выходила за пределы ± 1.0 мм. Пример размещения глубинного репера относительно сооружения представлен на рис. 153.

Вновь установленные реперы привязываются не ранее чем через один месяц к знакам местного высотного обоснования, от которых производилась съемка данного участка или выполнялись разбивочные работы. В выполненной привязке составляется акт с приложением схемы размещения знаков, разреза их конструкции и краткой характеристики грунтов, в которых они заложены.

Периодическая проверка высотного положения реперов, установленных для измерений осадок сооружений, выполняется в каждом цикле наблюдений сравнением взаимных превышений.

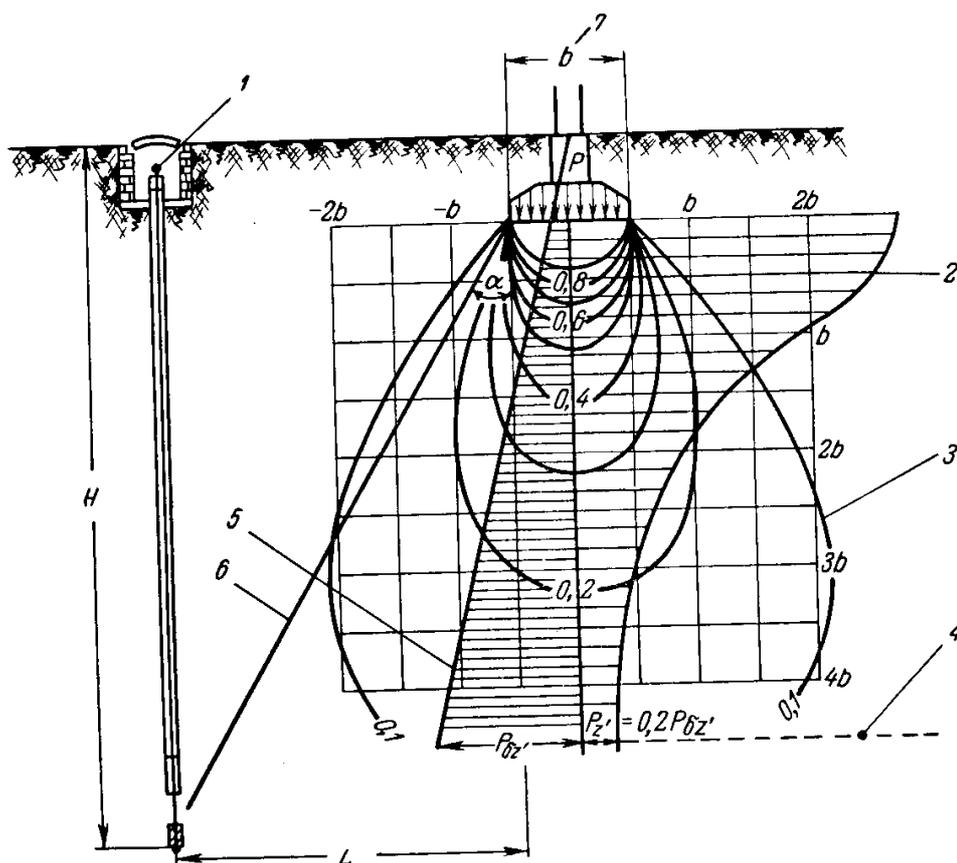


Рисунок 153 - Минимальное удаление глубинного репера от сооружаемого здания: 1-глубинный репер, 2-график дополнительного (к природному) давления в грунтах, 3-изобары в долях давления (p), 4-практическая граница сжимаемой толщи, 5-график природного давления, 6-плоскость, проведенная от грани фундамента, 7-ширина ленточного фундамента, P_{bz}' - природное давление на глубине z' , $P_{z'}$ - дополнительное к природному давление на той же глубине.

Осадочные марки

Ценность и полнота наблюдений осадок во многом зависит от количества, правильного размещения и сохранности осадочных марок.

В практике измерений иногда стремятся общее количество осадочных марок довести до возможно большего числа, полагая, что избыточное количество их поможет в дальнейшем избежать грубых ошибок, так как величины осадок соседних марок в известной степени будут контролировать друг друга.

Такое стремление следует считать неправильным, ибо излишнее число марок увеличивает время, необходимое для проведения измерений, что влечет за собой увеличение невязки в полигонах за счет вертикальных смещений узловых

осадочных марок. Вместе с тем недостаточное количество марок не может отразить в полной мере характер перемещений и деформаций фундамента.

При составлении проекта размещения нивелирных марок необходимо учитывать конструктивную схему здания или сооружения, его размеры в плане, давление на отдельные части фундамента, геологические и гидрологические особенности строительной площадки, а также и создание благоприятных условий для проведения измерительных работ.

Количество марок должно быть таким, чтобы с его помощью можно было полнее отразить величины осадок, кренов и прогибов частей сооружения. Марки должны размещаться по всему фундаменту, полностью обеспечивая выявление мест наибольшей осадки сооружений. Пример размещения марок представлен на рис. 154.

На основании действующих указаний по наблюдению за осадками фундаментов на гражданских зданиях марки следует размещать по их контуру через 10 - 12 м. При этом необходимо устанавливать их на углах зданий, в местах примыкания продольных и поперечных стен и у осадочного шва (по обе его стороны). При ширине здания более 15 м марки необходимо устанавливать также в лестничных клетках и на продольной внутренней стене.

На промышленных и сборно-каркасных гражданских зданиях марки устанавливаются на несущих колоннах и на фундаментах наиболее ответственных агрегатов, а также по контуру здания и внутри его, причем расстояние между марками должно быть не более 10 м.

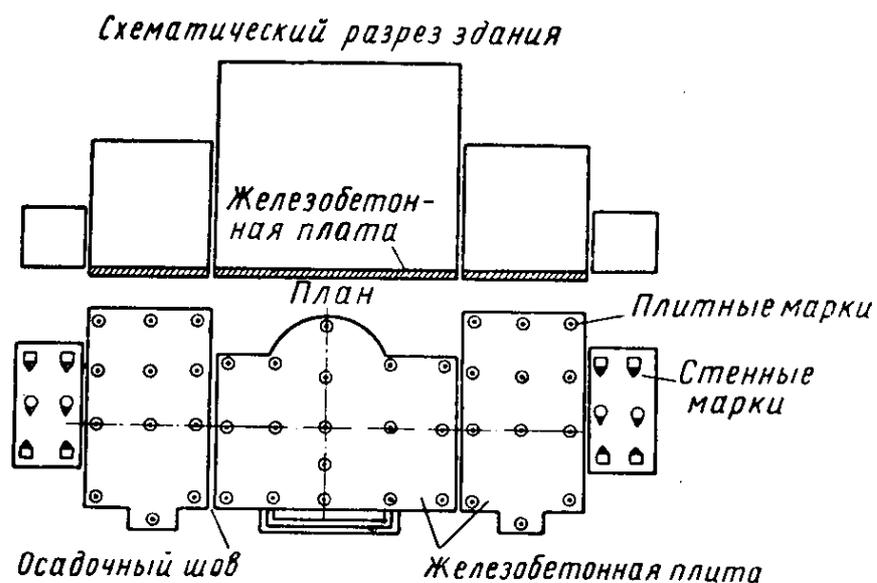


Рисунок 154 - Размещение марок на зданиях с резкими переходами по высоте

Марки необходимо устанавливать также на всех углах здания, по обеим сторонам осадочных швов, а для определения величины прогиба - на несущих конструкциях по продольной и поперечной осям здания (от 3 до 7 марок).

Для многоэтажных зданий или промышленных сооружений, имеющих сплошную фундаментную плиту, марки следует размещать на разбивочных поперечных и продольных осях плиты и по ее контуру из расчета одной марки на каждые 100 м^2 площади. Причем общее размещение марок должно обеспечивать возможность проведения линий равных осадок сечением через 5 - 10 мм.

Для всех зданий и сооружений нивелирные марки следует закладывать в местах наибольших ожидаемых осадок и в местах изменения высоты сооружений (рис. 154).

В связи с этим для крупных и сложных сооружений местоположение осадочных марок должно согласовываться со строителями, чтобы участки с наибольшими напряжениями были полностью обеспечены марками. Нельзя устанавливать марки в перегородках и любого типа заполнениях.

На абсолютно жестких сооружениях (фундаменты дымовых труб, доменных печей, турбогенераторов, мостовых быков, силосов, элеваторов и т. п.) допускается установка четырех марок по их периметру. Это обстоятельство позволяет весьма

просто контролировать высотное положение центральной части фундамента (как среднее из отметок его углов).

На выстроенных зданиях и сооружениях с явными признаками деформаций количество марок надлежит увеличивать, особенно насыщая ими зоны трещин.

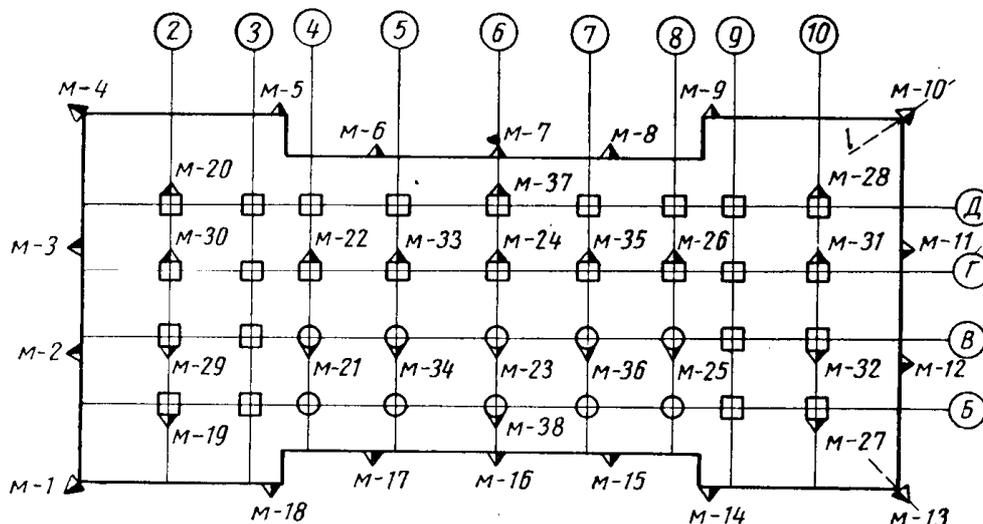


Рисунок 155 - Размещение марок на колоннах и углах здания

Размещение марок должно предусматривать свободный доступ к ним и возможность установки рейки на знаки так, чтобы всякого рода выступы не мешали держать ее отвесно. Кроме того, при закладке марок в сплошные ж/б плиты или внутренние несущие стены подвала необходимо учитывать будущее расположение дверей, дополнительных перегородок и пр., которые могут впоследствии закрыть марку.

Размещение марок на колоннах внутри здания и снаружи по его периметру приведено на рис. 155. Следует подчеркнуть, что марки на углах здания надлежит устанавливать на биссектрисах, как, например, марка М-10 на линии I-I.

Для производства нивелирования следует предусматривать установку необходимого количества связующих марок вместо переходных башмаков. Сохранности марок должно быть уделено особое внимание; всякое повреждение или неоправданная перестановка их вызывает дополнительную ошибку в последующем определении их нового положения. Вместе с тем практика показывает, что перестановки некоторой части марок все же избежать не удастся. Примеры размещения марок на консолях или уступах фундамента представлен на рис. 156; пример размещения марок на крупнопанельных зданиях – на рис. 157.

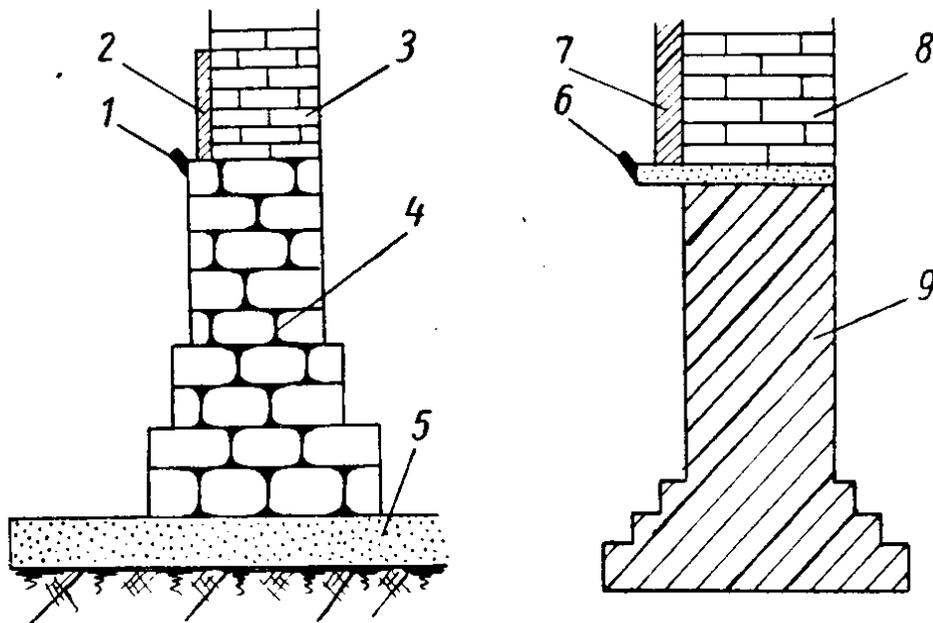


Рисунок 156 - Размещение марок на консолях или уступах фундамента:

1-марка на уступе обреза фундамента, 2-первый ряд облицовки, 3-цоколь, 4-фундамент бутовый, 5-железобетонная плита, 6-марка на консоли железобетонной плиты, 7-облицовка, 8-цоколь, 9-фундамент железобетонный.

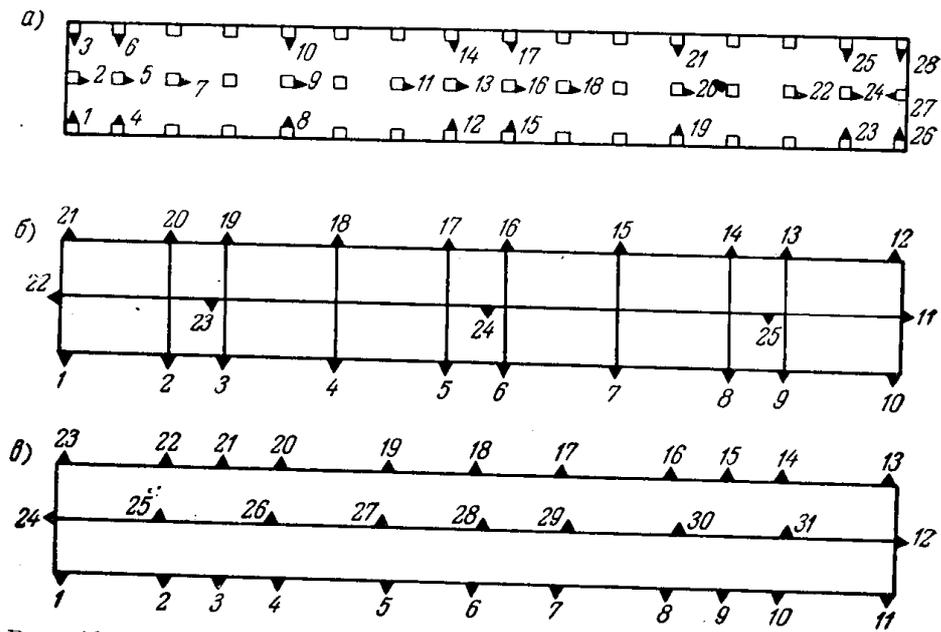


Рисунок 157 - Размещение осадочных марок на крупнопанельных зданиях: а) над каркасом; б) с поперечными несущими стенами; в) с продольными несущими стенами.

В таких случаях при перестановке стремятся к тому, чтобы все вновь установленные марки располагались либо на старых местах, либо на тех же вертикалях, над которыми находились старые марки.

1.5.5. Измерение осадок фундаментов зданий и сооружений методом нивелирования III класса

1.5.5.1. Общие сведения

Одним из распространенных методов для массовых измерений вертикальных перемещений фундаментов на сильно сжимаемых, оттаивающих и просадочных грунтах является нивелирование III класса.

Этот метод может с успехом применяться во всех случаях и для любого сооружения, если средняя скорость осадки его превышает 5 мм в месяц. При меньшей скорости осадок, которая обычно бывает в эксплуатационный период, этот метод по точности себя не оправдывает.

Измерение осадок фундаментов состоит в периодическом повторном нивелировании марок, установленных на сооружении, от исходных (практически неподвижных) реперов.

Процесс организации и измерения осадок фундаментов нивелированием III класса складывается из следующих этапов:

1. Размещение и установка знаков высотной основы.
2. Выбор геодезических инструментов.
3. Производство нивелирования III класса.
4. Упрощенные наблюдения за скоро протекающими просадками.
5. Камеральная обработка результатов нивелирования.

1.5.5.2. Размещение и установка знаков высотной основы

Для измерения осадок зданий или сооружений на их частях устанавливают осадочные марки.

В качестве марок применяют штыри или болты с полусферической головкой, отрезки из стали углового профиля или закрытые марки.

Марки закладывают в уступах фундамента или в несущих стенах, цоколях и колоннах каркаса зданий и сооружений.

В качестве исходных высотных знаков для нивелирования могут служить две группы грунтовых реперов, закладываемых в 50 - 70 м по разные стороны от

воздвигаемого сооружения. В случае невозможности установить грунтовые реперы можно обойтись двумя группами ственных реперов, закладываемых на старых зданиях (со стабилизовавшейся осадкой).

1.5.5.3. Выбор геодезических инструментов

Для измерения осадок фундаментов можно применять все типы нивелиров, обеспечивающих точность нивелирования III класса, т. е. нивелиры со зрительными трубами, имеющими 30 - 35-кратное увеличение, и с уровнями (при трубе), имеющими цену деления 12 - 15" на 2 мм дуги. Для контактных уровней цена деления может быть понижена до 30" на 2 мм дуги.

Рейки 1-, 2- и 3-метровой длины должны быть двухсторонними, шашечными (желательно с полу сантиметровыми делениями) и с уровнями. Могут также применяться штриховые рейки с двумя шкалами.

Погрешности в нанесении дециметровых штрихов и в положении пятки рейки не должны превышать $\pm 0,5$ мм.

Перед началом работ нивелир должен быть проверен, а рейки исследованы при помощи контрольного метра.

Величину угла i у нивелира определяют двойным нивелированием в первые дни работы ежедневно, при ее постоянстве это определение выполняют через 3 - 5 дней. Круглые уровни при рейках проверяют по отвесу ежедневно.

1.5.5.4. Производство нивелирования III класса

Как правило, нивелирование III класса выполняют по инструкции. Специфические особенности, отличающие нивелирование для измерения осадок фундаментов от общегосударственного нивелирования:

1. Нивелирование для измерения осадок выполняется короткими лучами при расстояниях от нивелира до рейки от 4 до 30 м; при этом инструмент устанавливают в середине так, чтобы высота визирного луча над почвой или над препятствиями была не менее 0,3 м.

2. Нивелирование можно выполнять в любое время дня и ночи. Работы следует прекращать только при сильном ветре и дожде, в жаркую погоду, порождающую конвекционные токи воздуха, и в сильный мороз (-20° и ниже).

3. В первом цикле нивелирование выполняют дважды, при этом второй (дублирующий) цикл производят немедленно вслед за первым.

Расхождения в отметках, полученных из двух таких нивелировок одноименных марок, не должны превышать 3 мм.

Как правило, нивелирование ведут замкнутыми ходами или в прямом и обратном направлениях при двух горизонтах инструмента по маркам и переходным башмакам. В качестве последних лучше применять специальные штыри или гвозди с полусферической головкой (диаметром 15 - 20 мм), забиваемые в твердое покрытие тротуаров, проездов или в швы кладки. При производстве нивелирования особое внимание должно быть обращено на устойчивость инструмента.

4. Нивелирование в каждом цикле наблюдений выполняют по одним и тем же направлениям, в связи с чем на строительной площадке фиксируются постоянные места установки инструмента.

5. Начало каждого цикла нивелирования желательно приурочивать к окончанию определенного этапа строительных работ (кладка цоколя, стен по этажам и т. п.).

6. Одновременно следят за возможными деформациями сооружений (трещины, перекосы, сдвиги и пр.), которые фотографируют или зарисовывают, и в журнале наблюдений отмечают даты их появления, величину и ход развития во времени. В нивелирных журналах отмечают давление на грунты основания, выраженное в $\text{кг}/\text{см}^2$ (или в процентах от общего веса сооружения), а также обстоятельства, которые могут дополнительно повлиять на величину осадки (колебание уровня грунтовых вод, возникновение рядом нового строительства, забивка свай и т. п.).

1.5.5.5. Упрощенные наблюдения за скоро протекающими просадками

В практике измерений может встретиться случай, когда скорость просадки фундаментов весьма велика (>5 мм/сутки), а времени на организацию наблюдений

недостаточно. Тогда могут быть рекомендованы два следующих упрощенных и быстрых способа наблюдений:

А) 1-ый способ. Выбирают и отмечают мелом хорошо выраженные точки для установки реек на базах колонн внутри здания, по периметру цоколя, на строительных уступах, порогах, оконных или дверных проемах и т. п., и производят их нивелирование по методике III класса.

Через 1 - 3 дня нивелирование повторяют и по разностям превышений первой и второй нивелировок определяют наиболее устойчивые точки фундамента, т. е. точки с минимальным значением относительной осадки. В последующих наблюдениях нивелирование производят от этих точек фундамента, как от реперов. От них вычисляют условные отметки и относительные осадки остальных точек здания или сооружения.

Б) 2-ой способ. При отсутствии указанных хорошо выраженных точек на элементах несущих конструкций относительные осадки можно определять следующим образом. С одной (выбранной для всех нивелировок) станции последовательно наводят зрительную трубу нивелира на неустойчивые части сооружения, проектируют на их вертикальные плоскости горизонтальную нить, отмечают на этих плоскостях ее положение карандашом и рядом с отметкой горизонта записывают дату. При последующих наблюдениях нивелир устанавливают на том же месте и примерно на той же высоте, а на стенах или колоннах здания снова карандашом отмечают горизонт инструмента. После этого линейкой измеряют разности между двумя отмеченными горизонтами в двух циклах наблюдений.

Наименьшую из измеренных разностей условно принимают за исходную и последовательно вычитают ее из всех других разностей. В результате получают относительное приращение осадок каждой колонны или участка стены.

1.5.5.6. Камеральная обработка результатов нивелирования

После уравнивания высотной сети (например, по способу Попова В.В.) вычисляют отметки (высоты) осадочных марок и определяют следующие характеристики:

1) величину осадки между двумя последними циклами наблюдений:

$$S_{n-1,n} = H_n - H_{n-1},$$

где n - очередной цикл наблюдений;

2) определяют суммарные осадки марки с начала наблюдений:

$$S_n = H_n - H_0;$$

3) определяют неравномерность осадок фундаментов в текущем цикле:

$$\Delta S_{1-2} = (S_2 - S_1)_n,$$

где 1,2 - номера осадочных марок;

4) определяют наклон фундаментов:

$$K_{1-2} = \frac{\Delta S_{1-2}}{l_{1-2}};$$

5) вычисляют величину относительного прогиба $2f$ вдоль оси фундамента:

$$f = \frac{2S_2 - (S_1 + S_3)}{2l},$$

где S_1, S_3 - осадки точек 1 и 3, фиксированных на краях фундамента,

S_2 - осадка точки 2, расположенной между точками 1 и 3,

l - расстояние между точками 1 и 3;

6) определяют скорость деформации:

$$V_n = \frac{S_n}{t},$$

где t - период наблюдений,

S_n - осадка некоторой марки n .

Для наглядности деформации составляют следующие графические материалы:

- ◆ профили осадок;
- ◆ план кривых равномерных осадок;
- ◆ графические осадки оснований во времени;
- ◆ графики наклона фундаментов по линии марок.

1.5.5.7. Точность геодезических наблюдений за осадками

При изучении деформаций инженерных сооружений геодезическими методами возникает необходимость определения (или назначения) точности измерений. Важность этого вопроса несомненна, т.к. от его решения зависит

выбор метода и инструментов для измерений и, в конечном счете, затраты времени и денежных средств на их производство. Однако во многих случаях точность измерения задается или принимается без достаточного обоснования. Кроме того, для наблюдений, охватывающих различные по характеру периоды, или для различных по режиму объектов одного и того же сооружения принимается одинаковая точность и соответственно методика измерений.

Хотя для всех случаев практики на сегодняшний день строгого математического решения этого вопроса дать нельзя, однако, возможно установить принципы обоснования точности. Для этого необходимо исходить из целей наблюдений.

Надлежащая точность измерений определяется в первую очередь теми задачами, которые должны быть решены на основе анализа фактических величин осадок сооружений; при этом необходимо разграничивать требуемую точность наблюдений для практических и для научно-исследовательских целей.

Применение современных отечественных приборов и целесообразной методики измерений могут обеспечить определение осадок сооружений с точностью до десятых и сотых долей миллиметра. Эта практически достижимая точность измерений в настоящее время может считаться достаточной для работ с научно-исследовательскими целями.

Точность измерения осадок сооружений для целей строительной практики в каждом отдельном случае устанавливается самостоятельно, в первую очередь в зависимости от чувствительности конструкций к неравномерным осадкам, характера залегания грунтов в основании сооружения и от конкретных условий, в которых будут проводиться измерения. Другим фактором, влияющим на установление точности измерения осадок фундаментов, является скорость осадок, определяемая кратковременностью или значительной длительностью периода предстоящих наблюдений. В первом случае определение вертикальных смещений производится с более высокой степенью точности, так как только тогда можно

будет относительно быстро и уверенно установить величину и закономерность хода осадок.

Во втором случае, при более длительных наблюдениях, требования к точности измерений могут быть несколько снижены, так как на относительно большом промежутке времени величина осадки будет более ощутимой.

Если речь идет об измерениях осадок уникальных и крупных сооружений, создающих в основаниях значительные давления, а также об измерениях для расчета скоростей осадок, тогда такие измерения выполняются с максимальной возможной точностью.

Когда необходимую точность измерений устанавливают в зависимости от неравномерности осадок, то заранее определяют предельные значения деформаций оснований зданий и сооружений по второй графе нормативной таблицы 17. Чтобы обеспечить взятое предельное значение деформации $S_{\text{пред}}$ надлежащей точностью нивелирования, следует использовать третью графу той же таблицы, где приведены предельные ошибки $\Delta_{\text{пред}}$ измерения превышений на одной станции.

Вопрос установления предельной ошибки $\Delta_{\text{пред}}$ измерений превышений на станции для каждой конкретной задачи в настоящее время недостаточно разработан. Поэтому предельные ошибки измерения превышений, помещенные автором в третьей графе таблицы, имеют эмпирический характер и представляют собой условно взятые величины - десяти процентные части соответствующих значений предельно допустимой деформации основания.

Как показал опыт, принятое количественное соотношение между двумя нормируемыми величинами практически обеспечивает точность измерения осадок ± 1 мм. Изложенный подход к установлению точности измерения превышений оправдан еще и тем, что расчет деформаций и основных несущих конструкций зданий и сооружений обычно выполняется округлением до миллиметров.

Таблица 17

Наименование нормируемых величин	Предельные деформации оснований песчаных и глинистых грунтов, $S_{пред}$	Предельные ошибки измерения превышений на одной станции, в зависимости от расстояний между марками, $\pm \Delta_{пред}$
<p>1. Разность осадок фундаментов колонн зданий:</p> <p>а) для железобетонных и стальных рамных конструкций;</p> <p>б) для крайних рядов колонн с кирпичным заполнением фахверка;</p> <p>в) для конструкций, в которых не возникает дополнительных усилий при неравномерной осадке фундаментов (I-расстояние между осями фундаментов в м)</p> <p>2. Относительный прогиб (перегиб) несущих стен многоэтажных зданий (в долях от длины изгибаемого участка стены):</p> <p>а) крупнопанельных бескаркасных;</p> <p>б) крупноблочных и кирпичных неармированных;</p> <p>в) крупноблочных и кирпичных, армированных железобетонными или армокирпичными поясами</p> <p>3. Относительный прогиб (перегиб) стен одноэтажных промышленных зданий (и им подобных)</p> <p>4. Крен сплошных или кольцевых фундаментов</p>	<p>0,002I</p> <p>0.0007 I - 0.0010 I</p> <p>0.005 I</p> <p>0.0005 - 0.0007</p> <p>0.0007- 0.0010</p> <p>0.0010 - 0.0013</p> <p>0.001</p> <p>0.004H</p>	<p>0,0002I</p> <p>0.00007 I - 0.0001 I</p> <p>0.0005 I</p> <p>0.00005 - 0.00007</p> <p>0.00007- 0.00010</p> <p>0.00010 - 0.00013</p> <p>0.0001</p> <p>0.0004H</p>

ВЫСОКИХ сооружений: дымовых труб, водонапорных башен, силосных корпусов и т. п. (H - высота в м)	жестких		
--	---------	--	--

Для равномерных осадок, если имеем $S_i = H_i - H_1$ то:

$$m_{S_i}^2 = m_{H_i}^2 + m_{H_1}^2.$$

Пусть $m_{H_i}^2 = m_{H_1}^2 = m_{H_2}^2 = \dots$, тогда $m_S = m_H \sqrt{2}$.

Пусть $S_{кр}$ - критическая осадка для сооружения, тогда

$$m_S \leq S_{кр} / 2t,$$

где t - нормированный коэффициент ($t = 2, 3, 4$).

Тогда

$$m_H \sqrt{2} \leq S_{кр} / 2t,$$

$$m_H \leq \frac{S_{кр}}{2t\sqrt{2}}.$$

Для неравномерных осадок если имеем $\Delta S = S_A - S_B$, то

$$m_{\Delta S}^2 = m_{S_A}^2 + m_{S_B}^2.$$

Пусть $m_{S_A}^2 = m_{S_B}^2 = m_{S_B}^2$, тогда $m_{\Delta S} = m_S \sqrt{2}$.

Пусть $\Delta S_{кр}$ - критическая величина неравномерной осадки, то

$$m_S \sqrt{2} \leq \frac{\Delta S_{кр}}{2t}; m_S = \frac{\Delta S}{2t\sqrt{2}}.$$

$$m_S = m_H \sqrt{2}, m_H = \frac{\Delta S_{кр}}{4t},$$

$$m_H = 0.12 \Delta S_{кр}.$$

1.5.6. Линейно-угловые построения для наблюдения за деформациями

1.5.6.1. Виды специальных сетей и особенности их построения

Линейно-угловые построения применяют для определения горизонтальных смещений сооружений или отдельных их частей, когда величины смещений необходимо знать по двум координатам.

Линейно-угловые построения для этих целей могут развиваться в виде:

- ◆ специальных сетей триангуляции и трилатерации,
- ◆ комбинированных сетей,
- ◆ угловых и линейных засечек,
- ◆ ходов полигонометрии.

Применение того или иного вида построения зависит от характера сооружения, его геометрической формы, требуемой точности и условий измерений, организационных и других факторов. Так, например, угловую или линейную засечку применяют для определения смещений недоступных точек сооружений, а триангуляцию и полигонометрию - для протяженных сооружений криволинейной формы. Во многих случаях применяют комбинированные схемы, в которых триангуляция или трилатерация используются для определения устойчивости исходных пунктов и временных координат вспомогательных точек, с которых методом засечек или полигонометрии определяются смещения точек на сооружении (пример такой схемы на рис. 159).

Применительно к измерениям деформаций каждый из видов линейно-угловых построений обладает рядом специфических особенностей. Однако для всех видов характерным является постоянство схемы измерений и необходимость получения в конечном итоге не самих координат деформационных точек, а их изменений во времени, т.е. разностей координат в m -ом и k -ом циклах.

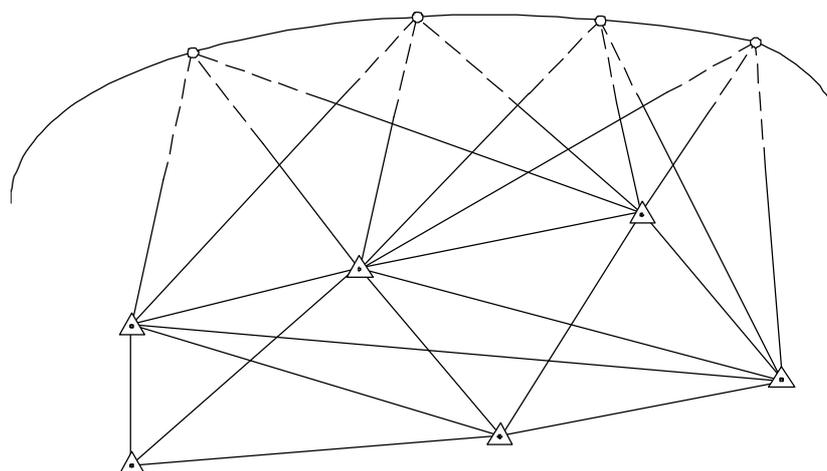


Рисунок 159- Схема определения смещения точек на сооружении методом засечек

Для специальной триангуляции характерна высокая точность измерения углов ($0.5 - 2''$) при коротких сторонах. Длины сторон сети в зависимости от протяженности сооружения и других условий могут колебаться от 0.2 до 2.0 км, связующие углы должны быть не менее 30° .

Исходя из конкретных условий, триангуляцию строят в виде геодезических четырехугольников, центральных систем и сложных сетей с большим количеством измеренных направлений между пунктами. Пример сложной схемы сети для наблюдений за смещениями бетонной и земляной плотин Цимлянского гидроузла показан на рис.160.

Для контроля масштаба сети в начальном цикле измеряют две базисные стороны. В последующих циклах, если длины базисных сторон не изменяются в известных пределах, то используют их значение из начального цикла. Допустимое относительное изменение длины базисов в этом случае может быть подсчитано по приближенной формуле:

$$\frac{m_b}{b} = \frac{m_Q}{Q_{\max}},$$

где Q_{\max} - наибольшая ожидаемая величина смещения; m_Q - соответствующая часть средней квадратической ошибки смещения.

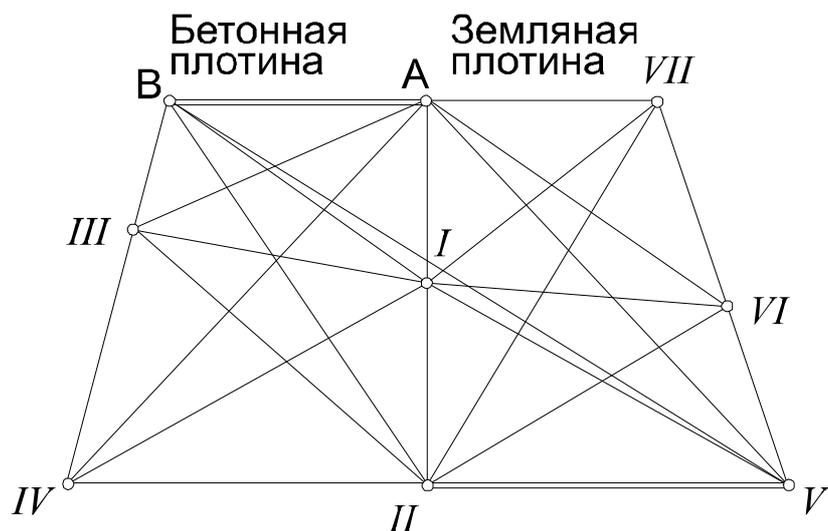


Рисунок 160 – Схема сложной сети триангуляции для наблюдений за смещениями плотины

Уравнивание специальных сетей триангуляции производится строгими способами. При сохранении схемы измерений неизменной для уменьшения вычислений уравнивание выполняют по дифференциальным формулам. Координаты пунктов вычисляют в условной системе.

Сети трилатерации, в которых измеряются только длины сторон, для определения смещений сооружений применяются сравнительно редко.

Для определения смещений сооружений могут быть использованы специальные сети из вытянутых треугольников. В этих сетях наряду с длинами сторон l_i , измеряются высоты h_i треугольников (рис. 161). Сети из вытянутых треугольников с измеренными высотами могут быть построены или вытянутыми (рис. 3) или кольцевой формы (рис. 162).

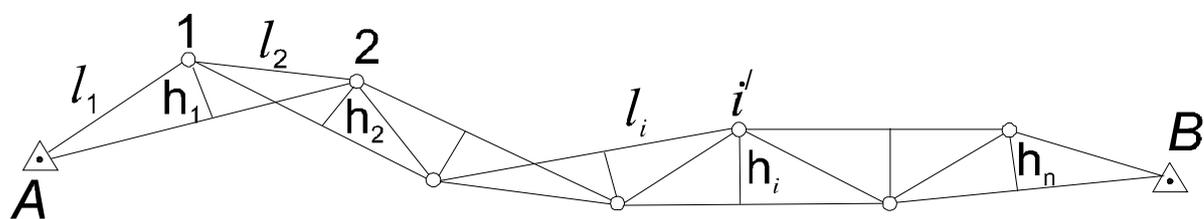


Рисунок 161 – Схема из вытянутых треугольников

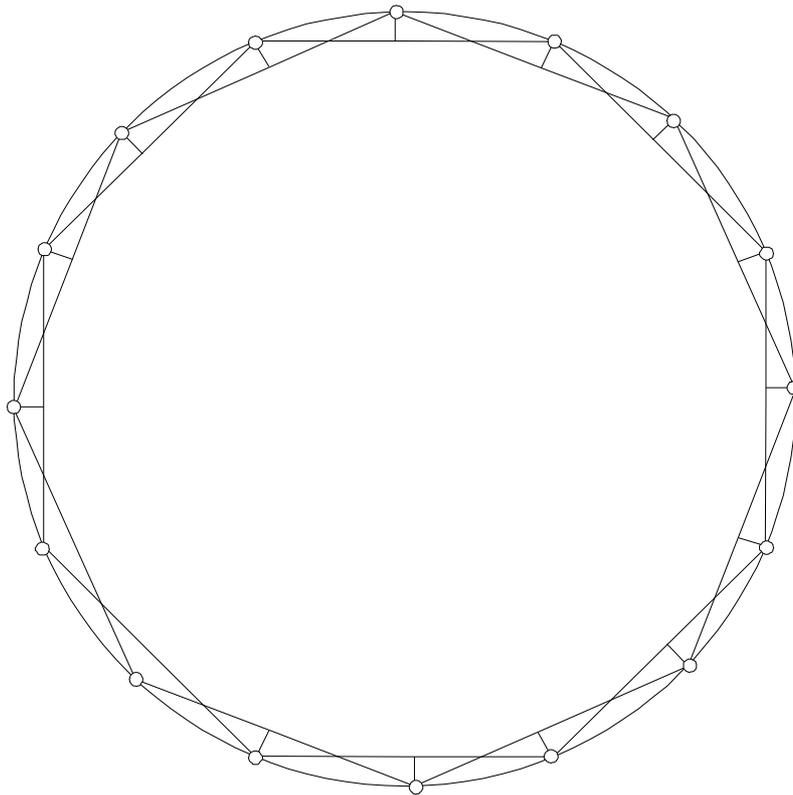


Рисунок 162 – Кольцевая сеть вытянутых треугольников

Сети первого вида (рис. 161) применяют для прямолинейных сооружений большой протяженности, второго - для сооружений кольцевой формы. Технически наиболее совершенны сети из примерно равных по форме и по размерам вытянутых треугольников. В отдельных случаях, когда смещение требуется определить по заданным направлениям, в повторных циклах можно ограничиться измерением одних лишь высот треугольников.

Полигонометрия при измерении смещений сооружений применяется в основном в виде одиночных ходов, опирающихся на твердые пункты. Особенностью ходов является невозможность в ряде случаев осуществить азимутальную привязку, т.е. измерить примычные углы на опорных пунктах. Поэтому используют лишь координатную привязку. Для упрощения измерений и вычислений длины сторон полигонометрии делают одинаковыми. В отдельных случаях, когда смещения требуется определить лишь в направлении, перпендикулярном к направлению вытянутого хода, измеряют только поворотные углы на определяемых пунктах. Длины сторон берут графически с плана или

определяют в начальном цикле приближенно и в дальнейшем считают неизменными.

1.5.6.2.Створные измерения

1.5.6.2.1.Общие сведения

Под створными измерениями понимают совокупность действий по определению положения одной или нескольких точек относительно прямой линии, задающей створ. При этом рассматриваются два случая: когда требуется зафиксировать положение точки на створе и когда требуется найти ее отклонение от створа. В практике второму случаю отдается предпочтение как более точному.

Если принять створную линию, соединяющую конечные точки створа, за ось абсцисс, то измеряемые уклонения (нестворности) промежуточных точек - суть их ординаты. Причем абсциссы створных точек всегда значительно больше их ординат.

Классифицировать створные измерения целесообразно по следующим признакам: какие элементы измеряют, в какой последовательности и с помощью каких средств.

Первый признак характеризует методы, второй - схемы, третий - способы измерений.

Створные измерения - комбинации разнотипных шагов. Шаг представляет собой частный створ, от крайних точек K и J которого одним из известных методов определяется нестворность Δi промежуточной точки i (рис.163).

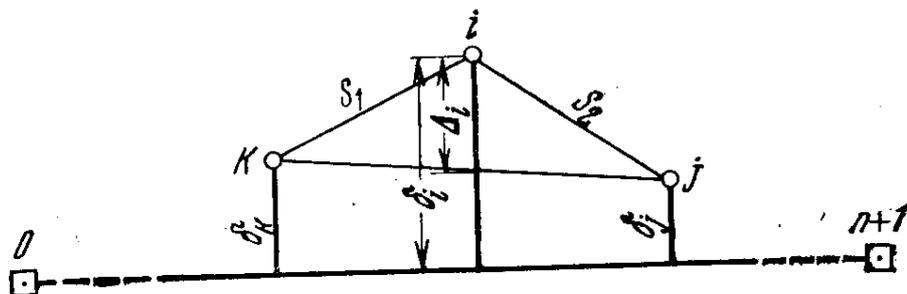


Рисунок 163 – Схема построения частного створа

Такой шаг можно описать тройкой чисел K, i, j , соответствующих номерам точек в створе. Тогда схема створных измерений может быть однозначно описана последовательностью троек чисел, определяющей связь между Δi и уклонениями $\delta_K, \delta_i, \delta_j$ от общего створа $(0, n+1)$.

Все существующие способы створных измерений можно разделить условно на две группы: первая- в основе лежит использование оптических средств и принципов физической оптики, вторая- в основе лежит использование оптико-механических средств.

1.5.6.2.2. Методы створных измерений

Метод подвижной марки. Величина нестворности измеряется с помощью подвижной марки (рис.164,а).

Для чего в точке K устанавливают алиниметр (оптический прибор, задающий прямую линию), коллимационная плоскость которого, ориентируясь по марке в точке j , задает створную линию (рис. 164).

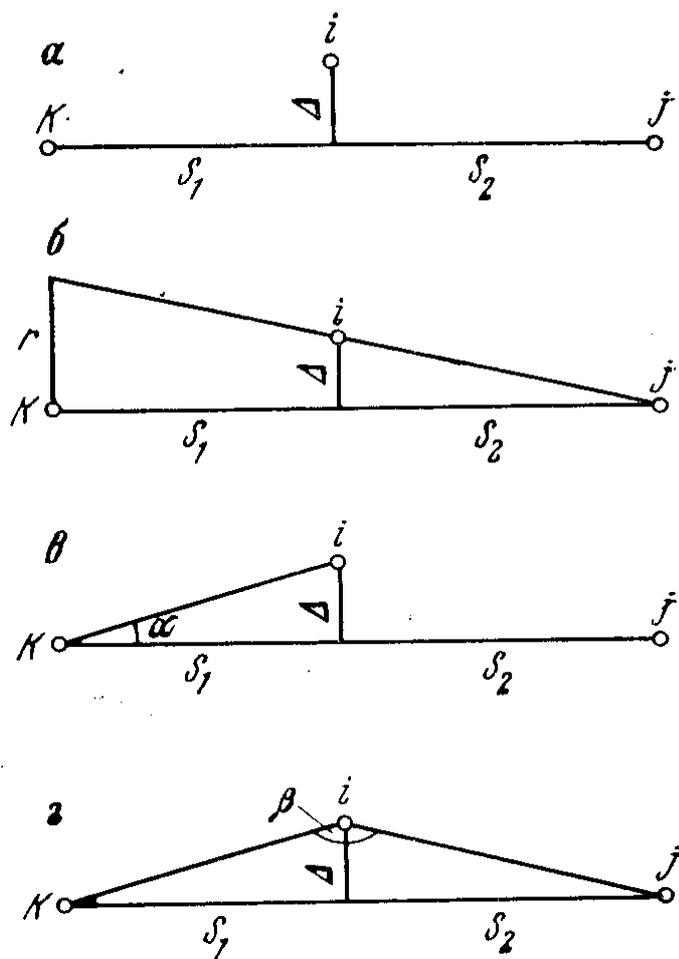


Рисунок 164 – Методы створных измерений: а) подвижной марки; б) подвижного приемника света; в) малых углов; г) полигонометрии.

Подвижная марка, установленная в определяемой точке i , вводится в створ. Положение подвижной марки, когда ось симметрии ее мишени находится в створе, фиксируется по отсчетному устройству. Одно или несколько таких введений составляют один полуприем. Второй полуприем производится по той же схеме, но при другом положении алиниометра и концевой марки. Нестворность Δ в полуприеме, в зависимости от конструкции подвижной марки и принятого правила знаков, вычисляется по формуле:

$$\Delta = (MO) - a_{cp}.$$

или

$$\Delta = a_{cp} - (MO),$$

где a_{cp} - средний отсчет по шкале марки в полуприеме;

(MO) -место нуля марки, или отсчет по ее шкале, соответствующий совпадению оси симметрии мишени с осью вращения.

Место нуля марки обычно определяют заранее. Окончательное значение нестворности вычисляют как среднее из двух полуприемов.

В полуприеме следует делать не более четырех введений марки в створ.

Метод подвижного приемника света. Нестворность Δ можно вычислить, если измерить величину r на точке K и расстояния S_1 и S_2 (рис.164,б). Величину r измеряют с помощью алиниметра, имеющего возможность перемещаться перпендикулярно к створу относительно центра знака. Вычисления производят по формуле:

$$\Delta = r \frac{S_2}{S_1 + S_2}.$$

Точность измерения расстояний S_1 и S_2 в зависимости от требуемой точности определения нестворности выражается формулой:

$$\frac{m_S}{S} = \frac{m_\Delta}{4.5 \Delta}.$$

При всех равных условиях метод подвижного приемника света несколько точнее метода подвижной марки. Однако применение его ограничено диапазоном отсчетного устройства алиниметра.

Метод малых углов. В этом методе нестворность определяют путем измерения угла α между линией створа и направлением на определяемую точку и измерения расстояния S_1 от угломерного инструмента до определяемой точки (рис.164, в).

Величину нестворности вычисляют по формуле:

$$\Delta = S_1 \cdot \operatorname{tg} \alpha ,$$

или, по малости угла α

$$\Delta = \frac{\alpha}{\rho} \cdot S_1.$$

Точность измерения расстояния S_1 в зависимости от требуемой точности определения нестворности выражается формулой:

$$\frac{m_S}{S} = \frac{m_\Delta}{3.2 \Delta}.$$

Метод полигонометрии. В этом методе измеряют угол β при определяемой промежуточной точке i и расстояний S_1 и S_2 от нее до точек K и j , задающих створ (рис.6, г). Так как угол незначительно отличается от 180° , то с ошибкой, не превышающей 0.0001, нестворность Δ вычисляют по формуле:

$$\Delta = \frac{S_1 \cdot S_2 (180^\circ - \beta)}{(S_1 + S_2) \rho}.$$

Точность измерения расстояний S_1 и S_2 , в зависимости от требуемой точности определения нестворности, выражается формулой:

$$\frac{m_S}{S} = \frac{m_\Delta}{5.5 \Delta}.$$

При всех равных условиях метод полигонометрии точнее метода малых углов, особенно для точек, расположенных в середине створа. Однако для достижения необходимой точности определения угла требуются более сложные методика и средства измерения.

1.5.6.2.3.Схемы створных измерений

В практике створных измерений обычно определяют нестворности целого ряда точек на одном створе. В зависимости от условий и применяемых средств последовательность их определений может быть различной. Эта последовательность реализуется в виде схемы. Известны четыре основные схемы створных измерений:

- ◆ полного створа;
- ◆ частей створа;
- ◆ последовательных створов;
- ◆ частных створов.

В дальнейшем применим следующую нумерацию точек.

Точки створа занумерованы слева на право от 0 до $n+1$ (включая крайние точки). В тройке (K, i, j) , описывающей шаг створных измерений, в схеме на первом месте стоит номер точки стояния инструмента, на втором - номер определяемой точки, на третьем- номер точки визирования. Так как определяемая точка почти всегда расположена между точками стояния инструмента и визирования, то либо $K < i < j$ (возрастающая тройка), либо $K > i > j$ (убывающая тройка). С помощью последовательности таких троек выполним описание указанных выше схем створных измерений.

а) В схеме полного створа (рис.165,а) нестворности точек с 1 по n измеряют от створа $(0, n+1)$. Для этой схемы последовательность троек чисел будет иметь вид $(0, i, n+1)$, $i=1, 2, \dots, n$.

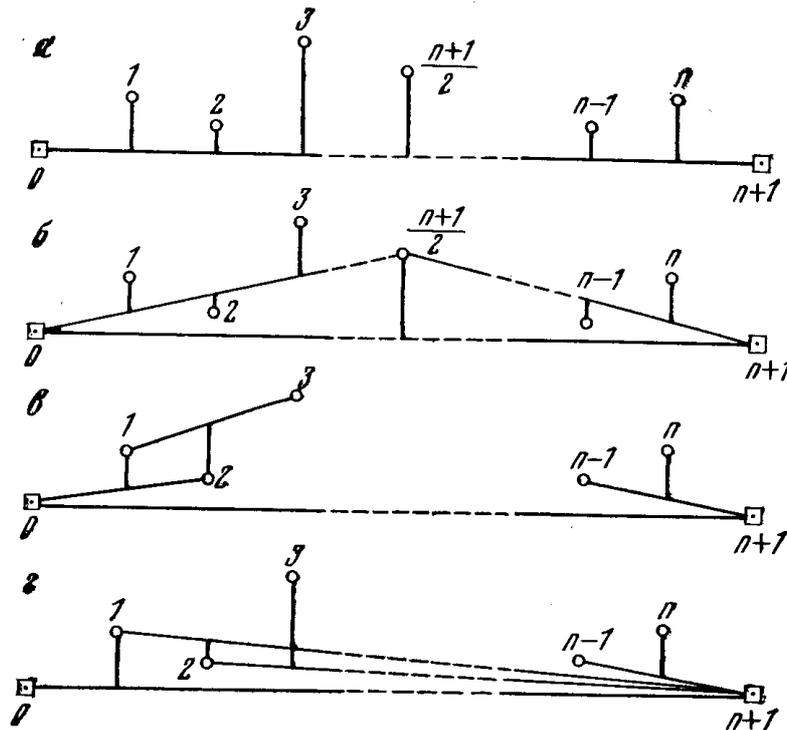


Рисунок 165 – Схемы створных измерений:

- а) полного створа; б) частей створа; в) частных створов;
- г) последовательных створов.

б) Схема частей створа предусматривает его деление на несколько частей. Нестворности точек, делящих створ на части определяют от створа $(0,$

$n+1$). Затем между ними по схеме полного створа определяют нестворности остальных точек. Так, например, для схемы полустворов (рис.165,б), где от основного створа определяется нестворность средней точки с номером

$S = \frac{n+1}{2}$, получим следующую последовательность:

$$(0, S, n+1)(0, i, S), i = 1, 2, \dots, (S-1);$$

$$(S, i, n+1), i = 1, 2, \dots, n.$$

в) В схеме частных створов (рис.165,в) створ делится на $(n+1)$ частей и в обычном случае нестворность точки 1 определяется от створа $(0,2)$, отклонение точки 2 - от створа $(1,3)$ и т.д. Для этой схемы будем иметь:

$$(i-1, i, n+1), i = 1, 2, \dots, n.$$

г) Схема последовательных створов (рис. 165, г) предусматривает определение нестворности точки 1 от створа $(0, n+1)$, нестворности точки 2 от створа $(1, n+1)$ и т.д. Для этой схемы получим:

$$(i-1, i, n+1), i = 1, 2, \dots, n.$$

В схемах частных и последовательных створов определение двух точек и более на частном створе дает возможность получения избыточных данных. Из исследований выявлено, что наличие более трех точек на частном створе не приводит к заметному увеличению точности результатов измерения.

Существуют и другие схемы створных наблюдений, однако они все являются той или иной комбинацией рассмотренных выше схем.

Независимо от того, какие элементы измерялись в схеме, конечной задачей является определение уклонов точек от основного створа $(0, n+1)$. В настоящее время для обработки результатов измерений повсеместно применяют ЭВМ.

1.5.6.2.4.Общая теория створных измерений

Для всех схем створных измерений характерны закономерности, заложенные в шаге. Уравнение, связывающее геометрические элементы шага (рис.162), имеет вид:

$$\delta_i + q_K \delta_K + q_j \delta_j - \Delta_i = 0, \quad (A)$$

если выполнены только необходимые измерения для определения всех уклонов δ , и

$$\delta_i + q_K \delta_K + q_j \delta_j - \Delta_i = v_i, \quad (B)$$

если есть избыточные данные.

В этих формулах:

$$q^K = -\frac{z^{K_i} + z^{\Delta}}{z^{\Delta}}; q^i = -\frac{z^{K_i} + z^{\Delta}}{z^{K_i}},$$

а индексы K, i, j являются номерами точек основного створа, входящими в i -ый шаг. Знак при Δ_i определяется по правилу: если тройка (K, i, j) возрастающая, то плюс при направлении введения точки i в створ (K, j) по часовой стрелке, если тройка убывающая, то наоборот.

В пределах ошибок измерений величина Δ_i одинакова для всех методов, поэтому формулы (A) и (B) справедливы для любого шага створных наблюдений. Измеренная нестворность Δ_i связана с уклонами δ_K, δ_i и δ_j линейным уравнением, в котором не более трех неизвестных. Уклоны δ всех точек створа определяется из решения системы уравнений вида:

$$\left. \begin{array}{l} \delta_1 + q_{K_1} \delta_{K_1} + q_{j_1} \delta_{j_1} - \Delta_1 = 0 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \delta_i + q_{K_i} \delta_{K_i} + q_{j_i} \delta_{j_i} - \Delta_i = 0 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \delta_n + q_{K_n} \delta_{K_n} + q_{j_n} \delta_{j_n} - \Delta_n = 0 \end{array} \right\}. \quad (B)$$

В каждой схеме q_K и q_j принимают определенные числовые значения.

Так, в схеме полного створа q_K и q_j равны нулю, тогда все определяемые величины δ равны измеренным Δ .

Для схемы частных створов система (В) принимает вид:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 - \delta_2 \frac{S_{0,1}}{S_{0,2}} - \Delta_1 &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ \delta_i - \delta_{i-1} \frac{S_{i,i+1}}{S_{i-1,i+1}} - \delta_{i+1} \frac{S_{i-1,i}}{S_{i-1,i+1}} - \Delta_i &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ \delta_n - \delta_{n-1} \frac{S_{n,n+1}}{S_{n-1,n+1}} - \Delta_n &= 0 \end{aligned} \right\}$$

а для схемы последовательных створов:

$$\left. \begin{aligned} \delta_1 - \Delta_1 &= 0 \\ \delta_2 - \delta_1 \frac{S_{2,n+1}}{S_{1,n+1}} - \Delta_2 &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ \delta_i - \delta_{i-1} \frac{S_{i,n+1}}{S_{i-1,n+1}} - \Delta_i &= 0 \\ \dots\dots\dots \\ \delta_n - \delta_{n-1} \frac{S_{n,n+1}}{S_{n-1,n+1}} - \Delta_n &= 0 \end{aligned} \right\}$$

Из уравнений (В) следует, что искомые отклонения δ являются линейными функциями измеренных Δ . Для определения этой зависимости в общем виде решим систему уравнений (В) по правилу Крамера:

$$\delta_i = \frac{D_{\delta_i}}{D}$$

где D - определитель системы, D_{δ_i} - определитель при неизвестном,

равный: $D_{\delta_i} = (-1)^{i+1} \Delta_1 A_{1i} + (-1)^{i+2} \Delta_2 A_{2i} + \dots + (-1)^{i+n} \Delta_n A_{ni}$;

A_{mi} -алгебраическое дополнение элементов q , не зависящих от Δ , следовательно

$$\delta_i = \sum_{m=1}^n \frac{(-1)^{m+i} A_{mi}}{D} \Delta_m. \quad (\Gamma)$$

Полученная формула (Г) дает выражение отклонений от общего створа через измеренные расстояния и отклонения от частных створов для любой схемы, в том числе и с избыточными данными. Для последних с использованием (Б) составляется система уравнений, которая нормализуется умножением матрицы системы на транспонированную.

На практике расстояния между точками створа стараются делать равными.

1.5.7. Автоматизация наблюдений за деформациями зданий и сооружений

Необходимо отметить следующие условия, ограничивающие применение общепринятых в практике геодезических методов и приборов:

- ◆ высокие требования к точности деформационных измерений,
- ◆ ограниченное время на их производство,
- ◆ необходимость быстрого получения окончательных результатов,
- ◆ стесненные условия работы.

Это обуславливают применение средств частичной или полной автоматизации.

Автоматизация измерений позволяет проводить их дистанционно, оперативно, непрерывно; централизовать поступающую информацию; эффективно использовать ЭВМ и т.д. В отдельных случаях из-за ряда причин (радиоактивное излучение, токсичность среды, температурный режим, механические помехи и т.д.) измерения возможны лишь с помощью автоматизированных средств.

Основой автоматического контроля деформаций отдельных элементов и всего сооружения в целом являются различного рода датчики,

преобразующие механические перемещения в электрические сигналы, а также аппаратура для сбора, обработки и хранения информации, поступающей от датчиков. Первичные преобразователи - датчики должны удовлетворять следующим требованиям:

1) сокращение до минимума сроков измерений с тем, чтобы полученные данные могли быть с достаточным приближением отнесены к единым физическим условиям, имеющим место на данный момент;

2) обеспечение возможности передачи полезного сигнала, выдаваемого датчиком, на требуемое расстояние к коммутатору без существенных потерь (дистанционные измерения);

3) обеспечение необходимой точности измерения;

4) сохранение стабильности параметров датчиков во времени.

Применяемые в геодезической практике датчики можно разделить на четыре группы:

-датчики измерения наклонов;

-датчики, определяющие изменение уровня жидкости в сообщающихся сосудах;

-датчики, определяющие изменение длины;

-датчики, используемые в створных измерениях.

1.5.8. Особенности наблюдений за деформациями высотных зданий и сооружений

Возводимые высотные здания и сооружения различаются по значению и конструкции. С точки зрения организации наблюдений за деформациями наибольший интерес представляют их конструктивные особенности.

По конструктивным признакам различают высотные сооружения ступенчатого, коробчатого и башенного типа. К первым относятся высотные здания МГУ, на Лермонтовской площади и др., построенные в Москве в пятидесятых годах. Вторые - это современные высотные здания, например,

здание СЭВ, гостиница "Националь" и др. В числе третьих - телевизионные башни, дымовые трубы, градирни ТЭЦ, радиорелейные мачты и т. д.

Почти для всех высотных сооружений за счет значительной высоты характерно сосредоточение огромной нагрузки (иногда в несколько десятков тысяч тонн) на сравнительно небольшой площади. Отсюда большая нагрузка на фундамент и основание, вызывающая осадку сооружения. Неравномерность осадки приводит к нарушению вертикальности (крену), прогибам отдельных элементов сооружения и трещинам. Эти деформации, присущие всем типам высотных сооружений, возрастают с ростом нагрузки в строительный период и постепенно, по мере уплотнения грунтов, стабилизируются в период эксплуатации.

Сооружения же башенного и частично ступенчатого типа под воздействием температурных факторов и переменной ветровой нагрузки еще и изгибаются, совершая колебательные движения. Деформации этого вида принято называть динамическими.

Наблюдения за осадками производят в основном методом высокоточного геометрического нивелирования по осадочным маркам, закрепленным непосредственно на исследуемой части сооружений. Осадочные марки размещают на фундаменте или на стенах сооружения по обе стороны осадочных швов и линий, разграничивающих разные нагрузки на основание, по осям симметрии сооружения, в местах сопряжения продольных и поперечных стен и в других местах. Проект размещения марок увязывают с конструкцией сооружения и с геологическими данными о грунтах основания. Кроме того, расположение марок должно обеспечивать их длительную сохранность и удобный подход с инструментом при измерениях. Опыт показал, что осадка высотных сооружений вызывает осадку и соседних зданий. Для определения зоны деформаций часть марок размещают на стенах соседних зданий. Если же высотное сооружение строится на отдельной площадке, то зона распространения деформаций определяется нивелированием располагаемых вблизи него грунтовых реперов.

Исходными служат один или несколько кустов фундаментальных реперов, закрепляемых вне зоны распространения деформаций. Каждый куст содержит не менее трех реперов.

Требуемая точность измерения осадок, зависящая от целей исследований, задается проектировщиками. Для большинства практических случаев средняя квадратическая ошибка определения осадки характеризуется величиной в 1 мм.

Для измерения осадок применяют также переносные и стационарные гидростатические системы. В этом случае абсолютные величины осадок определяются путем периодической привязки нескольких точек гидростатической системы к исходным фундаментальным реперам.

Для определения осадки верхней части сооружения могут быть применены метод тригонометрического нивелирования или метод непосредственного измерения высот контрольных точек над опорными с помощью рулетки большой длины.

По результатам измерений, выполненных не менее чем в двух циклах, вычисляются абсолютная величина и скорость осадки каждой марки, средняя осадка для всего сооружения, крены и прогибы его отдельных частей.

Крен верхней части сооружений башенного типа может быть определен различными способами, наиболее распространенными из которых являются: способ координат, способ углов, трех створных наблюдений и вертикального проектирования. Общим для этих способов является необходимость заложения двух или нескольких опорных точек, расположенных от сооружения на расстоянии не менее двух-трех его высот. В первых двух способах с помощью теодолита измеряются горизонтальные углы на хорошо заметные или специально закрепленные на верху сооружения контрольные точки. Во вторых двух способах при двух положениях круга теодолита проектируют контрольные точки на некоторую плоскость в низу сооружения (цоколь, рейку).

Перспективным является **фотограмметрический способ** определения крена.

При ограниченных подходах к сооружению могут быть применены способы, предложенные В. Я. Раинкиным и А. М. Зеленским.

Сущность **способа В. Я. Раинкина** состоит в том, что с одного опорного пункта измеряются горизонтальные и вертикальные углы на марки, закрепленные на различной высоте сооружения. Опорный пункт закладывается на минимальном по возможности расстоянии от сооружения с тем, чтобы для увеличения точности измерений углы наклона направлений были как можно больше. По соответствующим формулам вычисляются координаты контрольных марок, а по разностям координат, определенным в двух циклах измерений, - величины смещения марок, характеризующие крен.

В способе А.М. Зеленского крен определяется путем периодического измерения малых зенитных расстояний с двух диаметрально противоположных станций при постоянном расстоянии от теодолита до сооружения. Последнее обеспечивается применением трегера с опорным штырем и закреплением на сооружении марок-упоров. Точность определения крена зависит от высоты сооружения и для всех способов в среднем характеризуется величиной порядка 10".

Для сооружений ступенчатого типа понятие о крене является достаточно условным. В этом случае определяют величину крена каждой отдельной грани сооружения путем координирования контрольных марок, закрепленных по углам граней, с точек полигонометрического хода.

Для определения крена применяют также специальные клинометры, микрокренометры и электротензометры, устанавливаемые на исследуемой части сооружения.

Изучение деформаций динамического характера рассмотрим на примере Останкинской телевизионной башни высотой 533 м. Башня состоит из железобетонного ствола 1 и стальной антенны 2 (рис. 166). Ствол, состоящий, из нижнего опорного конуса А, конусообразной средней части Б

и цилиндрической верхней части В, имеет 10 опор, через которые нагрузка передается на фундамент. Антенна имеет телескопический контур и состоит из отдельных цилиндрических труб переменного диаметра. Масса башни 55 тыс. т.

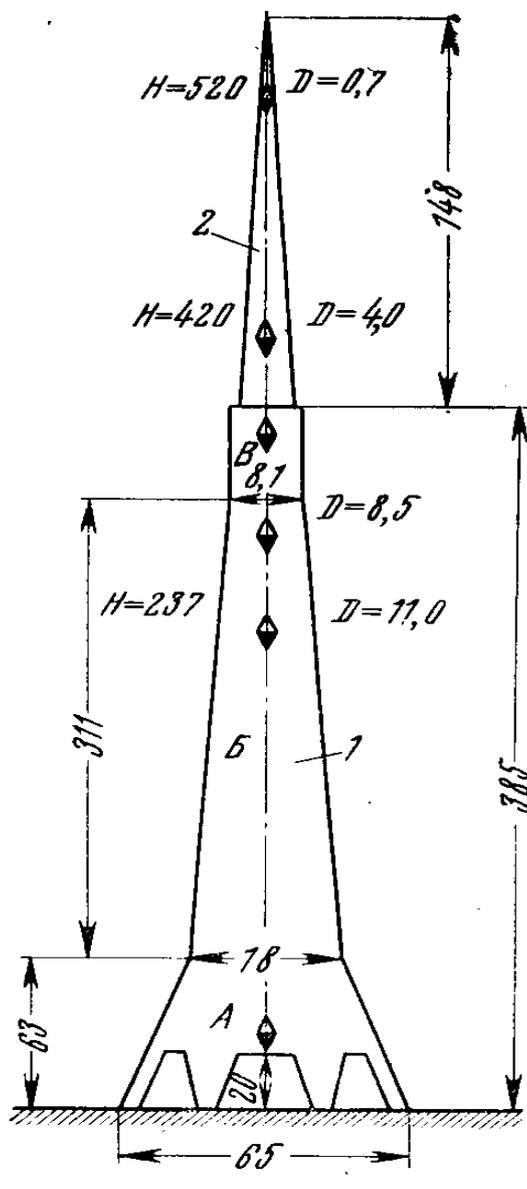


Рисунок 166 – Останкинская телевизионная башня

Под действием ветровой нагрузки происходит отклонение (изгиб) башни от вертикали по кривой, близкой к квадратной параболе. Поскольку направление и сила ветра постоянно меняются, то башня колеблется с некоторой амплитудой и частотой, зависящей от высоты определяемой точки и скорости ветра.

Вследствие воздействия прямых солнечных лучей или рассеянной солнечной радиации происходит неравномерный нагрев башни. Возникает разность температур нагретой и не нагретой сторон, что ведет к изгибу ствола башни в сторону, противоположную нагреву. Температура ствола башни и, как следствие, величина изгиба зависят от азимута и высоты Солнца.

Таким образом, задача геодезических наблюдений практически сводится к определению амплитуды колебаний башни относительно вертикали для точек, расположенных на различной высоте, и выявлению зависимости этих колебаний от внешних условий.

Наблюдения на ОСТАНКИНСКОЙ башне были организованы следующим образом. С двух опорных пунктов, закрепленных на взаимно перпендикулярных осях на расстоянии 300 м и 600 м от центра башни, одновременно измерялись горизонтальные углы на марки, установленные на высотах 20, 237, 300, 385, 420 и 520 м (см. рис. 1). Марка на высоте 20 м считалась исходной. Измерения велись теодолитом. Theo-010 с накладным уровнем при двух положениях круга. В измеренные направления вводились поправки за наклон оси вращения инструмента и за асимметрию положения марок относительно геометрической оси сооружения. По данным угловых измерений вычислялись линейные смещения по каждой оси и полная величина смещения для всех наблюдаемых высот.

Точность наблюдений зависит в основном от ошибки наведения на колеблющиеся цели. По этому поводу были выполнены специальные исследования, результаты которых позволяют считать, что средняя квадратическая ошибка определения смещения составляет 15 мм.

Схема измерений была одинаковой как для изучения влияния ветра, так и для теплового воздействия. Менялись лишь погодные условия и программа измерений во времени.

Полученные результаты имеют большой практический и научный интерес и свидетельствуют о том, что для имевших место в течение ряда лет

внешних условий максимальные отклонения оси башни от вертикали на высоте 530 м находятся в пределах 2,5 м.

В настоящее время процесс наблюдений за колебаниями Останкинской телебашни автоматизирован с помощью специальной оптико-электронной системы.

2. ЛИНЕЙНЫЕ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

2.1. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

2.1.1. Полевое трассирование

2.1.1.1. Выносение проекта трассы в натуру

Вынос в натуру трассы выполняется по данным привязки углов поворота трассы к пунктам геодезической основы или ближайшим четким контурам. Данные для привязки получают графическим путем с топографической карты.

После выноса в натуру положения соседних углов поворота трассы, в створе устанавливают ряд вех, обследуют вынесенное направление (особенно переходы через овраги, пересечение автомагистралей и т.п.). При этом угол поворота и провешенную линию можно несколько смещать для обеспечения уменьшения объемов земляных работ. Окончательные вершины закрепляют на местности. При выносе трассы на местность может возникнуть ситуация, когда нет прямой видимости между двумя углами поворота, тогда для измерения углов можно применять следующие методики:

1) направление трассы получить от направления на пункт геодезического обоснования;

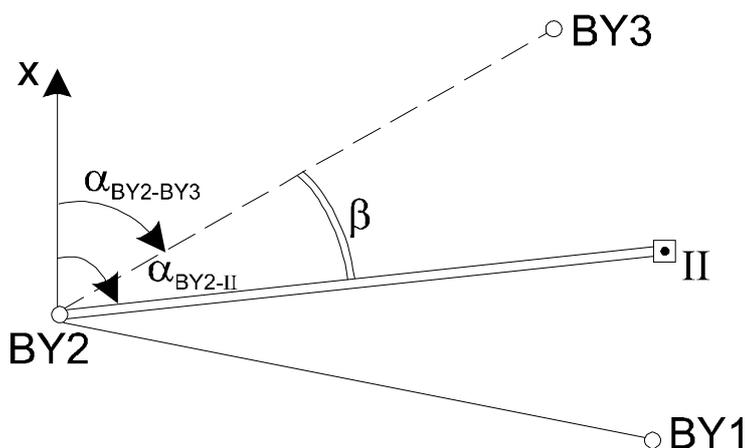


Рисунок 167- Разбивка трассы от направления на пункт геодезического обоснования

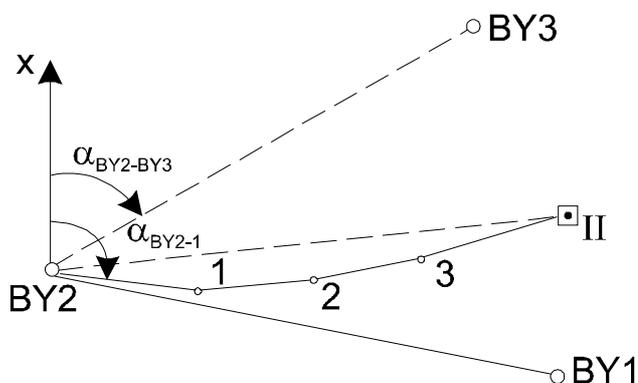


Рисунок 168 - Разбивка трассы от стороны теодолитного хода: 1, 2, 3 – точки теодолитного хода; II – точка полигонометрического хода.

2) направление трассы получить от стороны хода, проложенного между точками углов поворота и пунктом геодезической основы;

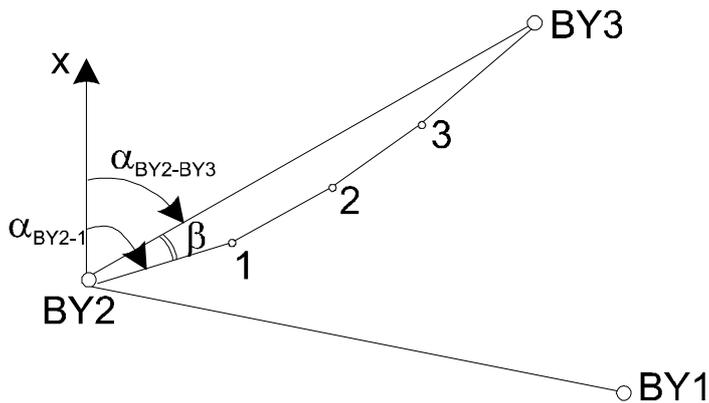


Рисунок 169 - Разбивка трассы от стороны теодолитного хода

3) от стороны хода, проложенного между соседними углами поворота трассы: Координаты точек, необходимые для вычислений, снимают графически с плана.

4) По точке C, приблизительно намеченной в створе соседних вершин поворота:

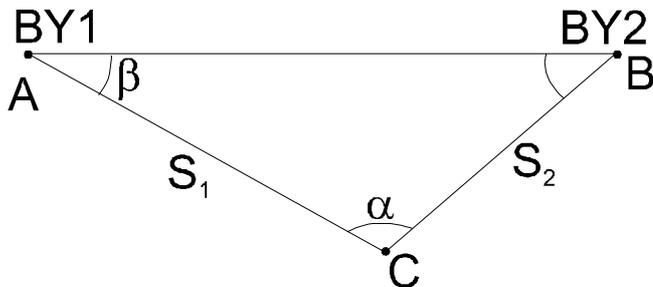


Рисунок 170 - Разбивка трассы от линии створа

Измеряют α , S_1 , S_2 . Затем вычисляют угол β , отложив который от направления AC определяют положение створа AB:

$$S_1 / \sin(\beta + \alpha) = S_2 / \sin \beta,$$

$$\sin \beta = S_2 \sin(\beta + \alpha) / S_1,$$

$$\sin \beta = \frac{S_2}{S_1} (\sin \beta \cos \alpha + \cos \beta \sin \alpha),$$

$$I = \frac{S_2}{S_1} (\cos \alpha + \operatorname{ctg} \beta \sin \alpha),$$

$$\operatorname{ctg} \beta = \frac{I - \frac{S_2}{S_1} \cos \alpha}{\frac{S_2}{S_1} \sin \alpha} = \frac{S_1}{S_2 \sin \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha.$$

Определив направление трассы между углами поворота, устанавливают дополнительные створные точки и производят по трассе угловые и линейные измерения, нивелируют трассу по пикетажу.

2.1.1.2. Угловые и линейные измерения

При трассировании измеряют правые по ходу углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$, а углы

поворота трассы вычисляют по формулам:

$$\theta_{\text{п}} = 180^\circ - \beta_2,$$

$$\theta_{\text{л}} = \beta_3 - 180^\circ$$

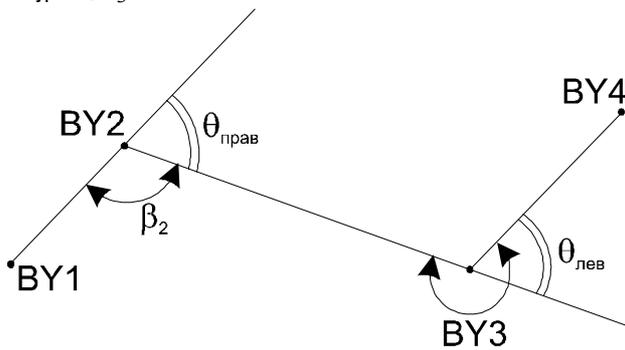


Рисунок 171 - Схема измерения углов для определения углов поворота

При трассировании выполняют два вида линейных измерений:

- расстояния между углами вершин поворота и створными точками измеряют чаще всего светодальномером и используют для вычисления координат углов поворота трассы;
- расстояния, необходимые для разбивки пикетажа, круговых кривых, для поперечных профилей и т.д. выполняют рулеткой или металлической измерительной лентой.

2.1.1.3. Разбивка пикетажа

Измерение длин совмещают с разбивкой пикетажа (отрезков по 100 м). В 100 м вводят поправку за наклон:

$$L = 100 + \Delta S,$$

$$\Delta S = 2 \sin^2 \frac{V}{2} \text{ при } V > 2 \text{ градусов.}$$

Одновременно с разбивкой пикетажа по оси трассы фиксируют характерные точки рельефа и точки ситуаций. Расстояния до этих точек измеряют от предыдущего пикета (рис. 172).

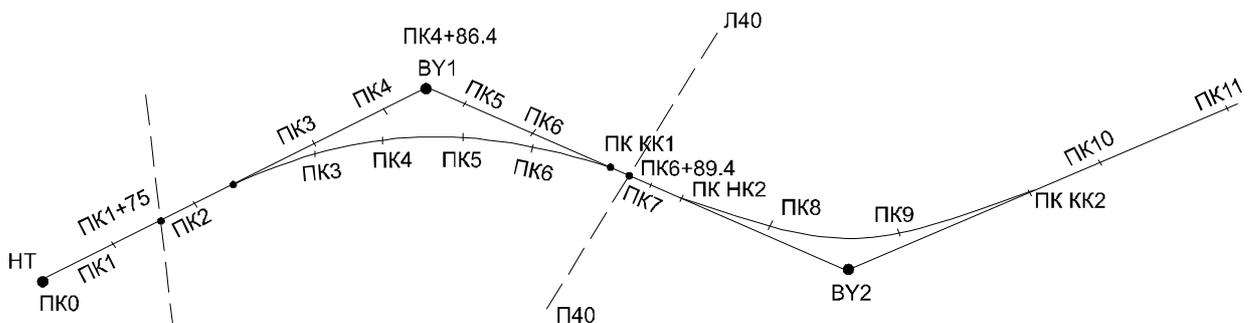


Рисунок 172 – План разбивки трассы

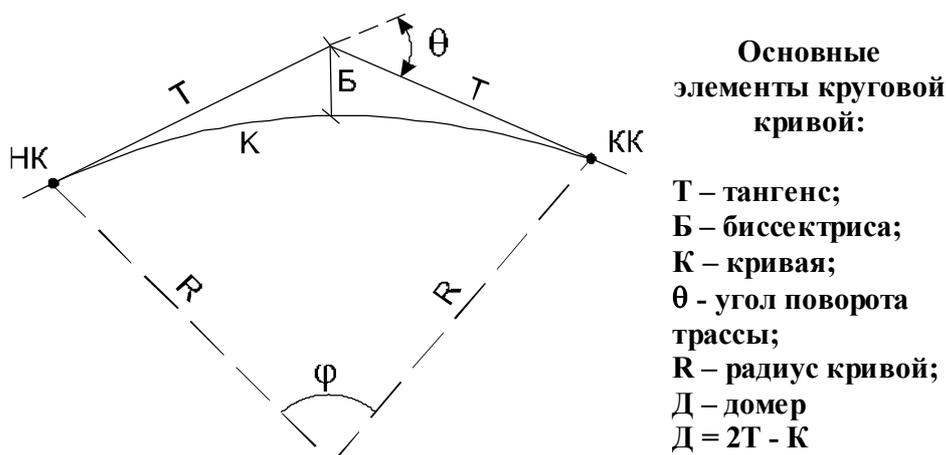


Рисунок 173 – Основные элементы кривой

При подходе к углам поворота производят вставку кривой и пикетаж считают по кривой (длина трассы определяется по прямым вставкам и кривым).

Радиус кривой задается в проекте и зависит от категории дороги, а также от угла поворота трассы. Угол поворота трассы снимают с плана и определяют из таблиц⁵ элементы круговой кривой: Т, К, Д, Б (рис. 173).

Пикетаж начала и конца кривой вычисляют по формулам:

$$ПКНК = ПКВУ - T; \quad ПККК = ПКНК + K; \quad ПКСК = ПКНК + K/2.$$

Контроль: $ПККК = ПКВУ + T - Д$.

При разбивке пикетажа ведут пикетажный журнал, в котором показывают ось трассы в виде прямой линии, на которую наносят в масштабе все пикетажные и плюсовые точки, границы препятствий и ситуацию.

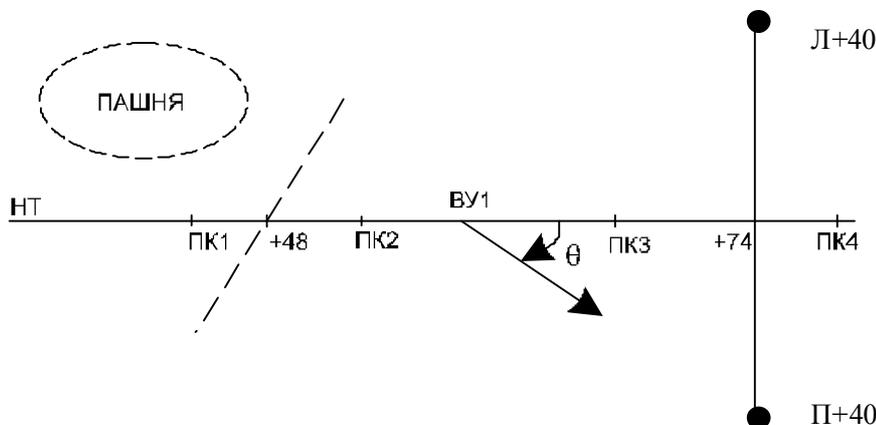


Рисунок 174 – Фрагмент пикетажного журнала

Запись ведется снизу вверх, чтобы левая и правая стороны страницы соответствовали левой и правой стороне трассы. Углы поворота показывают в виде стрелок, подписывают пикетаж начала и конца круговых кривых, записывают элементы круговых кривых (рис. 174).

2.1.1.4. Разбивка поперечников

Для представления о рельефе вдоль трассы по ее ширине на косогорных участках разбивают поперечники, т.е. по обе стороны трассы на расстоянии 15 -20 м (в зависимости от характера склона и типа трассы) определяют отметки и строят поперечные профили. Поперечники назначают на таком расстоянии друг от друга,

⁵ Ганьшин В.Н., Хренов П.С. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых.

чтобы местность между ними имела однообразный уклон. Если уклон больше 11° , то поперечники разбивают на всех пикетажных и плюсовых точках.

2.1.1.5. Переходные кривые

Переходные кривые строят в том случае, если $R < 2000$ м. При переходе автомобиля с прямолинейного участка на криволинейный и обратно возникает мгновенное изменение центробежной силы от 0 до F :

$$F = \frac{PV^2}{gR};$$

где V - скорость движения,
 P - вес автомобиля,
 g - ускорение силы тяжести,
 R - радиус круговой кривой.

При большой скорости движения, малом радиусе, большой массе автомобиля получают значительный удар колес автомобиля о дорожное покрытие. Чтобы избежать этих явлений на дорогах устраивают переходные кривые, имеющие переменный радиус кривизны от ∞ на прямолинейном участке до R на криволинейном участке. В результате удар заменяется последовательным увеличением давления колес на дорожное покрытие.

Переходные кривые (длиной l) строят наполовину за счет круговой кривой и половину за счет прямого участка. В результате, кривая удлиняется за счет переходных кривых, угол φ на участке кривой уменьшается на величину $2 * \varphi_l$,

$$\text{где } \varphi_l = \frac{90l}{\pi R}.$$

Устройство переходных кривых возможно только в том случае, когда $\varphi > 2\pi l$. В этом случае между концом и началом переходной кривой будет располагаться участок круговой кривой. При равенстве этих элементов конец переходной кривой будет началом второй переходной кривой. Перекрытие между собой этих переходных кривых недопустимо.

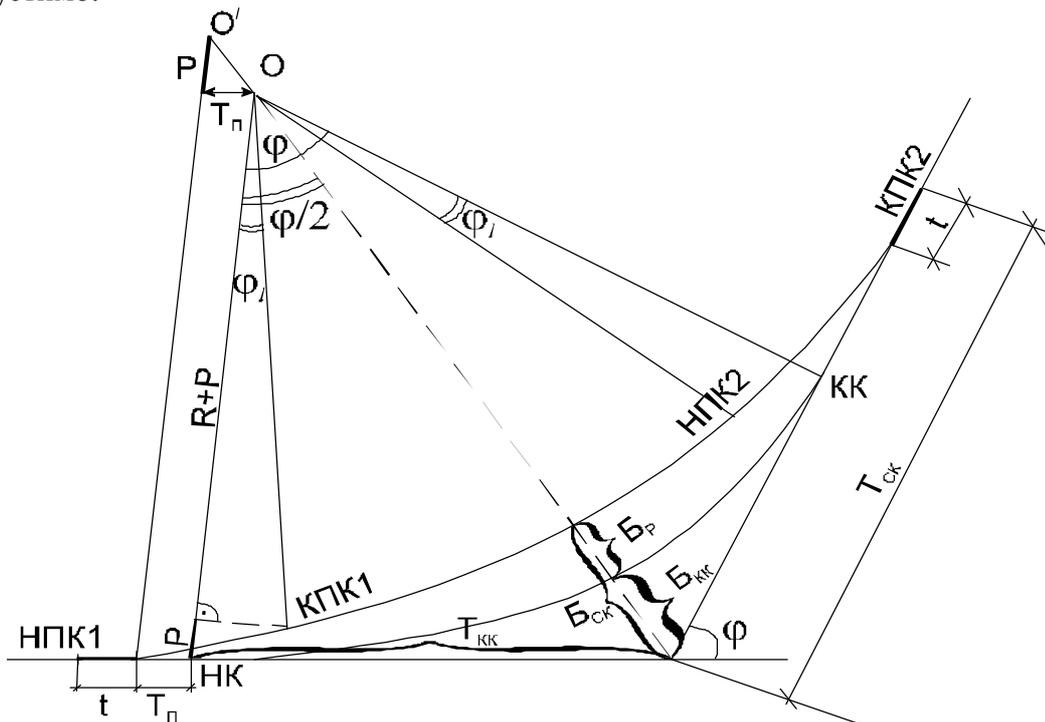


Рисунок 175 - Схема круговой кривой с переходными кривыми:

L – длина переходной кривой (ПК); t (или m) – приращение тангенса T при устройстве ПК; p – величина сдвижки круговой кривой (КК) при устройстве ПК; T_p – приращение тангенса КК, вызванное сдвижкой p ; B_p – приращение биссектрисы, вызываемой сдвижкой p .

Между радиусом круговой кривой R и длиной переходной кривой l существует зависимость, представленная в табл. 18.

Таблица 18

R	30	50	60	80	100	150	200	250	300	400	500	600-2000
l	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110	120

Чтобы рассчитать элементы смещения кривой необходимо уменьшить радиус круговой кривой на величину сдвижки P , но как правило, радиус не уменьшают, а сдвигают центр круговой кривой на величину B_p (рис. 176). Элементы переходной кривой берут из таблиц⁶ или вычисляют по формулам:

$$T_{ск} = T_{кк} + \Delta T,$$

$$\Delta T = t + T_p,$$

$$T_p = P * \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2},$$

$$t \approx l / 2,$$

$$P = \frac{l^2}{24R},$$

$$B_p = p \cdot \operatorname{sec} \frac{\varphi}{2}.$$

⁶ Ганьшин В.Н., Хренов П.С. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых

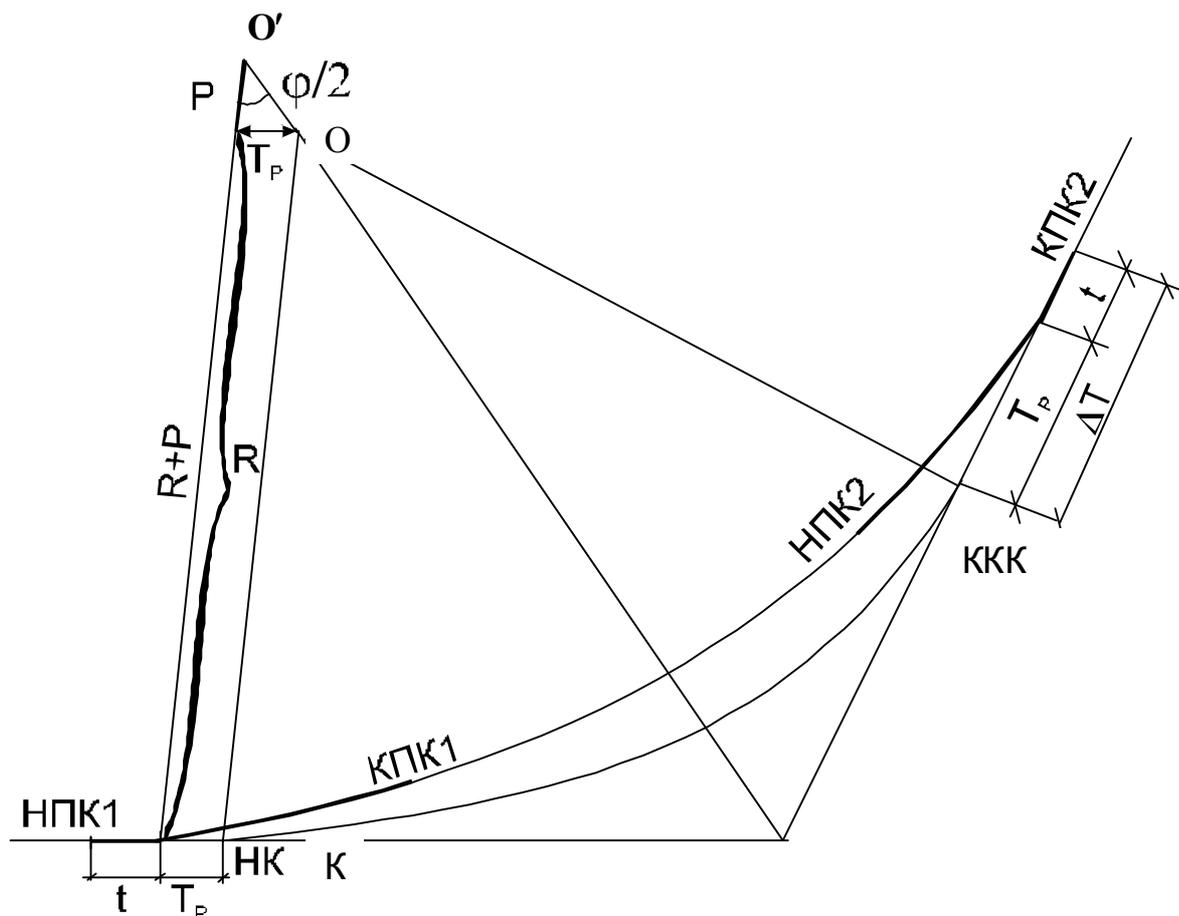


Рисунок 176 – Схема переходных кривых

$$B_{ск} = B_{кк} + \Delta B = B_{кк} + B_p,$$

$$B_p = P * \sec \frac{\varphi}{2},$$

$$D_{ск} = 2T_{ск} - K_c = D_{кк} + \Delta D,$$

$$\Delta D = 2(\Delta T - l/2),$$

$$K_c = K_{кк} + \Delta K,$$

$$\Delta K = l.$$

где индекс “ск” - смещенная кривая,

Расчет пикетажа с учетом переходных кривых выполняется по формулам:

ПKNЗ(НКс)=ПКВУ-Тск – начало кривой смещения;

ПККПК1=ПKNЗ(НК1)+l - конец переходной кривой 1;

ПККЗ(ККс)=ПKNЗ+Кс - конец кривой смещения;

контроль: ПККЗ(ККс)=ПКВУ+Тск-Дск.

2.1.1.6. Вертикальные кривые

При проектировании трассы переломы в вертикальной плоскости сопрягают вертикальными кривыми (рис. 177).

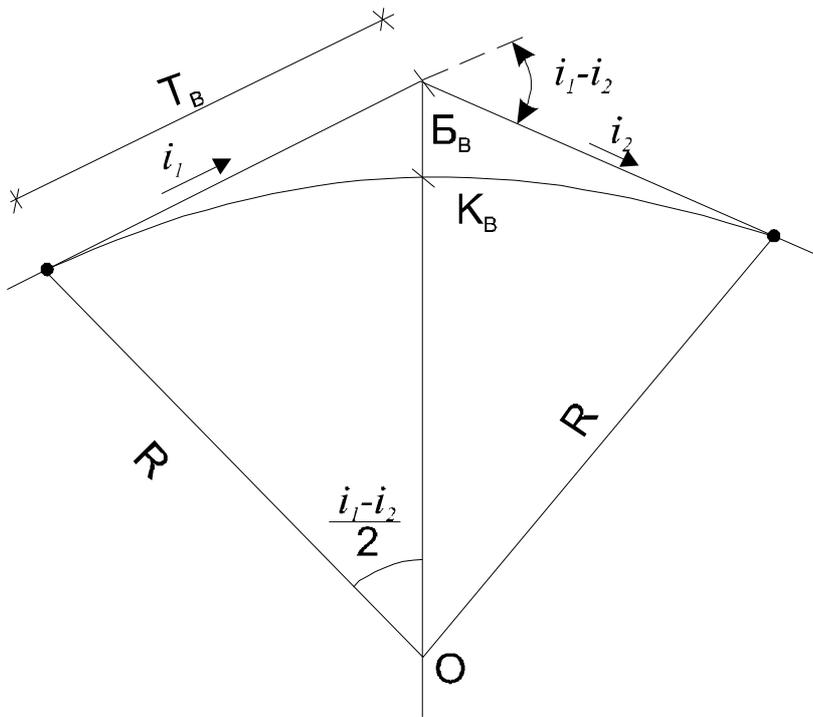


Рисунок 177 – Схема вертикальной кривой

$$K_c = R_c (i_1 - i_2),$$

$$T_c = R_c \frac{i_1 - i_2}{2},$$

$$B_c = \sqrt{T_c^2 + R_c^2} - R_c.$$

Вертикальные кривые проектируют в случае, если выполняется следующее условие:

$$i_1 - i_2 > \sqrt{\frac{0.4}{R_c}}.$$

Литература: Ганьшин В.Н., Хренов П.С. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. - М., Недра.

2.1.1.7. Детальная разбивка кривых

При трассировании пикетаж разбивают по тангенсам, поэтому возникает необходимость построения кривой на местности (вынесение проектного положения точек с касательных). Существует несколько способов детальной разбивки кривых.

1 способ: способ прямоугольных координат.

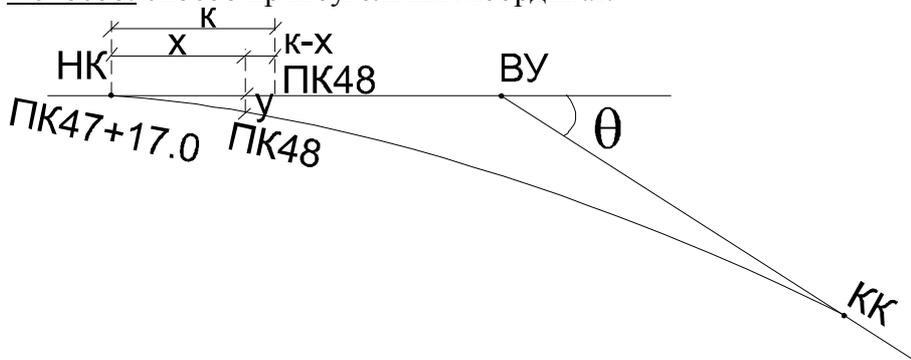


Рисунок 178 - Вынос точек с касательной на кривую способом прямоугольных координат

За ось абсцисс принимают линию тангенса (касательную), за начало координат – начало кривой (рис. 178). Задавшись удалением K промежуточной точки кривой от начала координат, находят центральный угол ψ по формуле:

$$\psi = \frac{K}{R} \rho,$$

а по нему вычисляют прямоугольные координаты точек 1, 2, ..., n по формулам:

$$x_i = R \sin(i \cdot \psi);$$

$$y_i = R(1 - \cos(i \cdot \psi)),$$

где i – текущий номер точки кривой.

Вместо абсциссы часто пользуются величиной $(K - x)$ – кривой без абсциссы. Величины $(K - x)$ и y даются в таблицах и выбираются по аргументу K .

Для разбивки точки сначала откладывают вдоль касательной величину K , а затем, отступив назад на величину $(K - x)$, фиксируют временную точку и строят в ней перпендикуляр. На нем откладывают ординату y , в конце которой закрепляют точку кривой.

Данный способ применяется для разбивки круговых и переходных кривых, особенно в тех случаях, когда кривая близко подходит к тангенсу, а также при выносе пикета на кривую.

Например, для того, чтобы вынести ПК48 на кривую (рис. 178), если радиус кривой и угол поворота известны, выполняют следующее:

- Вычисляют длину кривой для пикета 48:

$$K = \text{ПК48} - \text{ПКНК}.$$

$$K = 4800 - 4717 = 83 \text{ м}.$$

- По таблицам для данного радиуса и длины кривой K находят значение абсциссы выносимой точки (x) и ординаты (y): $x = 80,5$ м; $y = 5,6$ м.

- Вычисляют разность между K и x (кривая без абсциссы): $K - x = 1,5$ м.

- Откладывают значение $(K - x)$ от ПК48 в сторону начала кривой, опускают перпендикуляр и откладывают на нем величину y (определяется положение ПК48 на кривой).

2 способ - способ углов.

В этом способе используется то положение, что углы с вершиной в какой-либо точке круговой кривой образован касательной $AM(T)$ и соответствующей секущей равны половине соответствующего центрального угла. Данный способ заключается в построении угла $\theta/2$ в начале системы координат и последовательном откладывании хорды. При заданной длине хорды угол ψ определяют по формуле:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{b}{2R},$$

где b – длина хорды.

Для разбивки промежуточных точек кривой, теодолит устанавливают в НК или КК, ориентируют его по линии тангенса и откладывают от этой линии угол $\theta/2$. Отложив вдоль построенного направления хорду l , закрепляют первую точку (В). Затем, в той же точке НК строят угол $2\theta/2$ и откладывают хорду (В-С), получая на пересечении направления угла и хорды точку 2, и т.д. (рис. 179).

Линейные измерения выполняют вблизи кривой, что выгодно при разбивке точек на насыпи. Этот способ применяют для разбивки кривых земляных сооружений.

Порядок выполнения разбивки следующий:

- Выбирают из таблиц по радиусу угол $\theta/2$ в зависимости от величины b ($b=10,20,30$ м).

- Устанавливают теодолит в точку А и от линии AM фиксируют направление под

углом $\theta / 2$.

- Вдоль этого направления откладывают длину хорды b и закрепляют на местности точку.

- Из точки A от направления AM фиксируют следующее направление под углом θ и вдоль него откладывают длину хорды. В такой последовательности выполняют разбивку всей кривой.

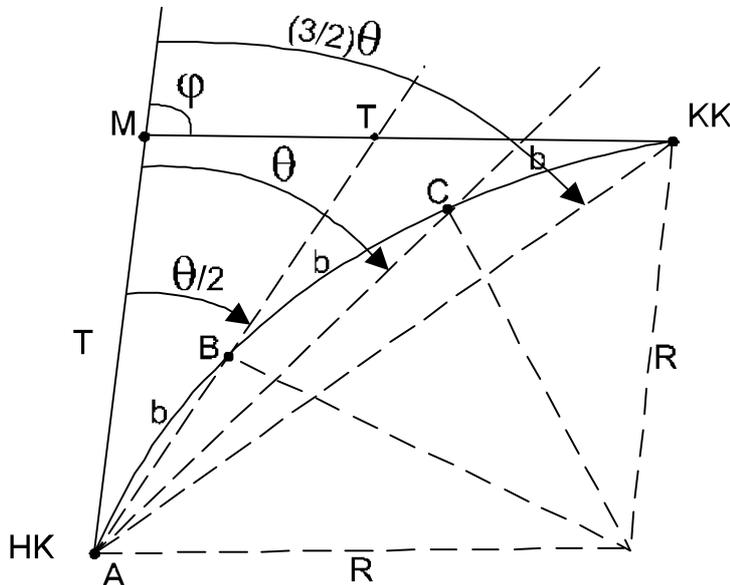


Рисунок 179 – Детальная разбивка кривой способом углов 3 способ- способ продленных хорд (рис. 180).

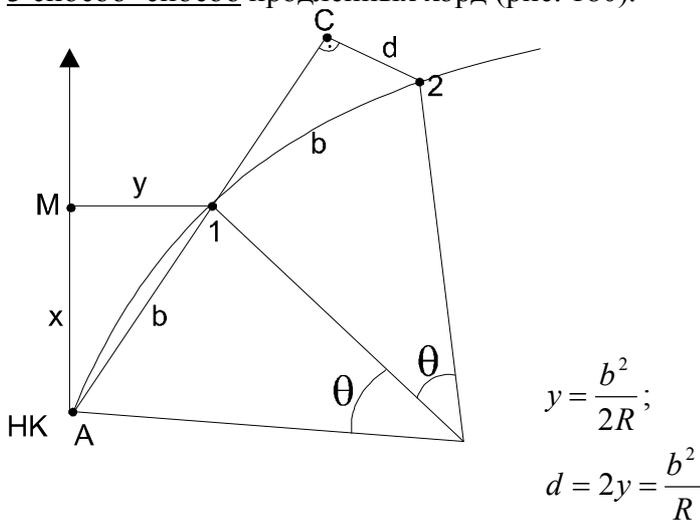


Рисунок 180 – Детальная разбивка кривой способом продленных хорд
Задавшись длиной хорды, например 10 м, определяют смещение:

$$a = \frac{b^2}{R},$$

где $b = 10$ м (принятая длина хорды).

При помощи вычисленной величины смещения a разбивают все точки кривой, кроме первой точки. Первую точку получают по прямоугольным координатам $x \approx v$ и $y = a/2$ (рис. 14). Протянув через НК (точка A) и точку 1 мерный прибор или трос длиной $2b$, например рулетку, на продолжении получают предварительную точку $2'$. Для получения на кривой точки 2 рулетку придерживают в точку 1, а ее конец сдвигают к кривой на величину a и фиксируют точку 2. Точку 3 получают аналогично на основе линии 1-2 и

т.д. до середины кривой.

Разбивку кривой выполняют без теодолита, по радиусу кривой и по величине хорды b , из таблиц выбирают d и y (рис. 14). Положение первой точки может быть определено с помощью прямоугольных координат x и y или линейной засечкой.

Закрепив первую точку, на продолжении створа $A1$ откладывают длину хорды c и отрезок $C2=d$. Точку 2 получают линейной засечкой ($1-2=b$, $C-2=d$) и т.д.

Этот способ применяется в стесненных условиях при невысокой точности разбивки (в насыпи, выемке, в шахте).

Для детальной разбивки кривых на практике применяются также способ трех точек, способ вписанного многоугольника⁷.

2.1.1.8. Камеральная обработка материалов трассирования

Ежедневно проверяются полевые журналы, обращают внимание на правильность углов поворота. Производят уравнивание нивелирных и теодолитных ходов.

Допустимая угловая невязка вычисляется по формуле:

$$f_{\text{выч}} = 1' \sqrt{n+1},$$

где n - число сторон.

Относительная невязка не должна превышать по ходу $1/1000$.
Производят вычисление координат и высот пикетов, составляют ведомость прямых и кривых, в которых выполняются контроли:

- разность между $2\sum T$ и $\sum K$ должна быть равна $\sum D$:

$$2\sum T - \sum K = \sum D.$$

- разность между суммами правых и левых углов поворота равны разности дирекционных углов конечной и начальной точек трассы:

$$\sum \theta_{\text{пр}} - \sum \theta_{\text{лев}} = \alpha_{\text{к о н}} - \alpha_{\text{н}};$$

- сумма прямых вставок и кривых равна длине трассы:

$$S = \sum P + \sum K,$$

- разность пикетажных значений конца и начала трассы равна длине трассы:

$$S = IK_{\text{КТ}} - IK_{\text{НТ}};$$

- разность суммарного значения всех расстояний между углами поворота и суммой всех домеров:

$$S = \sum L - \sum D;$$

Составляют план трассы в масштабе $1:10000$ или $1:5000$ по координатам углов поворота или по азимутам и длинам сторон. На план наносят знаки крепления трассы, начало и конец трассы, километровые пикеты, на закруглениях подписывают элементы кривых, на прямых вставках подписывают длину и азимут. Составляют продольный профиль трассы.

2.1.1.9. Разбивка поперечных профилей (строительных поперечников)

⁷ Справочник по инженерной геодезии. Под ред. Видуева. –М.: Недра, 1978 г, с. 279 – 282.

Для выполнения земляных работ производят детальную разбивку земляного полотна или разбивку строительного поперечника.

Разбивка состоит в обозначении на местности всех характерных точек полотна дороги.

На прямолинейном участке поперечники разбивают через 20-30 м, а также на перегибах местности. Для этого в створе оси трассы разбивают плюсовые точки, осевые точки поперечников (рис. 181). Разбивают поперечники вправо и влево от осевых точек.

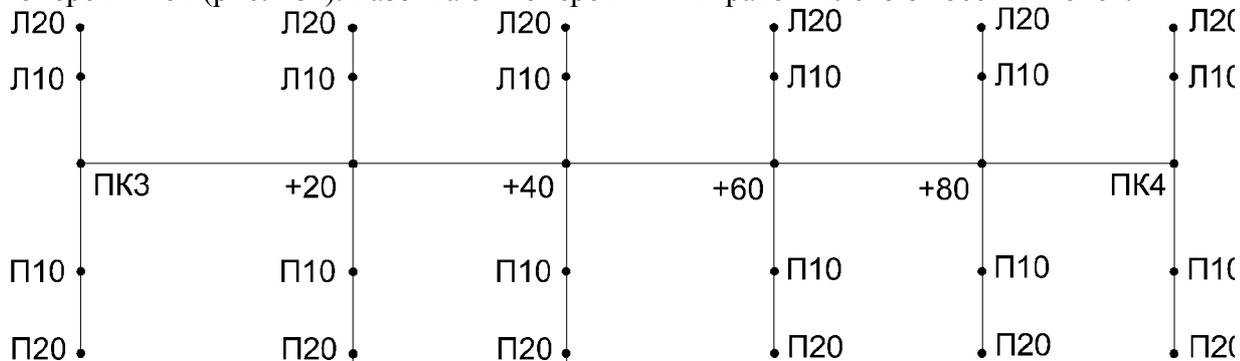


Рисунок 181 - Разбивка поперечников

На круговых кривых (закруглениях трассы) поперечники разбивают через 10-20 метров в зависимости от радиуса кривой (рис. 182). Поперечники должны располагаться по направлению центральной кривой, т.е. перпендикулярно касательной к кривой в точке поперечника. Направление на центр задается по биссектрисе угла γ .

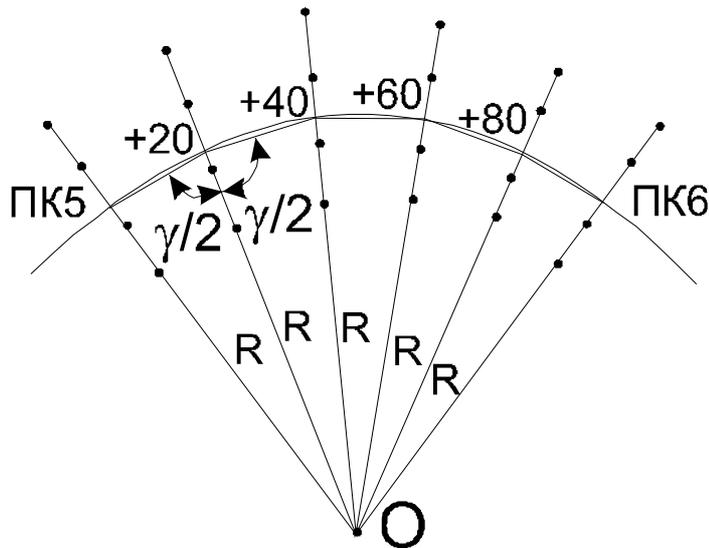


Рисунок 182 - Определение направления поперечного профиля на кривой

В осевой точке кривой измеряют угол γ между хордами, соединяющими эту точку с двумя соседними. Делят угол γ на две части и строят биссектрису. На этой биссектрисе разбивают поперечник.

Разбивка поперечников в насыпи.

При разбивке поперечников в насыпи (рис.183-184) на местности закрепляют положение осевой точки O' , проекции бровок A' , A_1' и подошвы насыпи C , C' . Если поперечный уклон местности не больше 3-4 градусов, то можно принять:

$$O'A_1' = O'A' = B/2,$$

$$A'C = A_1'C_1 = mh,$$

где B - проектная ширина дорожного полотна,
 h - высота насыпи,
 $1:m$ - крутизна (уклон) откоса.
 а) на равнинной местности:

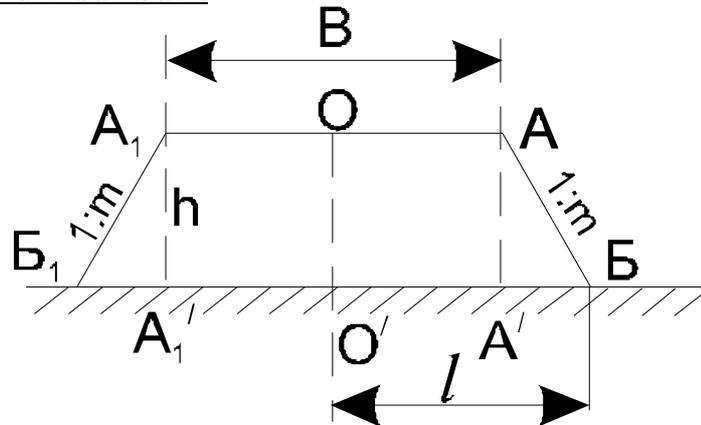


Рисунок 183 - Разбивка насыпи в равнинной местности

На местности от осевой точки O' откладывают величину l и получают точку подошвы насыпи:

б) на наклонной местности:

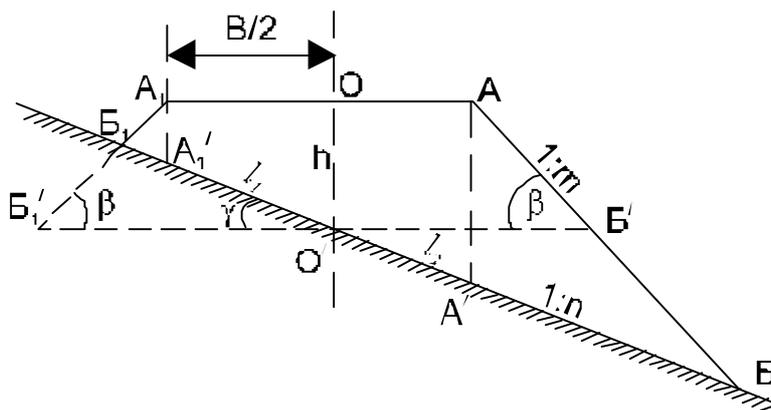


Рисунок 184 – Разбивка поперечника в насыпи на наклонной местности

$$l = \frac{B}{2} + m \cdot h$$

$$l_1 = OB_1$$

$$l_2 = O'B$$

$$\frac{O'B_1}{\sin \beta} = \frac{O'B'_1}{\sin(180^\circ - (\beta + \gamma))}$$

$$O'B'_1 = \frac{B}{2} + mh$$

$$O'B_1 = l_1 = \left(\frac{B}{2} + mh\right) \cdot \frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \gamma)}$$

При угле $\gamma < 6^\circ$, l_1 и l_2 можно вычислить по упрощенным формулам:

$$l_1 = \left(\frac{B}{2} + m \cdot h\right) \cdot \frac{n}{n + m}$$

$$l_2 = \left(\frac{B}{2} + m \cdot h\right) \cdot \frac{n}{n - m}$$

Разбивка поперечников в выемке

а) на равнинной местности:

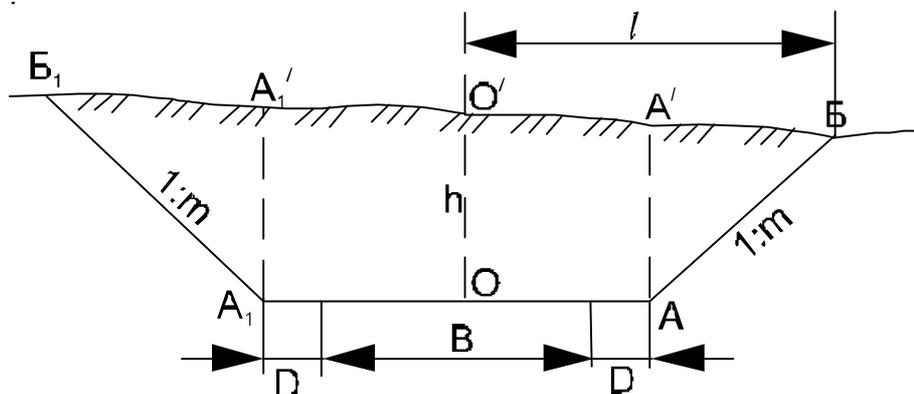


Рисунок 185 – Разбивка поперечника в выемке на равнинной местности

На поверхности фиксируют осевую точку O'

Зная величину h , вычисляют величину l :

$$l = \frac{B}{2} + m \cdot h + D.$$

Откладывают вычисленную величину l на поверхности и получают точку B .

Зная ширину дороги и обочины на местности, можно получить точку A' .

На первом этапе поперечные профили выемки задаются в виде траншеи B_1A_1AB . В дальнейшем, при отделке земляного полотна, делают отделки под земляное корыто и обочины.

б) на наклонной местности (рис. 186):

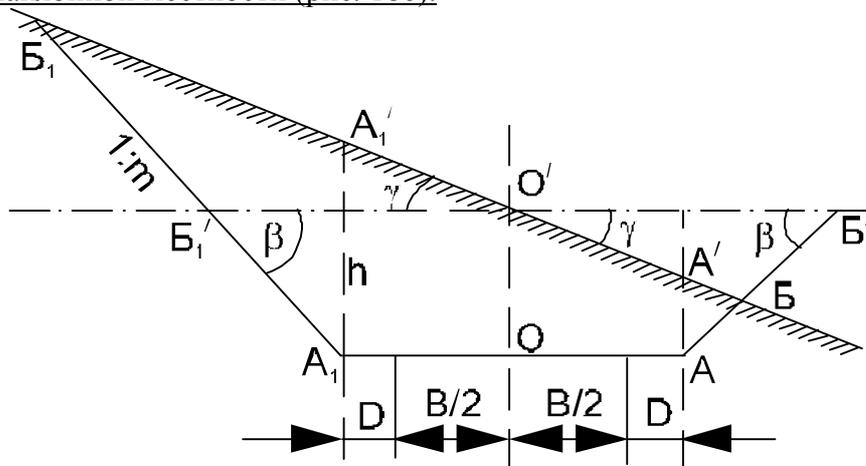


Рисунок 20 – Разбивка выемки на наклонной местности

Вычисления выполняются по следующим формулам:

$$B_1O' = l_1$$

$$O'B = l_2$$

$$\frac{O'B}{\sin \beta} = \frac{O'B'}{\sin(180^\circ - (\gamma + \beta))}$$

$$l_2 = \frac{(B/2 + D + m \cdot h) \cdot \sin \beta}{\sin(\beta + \gamma)}$$

$$l_1 = \frac{(B/2 + D + m \cdot h) \cdot \sin \beta}{\sin(\beta - \gamma)}$$

2.1.2. Геодезическое обеспечение проектирования и строительства автомобильных и железных дорог

2.1.2.1. Дорожные изыскания

Различают следующую классификацию дорог в зависимости от значения в общей транспортной сети и интенсивности движения: автомобильные дороги и железные дороги.

Автомобильные дороги в свою очередь разделяют на 5 категорий:

- ◆ I - II категории - это автомагистрали общегосударственного и республиканского значения, связывающие важнейшие экономические районы страны и крупные центры. На дорогах I категории суточная интенсивность движения составляет свыше 6 тысяч автомобилей при основной расчетной скорости 150 км/ч, они имеют по четыре и более полос движения с разделительной полосой между разными направлениями движения. На дорогах II категории суточная интенсивность движения принимается от 3 до 6 тысяч автомобилей при расчетной скорости 120 км/ч и двух полосах движения.

- ◆ Дороги III категории - республиканского и областного значения при интенсивности движения 1-3 тыс. автомобилей и основной расчетной скорости 100 км/ч.

- ◆ Дороги IV-V категорий - это автодороги местного значения с небольшой интенсивностью движения и основной расчетной скоростью 80-60 км/ч.

Железные дороги подразделяются на три категории.

- ◆ К дорогам I категории относят железнодорожные магистрали первостепенного значения, обеспечивающие основные общегосударственные транспортные связи внутри страны и с зарубежными странами, наиболее грузонапряженные железные дороги с большими размерами перевозок (более 5 млн. т*км/(км в год)) и большой интенсивностью пассажирских перевозок (10 и более пар поездов дальнего следования в сутки при высоких скоростях движения 150 км/ч).

◆ К дорогам II категории относят железнодорожные линии, обеспечивающие межрайонные грузовые и пассажирские перевозки, дороги со значительной грузонапряженностью и темпами роста перевозок при скоростях движения 120-100 км/ч.

◆ Дороги III категории - это ж/д линии и ветки местного значения с небольшими размерами перевозок (с грузонапряженностью до 2-3 млн.т*км/(км в год) и пассажирским движением до 3 пар поездов в сутки).

Технические условия проектирования дорог.

Основное требование, предъявляемое к дорожным трассам, - это плавность и безопасность движения с заданными скоростями. В связи с этим на автомобильных и железных дорогах строго регламентируются максимальные руководящие уклоны и минимальные радиусы кривых (табл. 19).

На кривых небольших радиусов предельно допустимый уклон смягчают (уменьшают). На железных дорогах это смягчение уклона, выраженное в долях, определяется по формуле:

$$\Delta i = (12.2\varphi^{\circ}) / K,$$

где φ° и K - соответственно угол поворота в градусах и длина кривой в метрах.

Так как $K = R \varphi_{рад} = R \varphi^{\circ} / \rho^{\circ}$, где R - радиус кривой в метрах, ρ° - радиан в градусах (57.3°), то:

$$\Delta i = (12.2\rho^{\circ}) / R = 700 / R.$$

Таблица 19

ПАРАМЕТРЫ	Категория дорог				
	I	II	III	IV	V
АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ					
Наибольшие продольные уклоны (основные), ‰	30	40	50	60	70
Наименьшие радиусы кривых в плане (основные), м	1000	600	400	250	125
Наименьшие радиусы вертикальных кривых (основные), м:					
выпуклых	25000	15000	10000	5000	2500
вогнутых	8000	5000	3000	2000	1500
ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ					
Руководящие уклоны, ‰	15	15	20	-	-
Радиусы горизонтальных кривых м:					
наибольшие	4000	4000	4000	-	-
наименьшие рекомендуемые	1200	800	600	-	-
Радиусы вертикальных кривых, рекомендуемые	10000	10000	5000	-	-

--	--	--	--	--	--

Например, при руководящем уклоне $i_p=20\%$ максимально допустимый уклон на кривой с радиусом $R=700$ м следующий:

$$i = i_p - \Delta i = 20 - (700:700) = 19\% \text{ о}$$

Площадки под станции и разъезды, а также крупные парки путей размещают, как правило, на прямых горизонтальных участках и только в трудных условиях допускают размещение разъездов и промежуточных станций на участках с уклонами, не превышающими 20 ‰. В последнем случае кривые должны быть обращены в одну сторону, а радиусы кривизны составлять не менее 1000 м для магистральных дорог и 600 м для линий местного значения.

Очень часто применяется ландшафтное проектирование дорог - плавное сопряжение элементов трассы и ее гармоничное сочетание с окружающей средой с учетом условий по охране природы.

Для ландшафтного проектирования в процессе изысканий производят дополнительную аэрофотосъемку, наземную стереосъемку сложных участков и другие работы, связанные с построением перспективы местности и ландшафтно-архитектурного плана.

При проектировании дорог обязательно нужно предусмотреть создание вдоль дорог постоянное геодезическое обоснование надлежащей точности и плотности. Такое обоснование следует развивать в период предпостроечных изысканий в виде теодолитно-нивелирных ходов повышенной точности. В плане предельные ошибки ходов не должны превышать 1:5000; по высоте невязки должны лежать в пределах:

$$f_{h_{пред}} = 30\sqrt{L}, \text{ мм},$$

где L - длина хода в км.

2.1.2.2. Технологическая схема дорожных изысканий:

1. Рекогносцировочные допроектные изыскания для технико-экономического обоснования проекта.

А) Дорожно-экономические изыскания:

- изучение производительных сил района изысканий; выявление районов тяготения дороги, которые будут реализовать свои транспортные связи через проектируемую трассу;
- определение на мелкомасштабных картах наиболее экономичного варианта трассы; примерные подсчеты интенсивности движения на ней;
- расчет примерных технических характеристик дороги (категория, число полос движения для автодороги и путей для железной дороги, расчетная скорость движения и т.д.);
- изучение условий по охране окружающей среды.

Б) Выбор основного направления дороги:

- -камеральное трассирование вариантов по топографическим картам (М 1:50000, 1:25000);

- -составление на сложные участки фотосхем и фотопланов по имеющимся фотоматериалам ;
- -изучение материалов геологической съемки и разведки прежних лет;
- -обзорная аэрофотосъемка в масштабе 1:30000-1:40000 больших переходов и сложных участков;
- -сравнение вариантов;
- -составление технического задания на проектирование дороги.

2. Детальные проектные изыскания для разработки технического проекта дороги и всех сооружений на ней.

А)Выбор оптимального варианта дороги:

- -аэрофотосъемка полосы вариантов в масштабе 1:10000-1:15000. Перспективная и панорамная аэрофотосъемка для ландшафтного проектирования;
- -построение на полосе трассирования плановой и высотной геодезической основы. Привязка аэрофотоснимков. Топографическое дешифрирование;
- -инженерно-геологическая съемка и дешифрирование;
- -развитие аналитической фототриангуляции;
- -составление инженерно-геологических фотокарт и ландшафтно-архитектурных карт в масштабе аэрофотосъемки;
- -камеральное трассирование и проектирование вариантов. Выбор оптимальной трассы.

Б) Полевое обследование трассы и согласование:

- -вынесение по контурам оптимальной трассы в натуру;
- -крупномасштабные стереотопографическая и топографическая съемки площадок, переходов, станций, пересечений, сложных участков;
- -крупномасштабная инженерно-геологическая съемка трассы. Гидрометрические работы на мостовых переходах, сбор сведений для расчета искусственных сооружений;
- -согласование трассы с землепользователями и заинтересованными организациями.

3. Предпроектные изыскания для составления рабочих чертежей.

А) Детальная разбивка трассы на местности:

- полевое трассирование с разбивкой пикетажа и нивелированием;

- дополнительная съемка в масштабе 1:500 - 1:1000 с высотой сечения рельефа 0.5 м мостовых переходов и сложных мест;
- закрепление главных точек трассы.

Б) Построение постоянного геодезического обоснования вдоль трассы:

- рекогносцировка хода на расстоянии 30-50 м от трассы и закрепление пунктов совмещенными ж/б знаками через 400-500 м;
- проложение теодолитно-нивелирной магистрали повышенной точности.

В) Разведочные работы:

- инженерно-геологическая разведка трассы;
- геодезическая привязка геологоразведочных выработок и гидростворов;
- детальная разведка карьеров строительных материалов, съемка карьеров.

Г) Камеральная обработка материалов. Составление плана и профилей.

2.1.2.2. Восстановление дорожной трассы

Перед началом строительных работ выполняют восстановление трассы:

- инструментальное восстановление пикетажа с контрольным промером линий и углов и с детальной разбивкой кривых;
- контрольное нивелирование по пикетажу с дополнительным сгущением сети рабочих реперов;
- проверка осей искусственных сооружений;
- закрепление трассы и осей искусственных сооружений с выносом знаков крепления за пределы зоны земляных работ.

При восстановлении трассы может быть проведено некоторое ее корректирование и улучшение расположения на местности для уменьшения объема земляных работ и улучшения устойчивости отдельных сооружений.

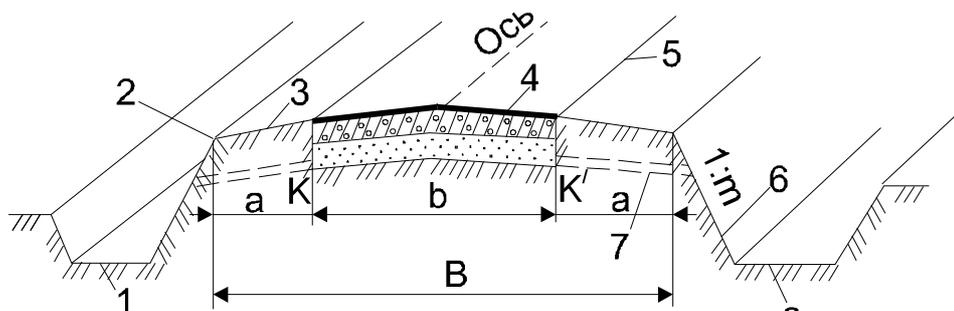
Все изменения, внесенные при восстановлении трассы, передаются в проектную организацию.

Точность геодезических работ при восстановлении трассы должна быть не ниже точности этих работ на стадии детальных изысканий.

При восстановлении трассы производится отвод и закрепление на местности полосы отчуждения.

2.1.2.3. Разбивка земляного полотна

Автомобильное полотно состоит из проезжей части, обочин, откосов и кюветов (рис.1). Ширина проезжей части может быть 6 -15 м в зависимости от категории дороги. Для укрепления проезжей части с обеих сторон ее устраивают обочины шириной 2 - 3.75 м. К обочинам примыкают откосы. Линия, отделяющая обочины от откосов, называется бровкой дорожного полотна. Проектные высоты даются в продольном профиле по бровке.



1-кювет; 2-бровка; 3-обочина; 4-проезжая часть; 5-кромка;
6-откос; 7-воронка; 8-резерв;

Рисунок 188 - Дорожное полотно

2.1.2.4. Камеральное трассирование

Под трассой понимается пространственное положение взаимосвязанной с рельефом местности продольной оси проектируемого линейного сооружения.

Оптимальной для данного участка местности считается трасса, которая отвечает следующим условиям:

- обеспечивает строительство и надежную эксплуатацию линейного сооружения с заданными характеристиками;

- удовлетворяет ограничениям, накладываемым нормами проектирования;
- имеет технико-экономические показатели, оптимизирующие значение численного критерия эффективности.

Трассирование - решение технико-экономической задачи по выбору оптимальной трассы между опорными точками на участке местности или его модели при заданном уравнении поверхности земли $f(x, y, H) = 0$, инженерно-геологических, гидрологических, природоохранных и других условиях.

В результате камерального трассирования получают план трассы (проекцию трассы на горизонтальную плоскость) и продольный профиль (вертикальный разрез по оси трассы).

На плане трасса состоит из прямых участков, сопряженных между собой круговыми кривыми (рис. 189).

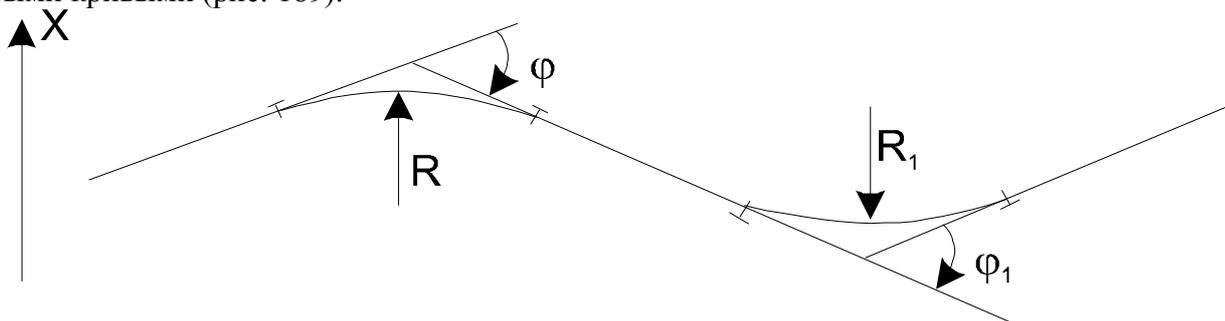


Рисунок 189 - Трасса в плане

В продольном профиле трасса состоит из линий поперечного уклона при необходимом соединении между собой вертикальными круговыми кривыми (рис. 190).

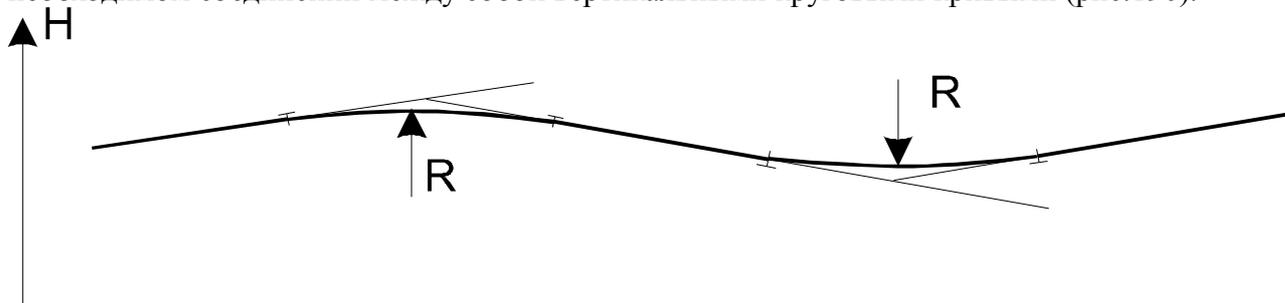


Рисунок 190 - Продольный профиль трассы

При проектировании стремятся проложить наиболее короткий вариант трассы между заданными точками начала и конца трассы и с уклонами, не превышающими предельные значения для данной категории дорог.

В зависимости от условий местности камеральное трассирование выполняют способом попыток или способом построения линий с заданными уклонами.

Способ попыток применяют в основном для равнинной местности. По намеченной по карте трассе составляют продольный профиль с проектной красной линией. Анализируя профиль, выявляют места, в которых трассу целесообразно сместить вправо или влево, чтобы отметки местности ближе подходили к проектным отметкам. Эти участки трассы вновь трассируют и составляют улучшенный вариант трассы.

Расположение трассы в равнинной местности определяется контуром препятствий, т.е. расположением населенных пунктов, препятствующих проложению трассы. Если средний уклон местности меньше допустимого, то в высотном отношении трассу ведут вольной кривой, на встречающихся препятствиях делают углы поворота для обхода его.

Для проектирования более коротких трасс придерживаются следующих условий:

- трассирование выполняют напрямую - от препятствия к препятствию, т.е. выбирают углы поворота против препятствий и располагают препятствие внутри угла поворота;
- угол поворота трассы стремятся иметь не более 30 градусов, т.к. такие углы незначительно удлиняют трассу;
- радиус кривых выбирают по возможности большим;
- при пересечении оврагов к тальвегу не спускаются, а переходят сразу на другую сторону, засекая одноименные горизонтали;
- в местах, где расстояние между горизонталями больше, чем проектная величина заложения, направление выбирают свободно;
- пересечение рек, магистралей выполняют под углом 90 градусов;
- необходимо обходить крупные населенные пункты, территории горных разработок, лесные массивы, с/х угодья и т.д.

В отличие от проектирования на равнинной местности, направление трассы в горной или резко пересеченной местности определяется ее рельефом, т.к. уклоны в данном случае значительно превосходят уклоны трассы.

Построение линий заданного уклона (ход раствором циркуля) в случае, если уклон местности превосходит уклон трассы, выполняется следующим образом:

- вычисляют величину заложения между горизонталями для заданного уклона:

$$a = h / i_{доп},$$

где h - высота сечения рельефа;

- если трассу провести по линии нулевых работ, то достаточно раствором циркуля, равным a из начальной точки трассы засекать ближайшие горизонтали в направлении к конечной точке трассы до тех пор, пока не преидете к конечной точке трассы (рис. 191):

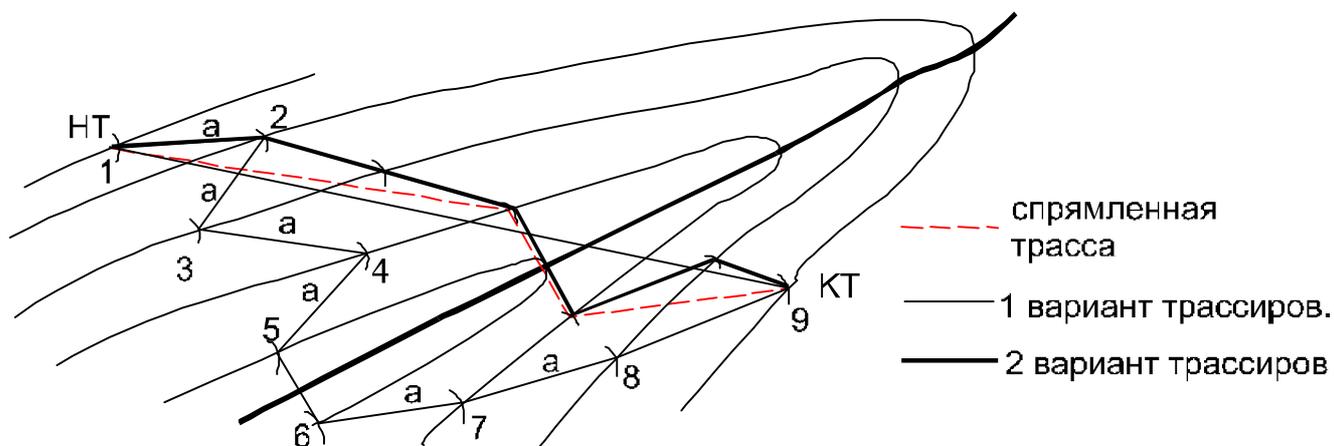


Рисунок 191 - "Ход раствором циркуля"

В результате таких построений получится очень много углов поворота, что приводит к потребности спрямить трассу.

Пусть l - длина трассы фактическая, l' - длина, рассчитанная по допустимому уклону (максимальная длина трассы), тогда:

$$l = h/i_{\phi};$$

$$l' = h/i_{\partial o n};$$

$$\Delta l = l - l' = h(1/i_{\phi} - 1/i_{\partial o n}) = h(i_{\partial o n} - i_{\phi}) / (i_{\partial o n} * i_{\phi}).$$

В зависимости от удлинения различают следующие виды трасс:

а) извилина, т.е. S-образная трасса (рис. 192):

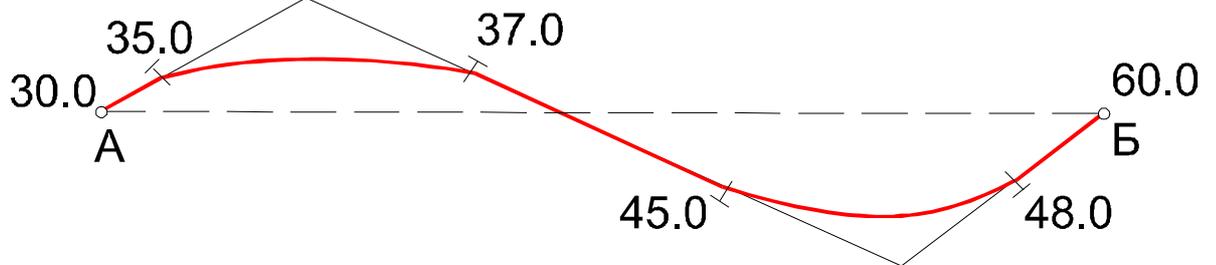


Рисунок 192.

б) заход трассы в боковую долину (рис. 193):

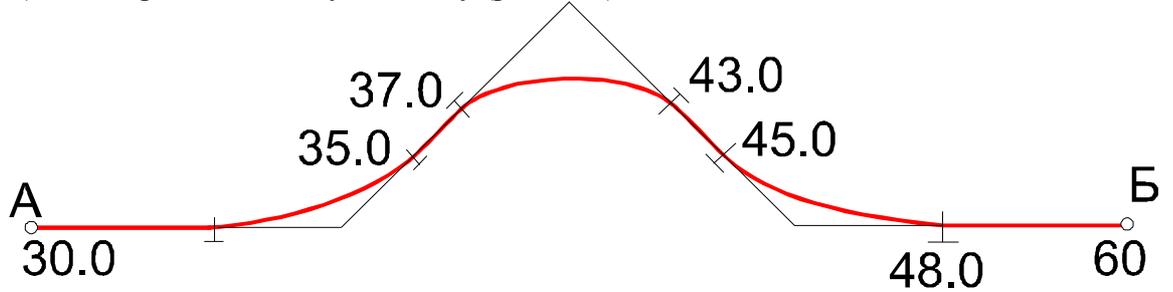


Рисунок 193.

в) петля (рис. 194):

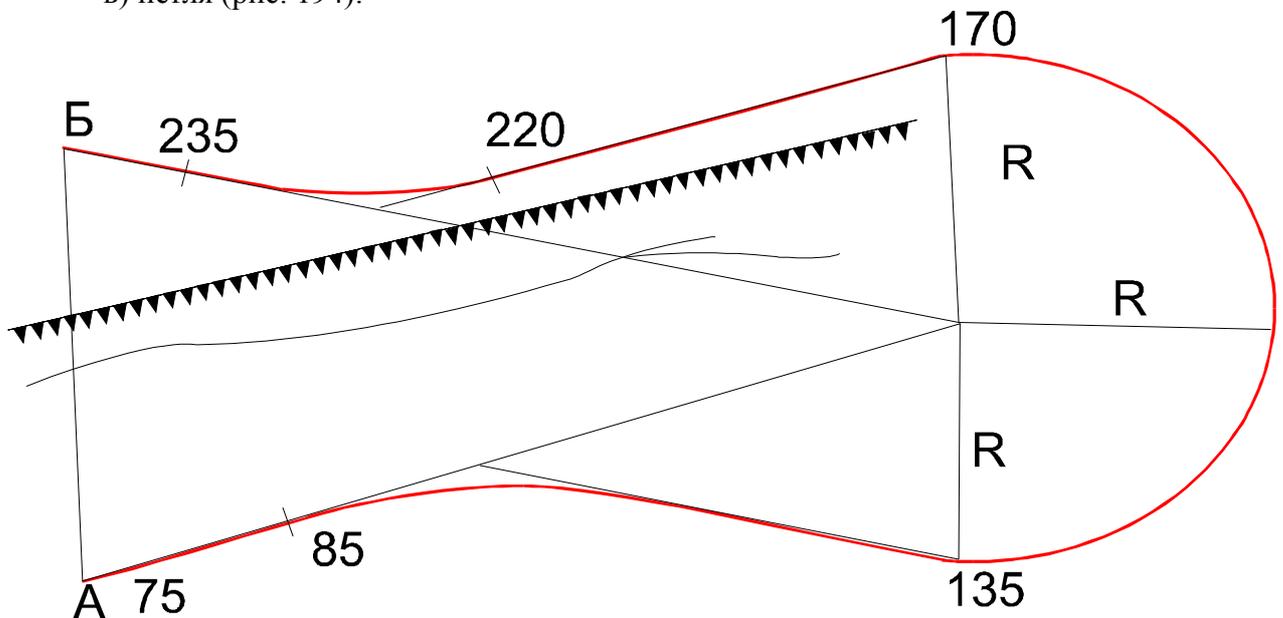


Рисунок 194.

г) спираль (рис. 195):

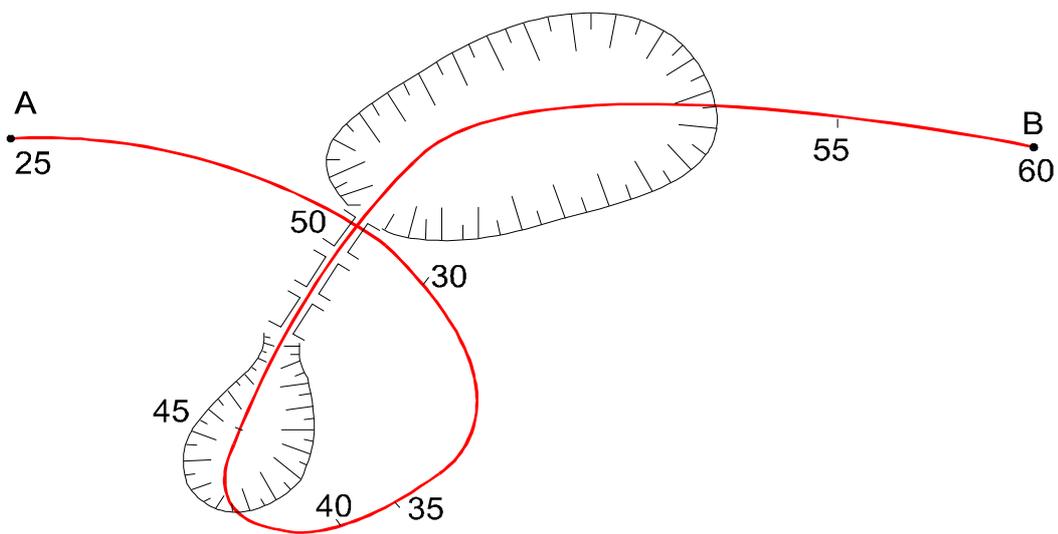


Рисунок 195 – Виды трасс

На спрямленной трассе по измеренным углам поворота и выбранным радиусам закруглений размечают главные точки кривых (вписывают кривые) и прямые вставки, разбивают пикетаж, по горизонталям определяют “черные” отметки пикетажа и характерных точек перегиба местности. Составляют продольный профиль трассы, затем проводят проектную линию трассы (красную) и в местах, где получены большие объемы земляных работ, трассу корректируют.

2.1.3. Виражи на автомобильных дорогах

2.1.3.1. Элементы виража

На кривых, радиусы которых меньше 3000 м для автомобильных дорог 1 категории и 2000 м - для других категорий, устраивают виражи, т. е. дорожному полотну придают односкатный поперечный профиль с наклоном к центру кривой.

Односкатный профиль сохраняется на всем протяжении круговой кривой. Переход от односкатного профиля к нормальному, двухскатному, так называемый отгон виража, делается на переходных кривых или на прямых участках, примыкающих к закруглению.

На кривых малых радиусов вираж имеет дополнительное уширение проезжей части, отвод которого осуществляется также в пределах переходной кривой.

Общая схема виража показана на рис. 196. Основными элементами виража являются:

- 1) уклон виража, т. е. величина односкатного поперечного уклона дорожного полотна;
- 2) длина отгона виража;
- 3) длина виража;
- 4) величина уширения проезжей части.

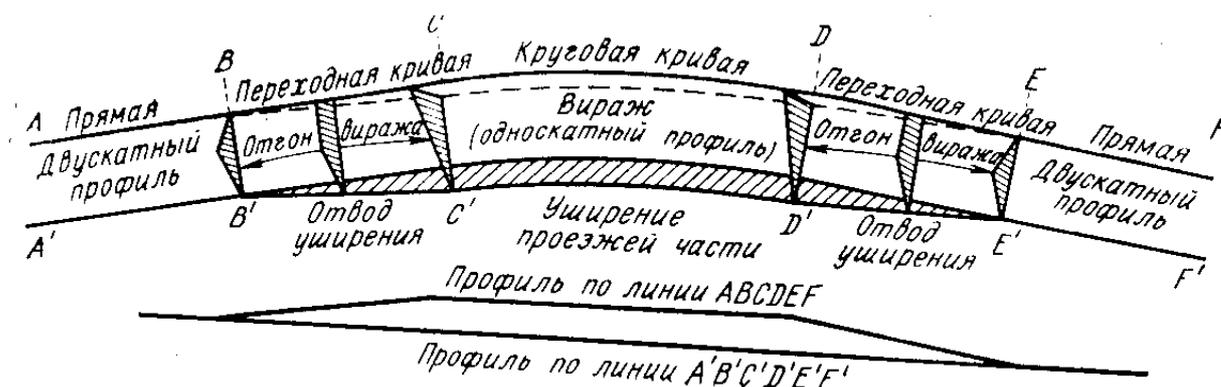


Рисунок 196 - Схема виража автодороги

Поперечный уклон виража зависит от радиуса кривой. При радиусах 3000 - 1000 м уклон виража назначают равным поперечному уклону проезжей части при двухскатном профиле. Для радиусов кривых меньше 1000 м уклон виража проектируют больше поперечного уклона проезжей части. Наибольший уклон виража допускают равным 60‰ ($R \leq 600$ м).

Отгон виража представляет собой плавный переход от двухскатного поперечного профиля к односкатному, при этом главное изменение претерпевает наружная часть дорожного полотна.

Если уклон виража равен поперечному уклону проезжей части, то переход от двухскатного профиля к односкатному осуществляется путем вращения наружной половины полотна около оси дороги. Внутренняя часть полотна остается без изменения.

При уклоне виража, превышающем уклон нормального профиля, на отгоне происходит постепенное вращение всего дорожного полотна около внутренней кромки проезжей части, профильные высоты которой не меняются.

Можно представить, что на отгоне виража поверхность дороги образуется движением поперечных прямых по двум непараллельным направляющим - поднимающейся наружной бровке AA' и оси вращения BB' или CC', лежащих в параллельных вертикальных плоскостях (рис. 197). Поперечные прямые, непрерывно

меня свой наклон, все время остаются перпендикулярными к оси. Следовательно, эта поверхность образуется двумя системами прямых - продольных, параллельных вертикальной плоскости, проходящей через ось дороги, и поперечных, расположенных в вертикальных плоскостях, перпендикулярных к оси дороги. Из аналитической геометрии известно, что такой особенностью обладают образующие линейчатой косо́й поверхности - гиперболического параболоида.

В пределах круговой кривой односкатное дорожное полотно представляет собой коническую поверхность.

При отгоне виража наружная бровка полотна возводится с некоторым дополнительным продольным уклоном i_2 (рис. 197), чтобы в начале круговой кривой эта бровка возвышалась над уровнем внутренней бровки на некоторую величину h_2 . Чем больше длина отгона виража L , тем меньше уклон i_2 , и тем плавней двухскатный профиль переходит в односкатный. Для дорог I и II категорий уклон i_2 не должен превышать 5‰, а для дорог III - V категорий - 10‰ в равнинной местности и 20‰ в горной.

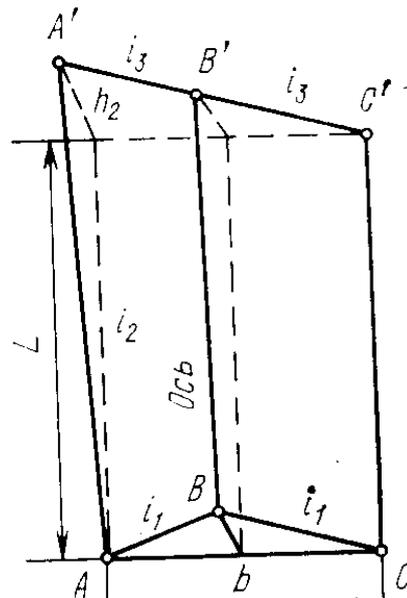


Рисунок 197 - Преобразование проезжей части на отгоне виража

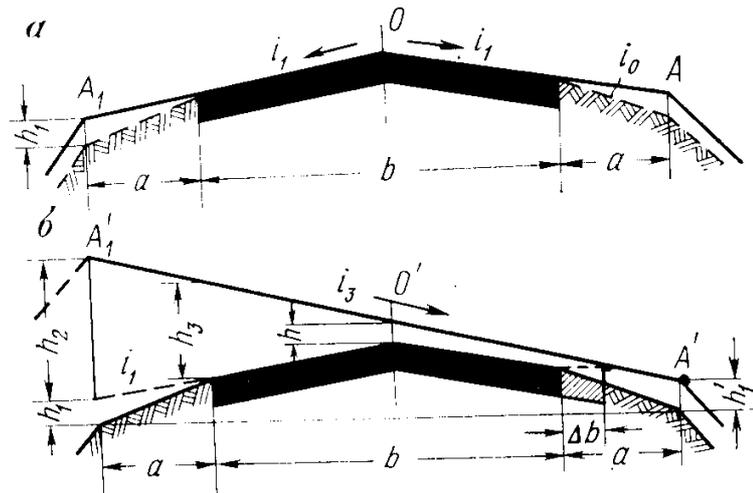


Рисунок 198 - Поперечный профиль автодорожного полотна:
а) - в начале отгона виража AOA_1 ; б) - в конце отгона виража $A'O'A_1'$

Длина отгона виража L может быть подсчитана по формуле:

$$L = h_2 / i_2 = (b \cdot i_3) / i_2, \quad (1)$$

где b - ширина проезжей части дороги,
 i_3 - поперечный уклон виража.

При устройстве отгона виража в пределах переходных кривых длина последних должна быть не менее величины, подсчитанной по формуле (1).

На виражах с радиусом кривых 700 м и меньше производят уширение проезжей части, величина которого приведена в табл. 20.

Таблица 20

Радиусы кривых, м	700 - 500	500 - 450	400 - 250	200 - 150	125 - 90	80 - 70	60	50	40	30
Уширение, м	0,40	0,50	0,60	0,75	1,00	1,25	1,40	1,60	1,80	2,00

Как правило, проезжую часть уширяют за счет уменьшения ширины внутренней обочины. Однако оставшаяся часть обочины должна быть не менее 1,5 м для дорог I и II категорий и на 1 м - для остальных, в противном случае уширяется земляное полотно.

В пределах круговой кривой виража проезжая часть уширяется на полную величину, на переходных кривых отгона уширение постепенно уменьшается. При этом внутренняя кромка полного уширения разбивается по кривой радиуса

$$R_k = R - (b / 2 + \Delta b_0), \quad (2)$$

где R - радиус кривой по оси дороги,
 b - ширина проезжей части,

Δb_0 - полная величина уширения.

Разбивка кромки отвода уширения производится по плавной многоцентрковой (коробковой) кривой.

2.1.3.2. Разбивка виража

На местности вираж разбивают путем построения поперечных профилей дорожного полотна через 5 - 10 м. До начала отгона виража обочинам придают уклон, равный уклону проезжей части, т. е. обе бровки полотна на протяжении 10 м поднимают на величину (рис. 198, а):

$$h_1 = a(i_0 - i_1), \quad (3)$$

где a - ширина обочины;

i_0 - поперечный уклон обочины,

i_1 - поперечный уклон проезжей части на двухскатном профиле.

Поперечный профиль имеет вид АОА₁.

В конце отгона виража (в начале круговой кривой) дорожное полотно будет иметь односкатный уклон А'0'А₁' (рис. 198, б).

При этом если вращение дорожного полотна осуществляется вокруг его внутренней кромки, то превышение характерных точек поперечного профиля относительно начального сечения без учета продольного уклона дороги будет:

- для осевой точки:

$$h = (b / 2 + \Delta b)i_3 - b / 2i_1; \quad (4)$$

- для внешней кромки проезжей части полотна:

$$h_3 = (b + \Delta b)i_3; \quad (5)$$

- для внешней бровки дорожного полотна:

$$h_2 = (a + b + \Delta b)i_3 + ai_1; \quad (6)$$

- для внутренней бровки:

$$h' = \Delta bi_0; \quad (7)$$

где Δb - уширение проезжей части дороги,
 i_3 - поперечный уклон виража.

Кроме этого, вследствие вращения около внутренней кромки происходит понижение высоты внутренней бровки на величину $h'' = (a - \Delta b)(i_3 - i_1)$. Таким образом, общая величина изменения высоты внутренней бровки на вираже:

$$h' = a(i_0 - i_1) + \Delta bi_0 - (a - \Delta b)(i_3 - i_1), \quad (8)$$

$$h' = (h_1 + h') - h''$$

Превышения промежуточных поперечных профилей находят путем интерполирования величин, определенных по формулам (4) - (7), пропорционально расстоянию от начала отгона виража.

Решение задачи: расчет отметок точек на поперечнике с учетом продольного уклона i_2 .

Исходные данные: H - проектная отметка бровки полотна;

$a, b, i_1, i_2, i_3, \Delta b$ - размеры дороги, поперечные и продольный уклоны и величина уширения проезжей части дороги.

Для решения задачи используются следующие уклоны:

i_1 – поперечный уклон проезжей части;

i_2 – продольный уклон проезжей части;

i_3 – поперечный уклон виража;

i_0 – поперечный уклон обочины.

Решение задачи выполняется в следующей последовательности.

1) Отметки характерных точек на начальном поперечнике:

-отметка бровки с учетом подъема обочин на 20‰ -

$$H_{\text{бр.н}} = H_{\text{бр.}} + a(i_0 - i_1);$$

-отметка кромки:

$$H_{\text{кр.н}} = H_{\text{бр.н}} + ai_1;$$

-отметка оси дороги на начальном поперечнике:

$$H_{\text{осин.}} = H_{\text{кр.н}} + (b/2)i_1;$$

2) С учетом продольного уклона трассы на отгоне виража и длины отгона виража можно вычислить отметку кромки дороги в конце отгона виража (в поперечном направлении отметка не изменяется, т.к. вращение выполняют вокруг ее оси):

$$H_{\text{кр.к}} = H_{\text{кр.н}} + li_2.$$

От полученной отметки $H_{\text{кр.к}}$ вычисляют остальные отметки характерных точек.

3) Вычисляют отметки характерных точек на конечном поперечнике с учетом уширения проезжей части:

-отметка оси дороги на конечном поперечнике:

$$H_{\text{осик.}} = H_{\text{кр.к}} + (b/2 + \Delta b)i_3;$$

-отметка внешней кромки дороги на конечном поперечнике:

$$H_{\text{внеш.кр.}} = H_{\text{кр.к}} + (b + \Delta b)i_3;$$

- отметка внешней бровки на конечном поперечнике:

$$H_{\text{внеш.бр.}} = H_{\text{кр.к}} + (a + b + \Delta b)i_3;$$

- отметка внутренней бровки на конечном поперечнике:

$$H_{\text{внут.бр.к}} = H_{\text{кр.к}} - (a - \Delta b)i_3.$$

Отметки характерных точек на промежуточных поперечниках определяется путем интерполирования.

При разбивке отгонов виража на смежных кривых, направленных в разные стороны, между ними необходимо иметь прямую вставку такой длины, чтобы в ее пределах можно было разместить встречные отгоны виража с поперечными уклонами противоположного направления (обычно 50-100 м).

На смежных кривых, направленных в одну сторону, но имеющих различные радиусы кривых и неодинаковые элементы виража, минимальная прямая вставка между ними должна быть такой длины, чтобы в ее пределах можно было вписать плавный переход одного виража к другому.

2.1.4. Серпантины

2.1.4.1. Основные элементы серпантины

При трассировании дороги по крутому склону с острым внутренним углом нет возможности сопрягать прямолинейные участки при помощи общих закруглений.

В таких случаях, вследствие большой разности высот между началом и концом кривой и незначительной длины закругления, получаются уклоны, превышающие предельные. Сопряжения осуществляют при помощи внешних закруглений, называемых серпантинами (рис. 199).

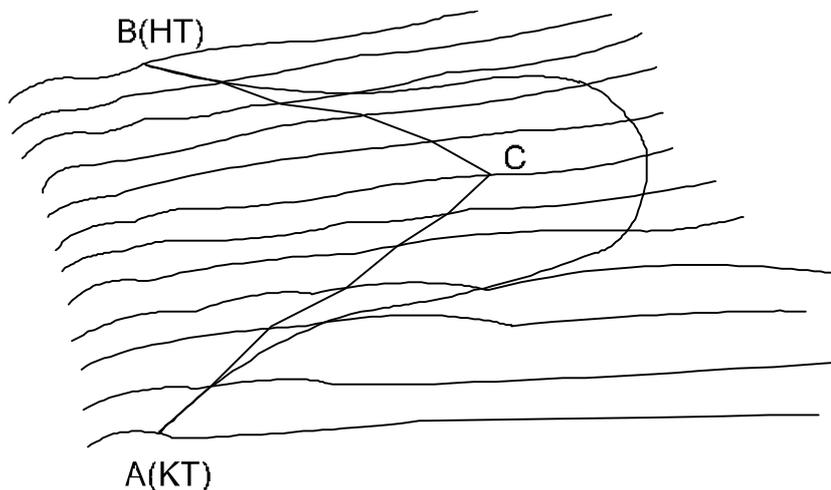


Рисунок 199.

Основными элементами серпантины являются:

- * основная круговая кривая EFDC с радиусом R (рис. 200);
- * две вспомогательные кривые AP и BQ с радиусом r;
- * две прямые вставки (или переходные кривые) QE и PF длиной m;
- * β - угол поворота вспомогательной кривой;
- * d - расстояние от вершины угла до поворота вспомогательной кривой;
- * γ - угол в центре серпантины;
- * φ_0 - центральный угол основной кривой;
- * φ - угол поворота трассы в центре серпантины.

Размерные величины:

Наименьший радиус $R = 15 \div 30$ м;

Поперечный уклон виража $\leq 60\%$

Длины переходных кривых $20 \div 30$ м;

Удлинение проезжей части $2 \div 3$ м;

Продольный уклон $i_2 = 30 \div 40\%$

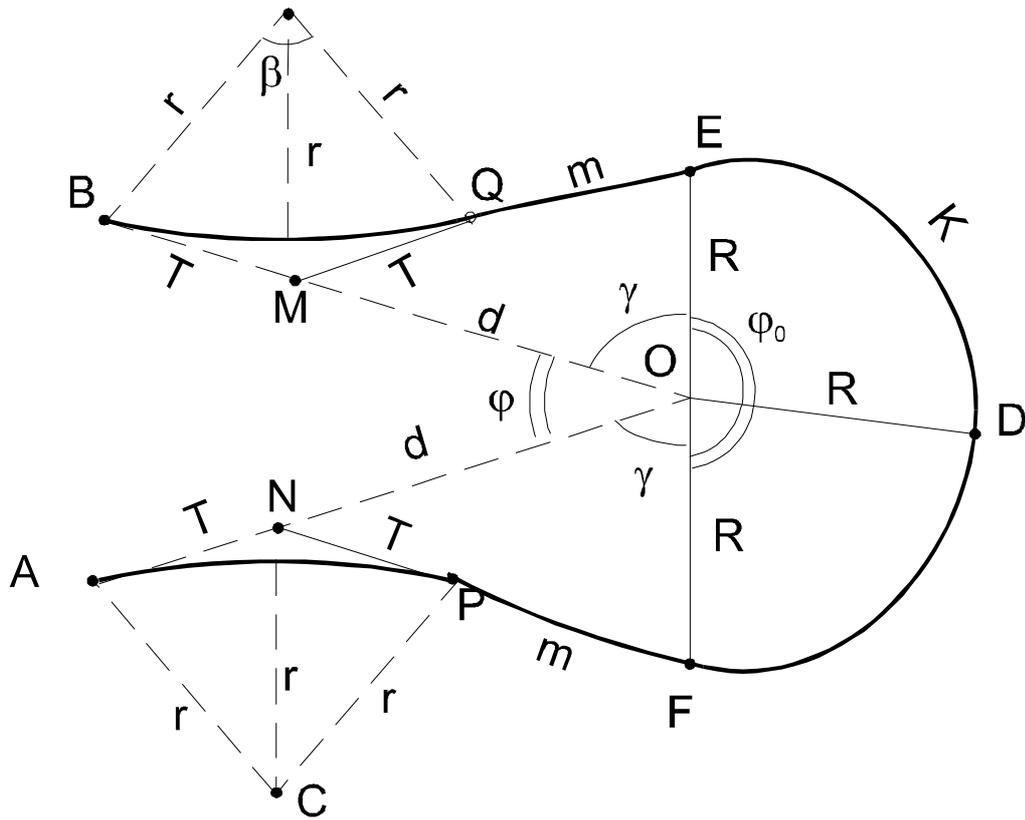


Рисунок 200.

2.1.4.2. Расчет серпантины

При расчете серпантины обычно задаются величины R , r , а также величина m . Угол φ измеряется в натуре на местности. Остальные элементы β , γ , φ_0 , d вычисляют (рис. 200).

Угол поворота вспомогательной кривой β находится из прямоугольного треугольника ONF (или OME):

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{OF}{NF}.$$

Так как $OF = R$, $NF = m + T$,

где T - длина тангенса вспомогательной кривой, то:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{R}{m + T} \quad (1)$$

Из прямоугольного треугольника NPC :

$$\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{T}{r}; \quad (2)$$

$$T = r \cdot \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}.$$

Тогда подставим (2) в (1) и получим:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{R}{m + r \cdot \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}}. \quad (3)$$

Выразим $\operatorname{tg}\beta$ через $\operatorname{tg}\beta/2$, используя известную формулу тригонометрии:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{2\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2\frac{\beta}{2}} \quad (4)$$

Подставим (4) в (3):

$$\frac{2\operatorname{tg}\frac{\beta}{2}}{1 - \operatorname{tg}^2\frac{\beta}{2}} = \frac{R}{m + r \cdot \operatorname{tg}\frac{\beta}{2}}$$

Получим квадратное уравнение вида:

$$\begin{aligned} m \cdot 2\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} + 2 \cdot r \cdot \operatorname{tg}^2\frac{\beta}{2} &= R - R \cdot \operatorname{tg}^2\frac{\beta}{2} \\ (2r + R) \cdot \operatorname{tg}^2\frac{\beta}{2} + 2 \cdot m \cdot \operatorname{tg}\frac{\beta}{2} - R &= 0 \end{aligned}$$

Решим квадратное уравнение:

$$\operatorname{tg}\frac{\beta}{2} = \frac{-m + \sqrt{m^2 + (2r + R) \cdot r}}{2r + R} \quad (5)$$

Вычислив угол β и зная величину r вспомогательной кривой, по таблицам круговых кривых определяем T , B , K - для вспомогательной кривой.

Из треугольника ONF находят расстояние от вершины N вспомогательной кривой до центра O основной кривой:

$$ON = d = R / \sin\beta.$$

Для контроля d вычисляют по формуле:

$$d = (m + T) / \cos\beta.$$

Угол в центре серпантин, определяющий направление на начальную и конечную точки основной кривой, определяется по формуле:

$$\gamma = 90^\circ - \beta,$$

а центральный угол основной кривой :

$$\varphi_0 = 360^\circ - 2\gamma - \varphi.$$

Длина основной кривой:

$$K = \frac{\pi r \varphi_0}{180^\circ}$$

2.1.4.3. Разбивка серпантин

При разбивке серпантин теодолит устанавливают в вершине угла поворота O и по створу направлений OA и OB откладывают величину d , получив на местности точки M и N - вершины вспомогательных кривых (рис. 200).

Отложив от этих точек по створу OA и OB длину T , находят точки A и B (начало и конец серпантин). От сторон OA и OB откладывают угол γ вправо и влево, и вдоль полученных направлений, отложив длину R , получают точки E и F (начала и конца основной кривой).

Детальную разбивку основной кривой производят через 3÷5 м. Для этого угол φ_0 делят на соответствующее количество углов и по заданным направлениям откладывают радиусы R основной кривой.

Затем, с теодолитом переходят в точку M (или N), от направления MO (NO) откладывают угол β и в этом направлении откладывают величину T, получают точку Q (P) - конец вспомогательной кривой. Для контроля измеряют угол OEF, который должен быть равен вычисленному φ_0 .

2.1.4.4. Расчет пикетажа

Расчет пикетажа для основных точек серпантинны (см. рис. 201) выполняют в следующем вычислительном формуляре:

ПК «0»	<u>Контроль:</u>
$-d + T_1$	
ПК НС (т. А)	ПК КС
$+1/2 K_{b1}$	$-(2K_b + 2m + K)$
ПК КВК ₁	ПК НС
$+ m$	
ПК НОС	
$+ 1/4OK + 1/4OK$	
ПК СОК	
$+ 1/4OK + 1/4OK$	
ПК КОК	
$+ m$	
ПК НВК ₂	
$+ 1/2 K_{b2}$	
ПК СВК ₂	
$+1/2 K_{b2}$	
ПК КС	

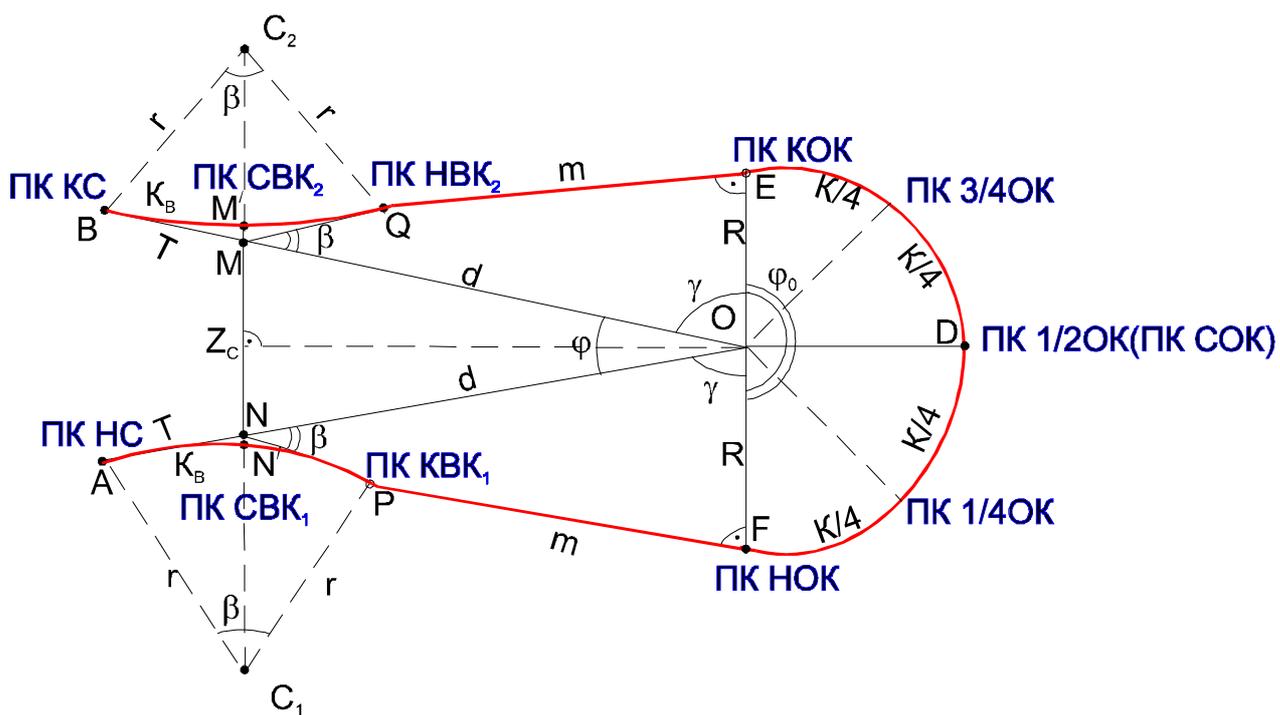


Рисунок 201.

2.1.4.5. Расчет ширины участка в самом узком месте серпантин

Для расчета ширины участка в самом узком месте серпантин Z_c (рис. 202) запишем следующее выражение:

$$Z_c = M'M + MN + NN' = B + 2 \cdot d \cdot \sin \frac{\varphi}{2};$$

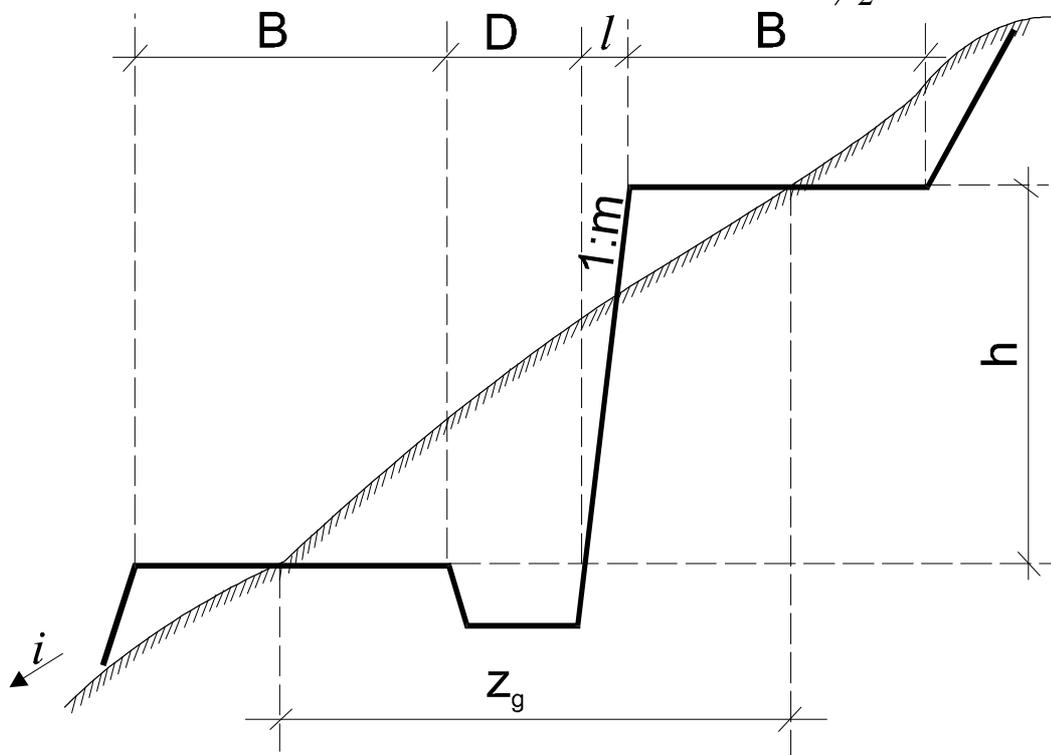


Рисунок 202.

h - превышение верхнего полотна автомобильной дороги над нижним;
 i - уклон местности по линии $M'N'$.

$$Z_g = \frac{h}{i}; \quad (1)$$

$$h = \left(\frac{B}{2} + D + l + \frac{B}{2} \right) \cdot i;$$

$$l = h \cdot m;$$

$$h = (B + D + m \cdot h) \cdot i;$$

$$h = \frac{(B + D) \cdot i}{1 - m \cdot i} \quad (2)$$

Подставим (2) в (1), получим:

$$Z_g = \frac{B + D}{1 - m \cdot i}.$$

Считается, что дорога запроектирована правильно, если $Z_c \geq Z_g$.

2.1.4.5. Построение продольного профиля и поперечников серпантин

Продольный профиль строится по отметкам характерных точек оси серпантин (рис. 203).

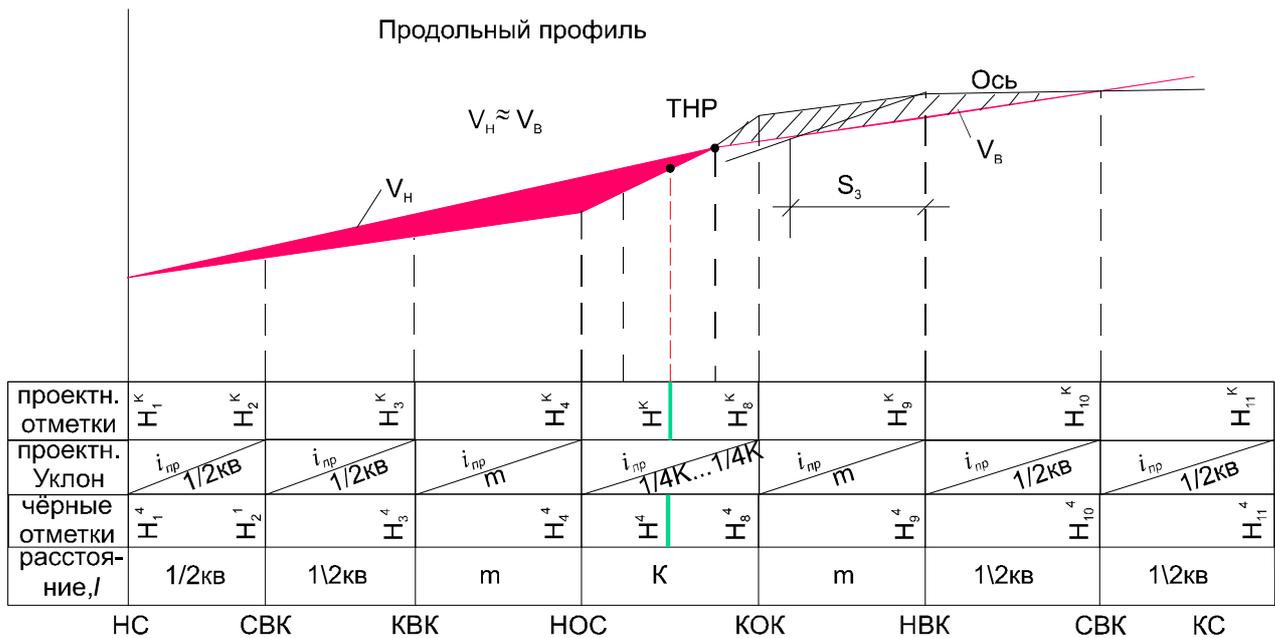


Рисунок 203 - Продольный профиль серпантин

Проектирование красной линии выполняется с соблюдением условий минимума баланса земляных работ в пределах допустимых продольных уклонов.

Запроектировав проектную ось серпантин, вычисляют проектные (красные отметки) характерных точек серпантин. Рекомендуется при проектировании проектного положения оси серпантин на прямых вставках и вспомогательных кривых максимально приближаться к существующему рельефу.

Зная проектные отметки оси серпантин, можно построить поперечники (рис. 204). Их используют для определения положения подошвы насыпи и бровки выемки.

На листе миллиметровой бумаги приблизительно по середине проводим вертикальную линию. От нее вправо и влево в соответствующем масштабе откладываем $1/2B$ (половину ширины дороги) и ширину кювета D . Слева от поперечника оцифровываем масштабную линейку отметок. По осевой линии строят проектную отметку и черную отметку для соответствующей точки. Затем, зная параметры дороги, достраивают остальной профиль поперечника.

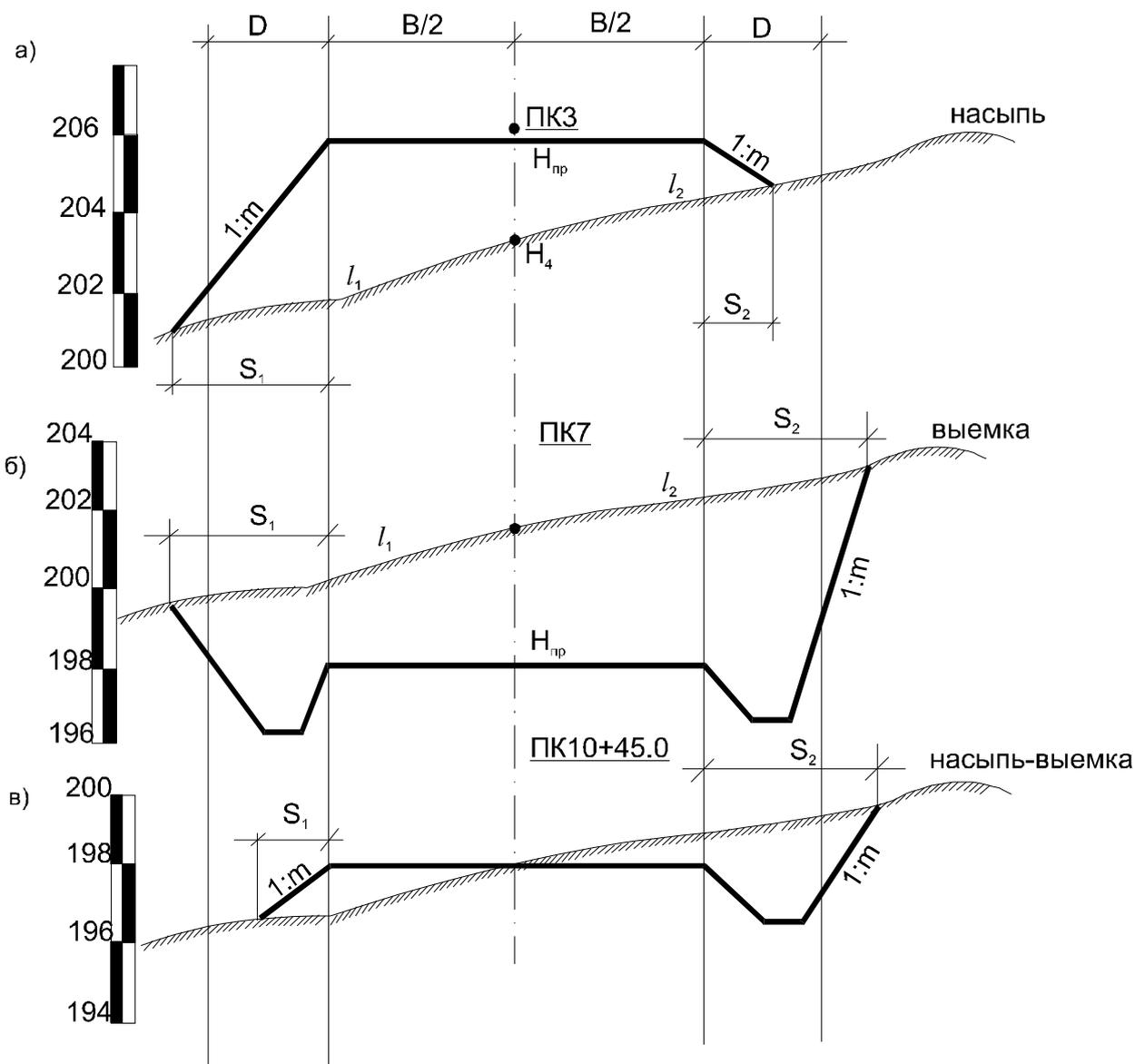


Рисунок 204 – Продольные профили поперечников серпантины

После завершения работ по построению поперечников, строят план серпантины М 1:500 (рис. 205).

Первоначально на плане уже имеется нанесенная ось дороги на серпантине.

Откладывая вправо и влево от оси дороги $B/2$ в масштабе плана, строят план дороги.

Затем, используя поперечники, достраивают на плане кюветы, насыпи и выемки. Для этого используют размеры S_1 и S_2 , взятые с поперечников. Если это выемка, то достраивают еще полосу кюветов.

Для построения точки перехода от насыпи к выемке и наоборот, на продольном профиле между соответствующими поперечниками дополнительно строят линию внешней бровки и линию внутренней бровки (получаем точку пересечения с проектной линией).

Расстояние S_3 - расстояние от точки пересечения профиля внешней бровки с проектным профилем оси дороги до ближайшего пикета или характерной точки. Это расстояние S_3 используют при построении плана серпантины.

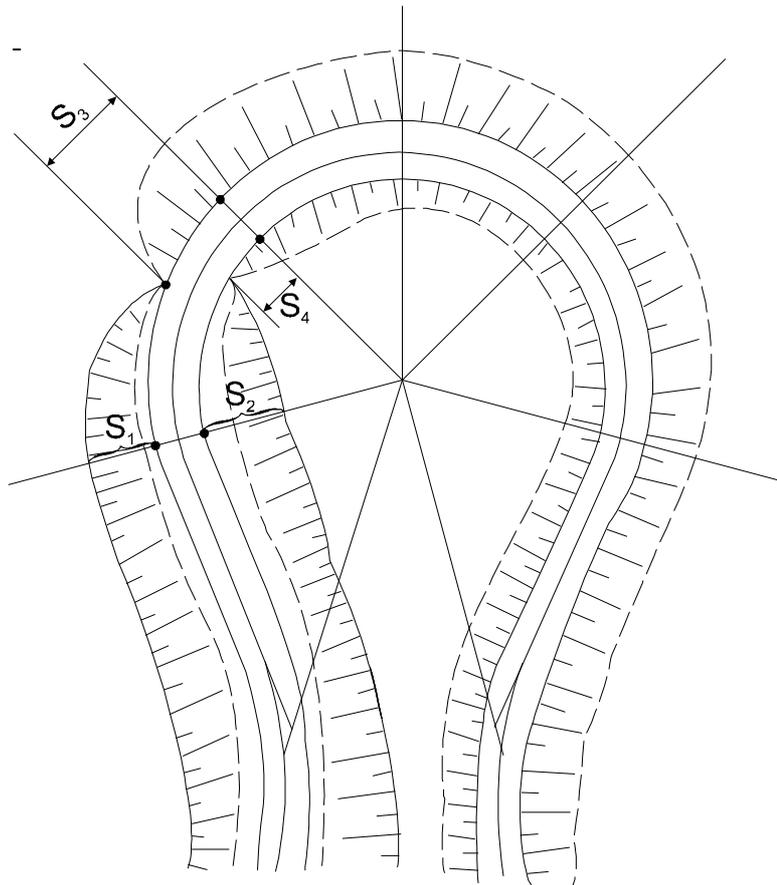


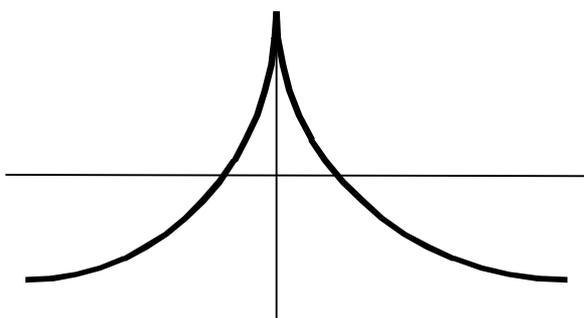
Рисунок 205 - План серпантины М 1:500 (схема)

2.1.5. Разбивка примыканий и пересечений автомобильных дорог

2.1.5.1. Примыкание в одном уровне

При примыкании и пересечении автомобильных дорог в одном уровне измеряют угол пересечения осей дорог и в наиболее благоприятных условиях местности сопрягают одну дорогу с другой. Желательно, чтобы угол пересечения осей был близок к прямому (рис. 206). В месте примыкания главная дорога должна быть по возможности прямолинейной. Минимальный радиус сопряжения по внутренней кромке проезжей части на съездах должен быть не менее 25 - 20 м. Если сопряжение выполнено под тупым углом, то рекомендуется радиус увеличивать в два раза. Сопряжение пересекающихся дорог выполняют с концевыми переходными кривыми одинакового или разного параметра и средней круговой кривой.

а) Угол между осями дорог 90°



б) Угол между осями дорог более 90°

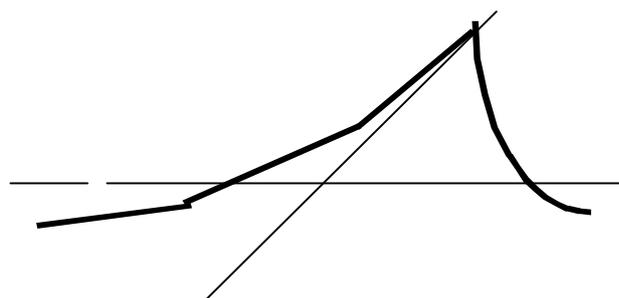


Рисунок 206.

Может быть также применена коробовая кривая, состоящая из трех кривых (рис. 207): средней k_2 с минимально допустимым радиусом R_2 и боковых k_1 и k_3 с радиусами R_1 и R_3 , в два-три раза превышающими R_2 . Тангенсы $T_{вх}$ и $T_{вых}$ определяют по принятым значениям радиусов R кривых и их центральным углам α , а также углу сопряжения φ .

Детальная разбивка входной и выходной кривых производится через 5 м способом прямоугольных координат x , y от тангенсов. Средняя часть круговой кривой разбивается ординатами y от хорды.

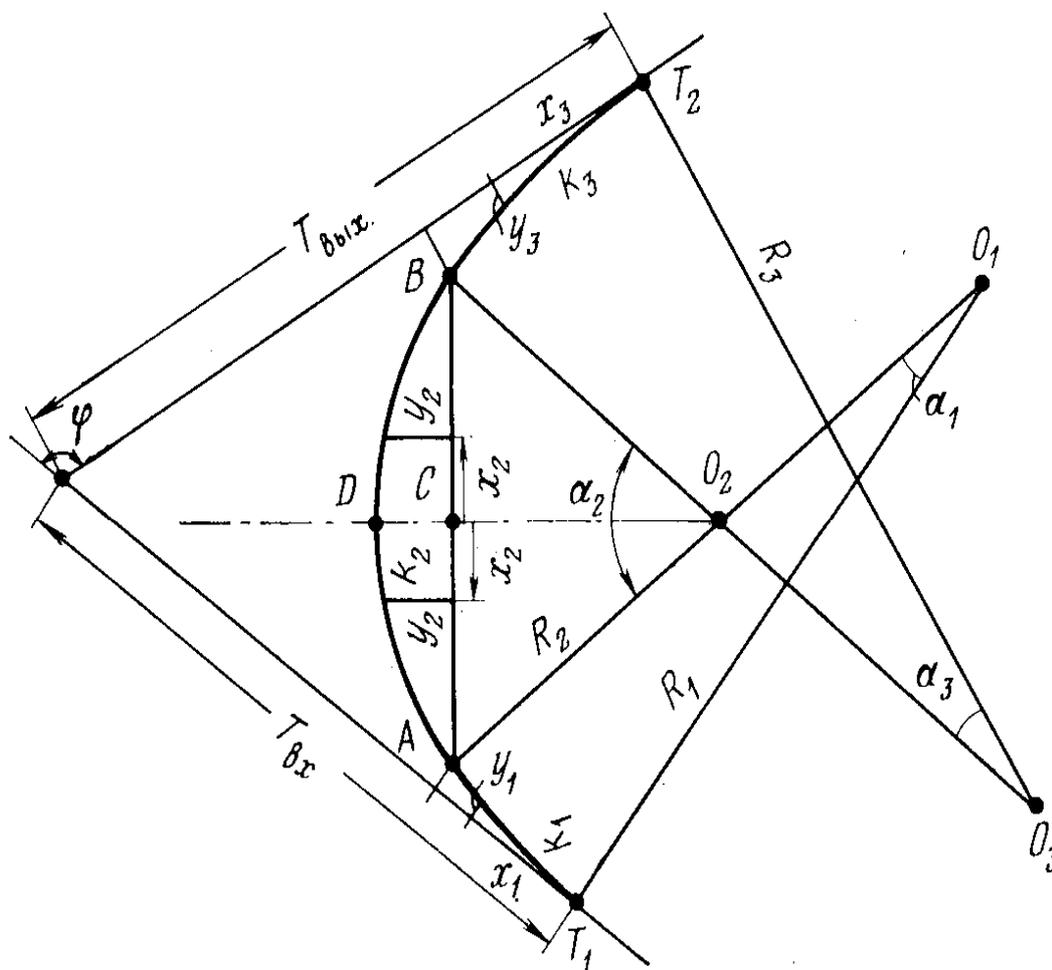


Рисунок 207 - Примыкание автодорог в одном уровне с применением коробовой кривой

При пересечении автодороги с железной дорогой в одном уровне острый угол между осями дорог должен быть не менее 60° . Подходы автодорог к переезду на протяжении 50 м проектируют с продольным уклоном не более 30 %.

2.1.5.2. Пересечение в разных уровнях

Автодороги I категории с дорогами всех категорий, дороги II категории с дорогами II и III категорий, а также важнейшие дороги III категории между собой пересекаются в разных уровнях с устройством путепровода и съездов с одной дороги на другую. На рис. 208 показана схема такого пересечения в виде “клеверного листа”. Буквой Л обозначены левоповоротные съезды, буквой П - правоповоротные соединения.

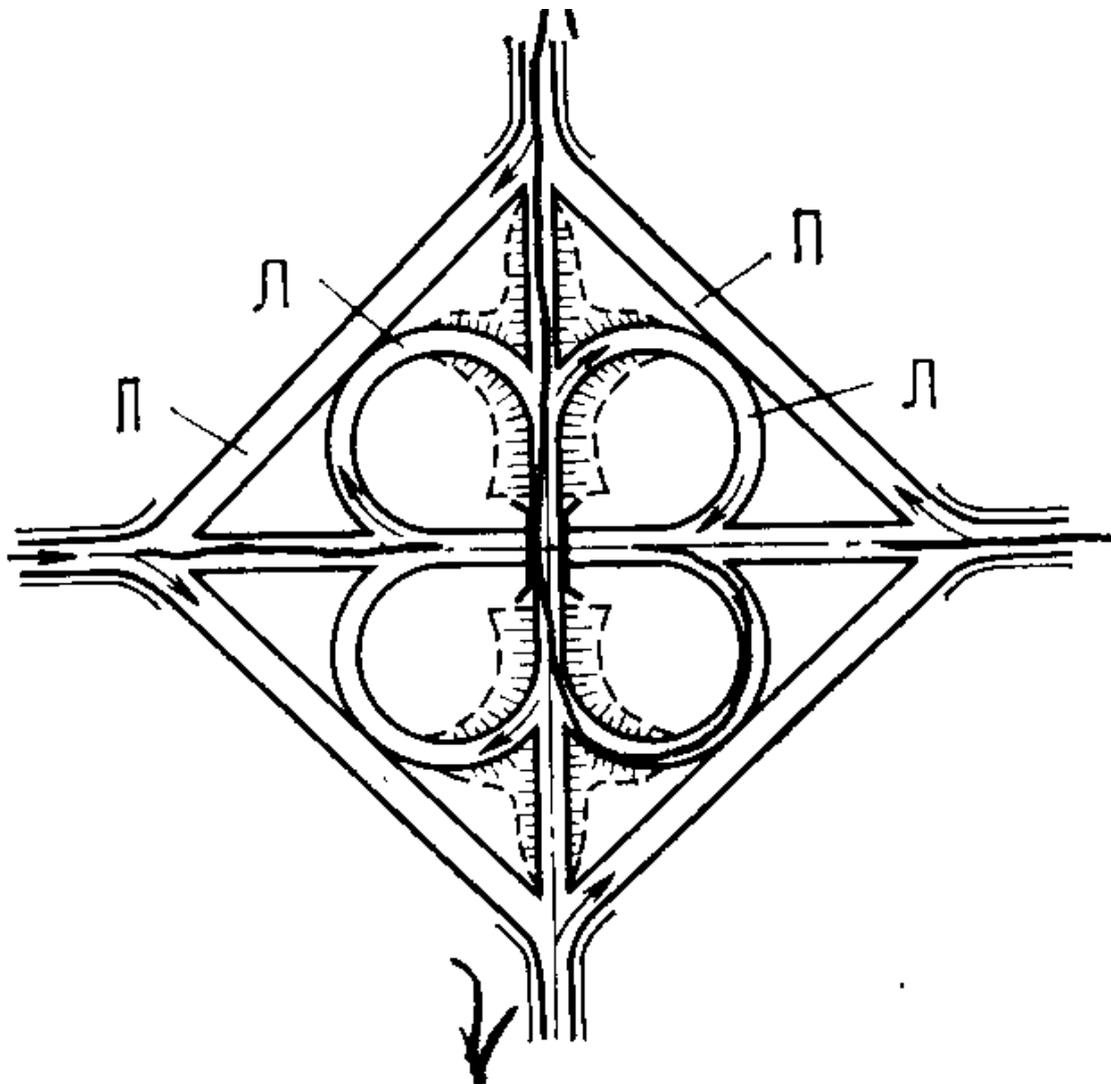


Рисунок 208 - Примыкание автодорог в разных уровнях в виде “клеверного листа”

Радиусы левоповоротных съездов должны быть не менее 60 - 50 м, правоповоротных - не менее 250 м (дороги I и II категорий) и 125 м (дороги III категории). Ширина проезжей части однопутных левоповоротных съездов - 5,5 м, правоповоротных - 5 м без устройства дополнительных уширений на кривых. Ширина обочин на съездах принимается с внутренней стороны кривых 1,5 м, с внешней стороны 3 м.

На всех однопутных съездах устраивают вираж с уклоном 20-60%. Продольный уклон дорог на подходах к путепроводу и на съездах проектируют не более 40%. Наименьшие радиусы вертикальных выпуклых кривых принимают на левоповоротных съездах для дорог I - II категорий 1500 м, правоповоротных съездах - 5000 м, для вогнутых кривых соответственно 1200 и 2000 м.

На дорогах I и II категорий, а иногда и III категории на съездах проектируют переходно-скоростные полосы разгона и торможения, в пределах которых машина

набирает скорость при выезде на магистраль или, наоборот, снижает скорость для выезда на съезд. Длина полос разгона составляет 150-200 м, торможения 100-75 м, их ширина принимается равной полосе движения основной дороги (3.5 м) с обочиной в 1.5 м при длине отгона 80-60 м.

Для составления проекта пересечения и расчета элементов съездов производят съемку в масштабе 1:1000-1:2000 с высотой сечения рельефа 0.5-1 м участка, достаточного для размещения всех частей пересечения, и измеряют в натуре углы между осями пересекающихся дорог.

На рис. 209 OM и OM' - оси автомагистралей, AP и AP' - оси переходно-скоростных полос. Для разбивки левоповоротного съезда необходимо на местности определить положение точек B и B' - начала и конца круговой кривой съезда и центра кривой C .

Так как в точках B и B' прямые участки полосы перпендикулярны к радиусу кривой, то из прямоугольных треугольников ABC и $AB'C$ имеем

$$AB = AB' = r / \operatorname{tg}(\beta / 2),$$

где r - радиус петли, β - угол пересечения осей дорог.

Отложив вдоль осей переходно-скоростных полос расстояния AB и AB' , найдем на местности точки B и B' , от которых разбивают кривую на петлях съезда способом координат по частям. Для этого делят угол ψ на четыре части и в таблицах кривых по аргументам r и $\psi/4$ находят элементы для каждой кривой. В месте сопряжения переходно-скоростной полосы и петли съезда вставляют кривую. При небольшом радиусе r кривая BDB' может быть разбита непосредственно из центра C .

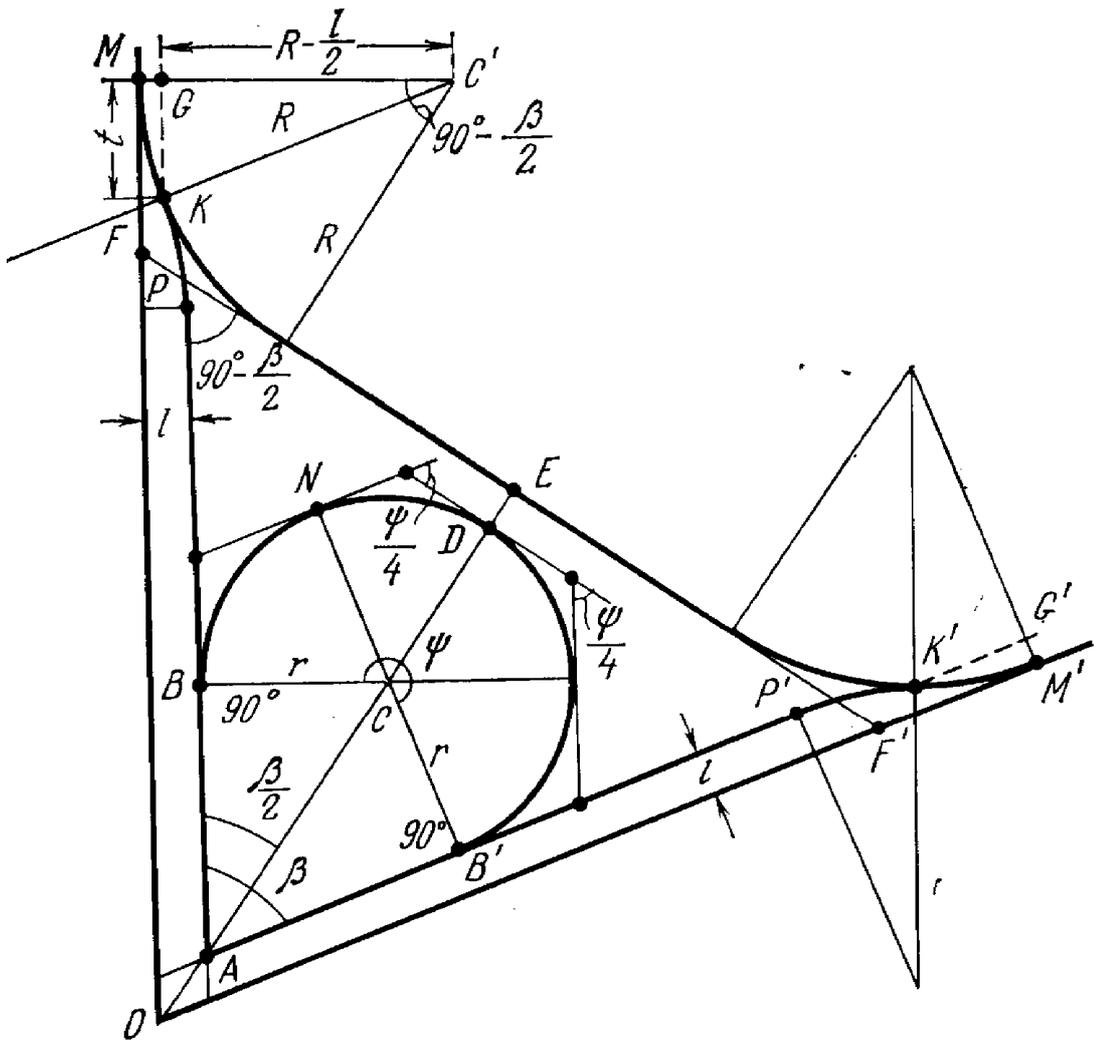


Рисунок 209 - Разбивка петли съезда и соединения правого поворота

Для разбивки правоповоротного соединения находят положение вершин углов поворота F и F'.

Из прямоугольного треугольника OEF

$$OF = \frac{OE}{\cos \beta / 2}.$$

Расстояние OE=OA+AD+DE,
при этом

$$OA = \frac{l}{\sin \beta / 2}, \quad (a)$$

где l - расстояние между осями магистрали и переходно-скоростной полосы.
Отрезок

$$AD = AC + r = \frac{r}{\sin \beta / 2} + r = r \left(1 + \frac{1}{\sin \beta / 2} \right). \quad (б)$$

Отрезок OD назначают из условия свободного размещения половины земляного полотна левого съезда В, половины полотна соединения правого поворота В' и некоторого запаса D на устройство кювета, т.е.

$$DE=B/2+B'/2+D. \text{ (в)}$$

С учетом формул (а), (б) и (в) расстояние

$$OE = \frac{l}{\sin \beta / 2} + r \left(1 + \frac{1}{\sin \beta / 2} \right) + \frac{B}{2} + \frac{B'}{2} + D.$$

После вычисления расстояний OE и OF находят в натуре положение точек F и F', из которых, как вершин углов поворота, разбивают кривые. Элементы кривых определяют по радиусу R, который желательно иметь не менее 600 м, и по углу поворота, равному $90^\circ - \beta / 2$.

Отложив от начала кривой М вдоль тангенса величину t и ординату l/2, находят К-точку перехода с правого поворота на скоростную полосу. Из треугольника КС'G величина

$$t = \sqrt{R^2 - (R - l/2)^2} = \sqrt{Rl - (l/2)^2}.$$

Пересечение автомобильных дорог I-III категорий с железными дорогами проектируют в разных уровнях. При изысканиях дорог IV-V категорий также стремятся найти варианты, исключая пересечение дороги в одном уровне.

2.1.6. Железные дороги

2.1.6.1. Классификация железных дорог

Ж/д подразделяются на три категории:

1-я категория - магистрали, обеспечивающие общегосударственные транспортные связи внутри страны и с зарубежными странами (скорость 150 км/ч);

2- категория - дороги, обеспечивающие межрайонные грузовые и пассажирские перевозки (скорость 100-120 км/ч);

3-я категория - линии местного значения с пропускной способностью до 3 пар поездов в сутки.

Максимальные уклоны и минимальные радиусы на железных дорогах:

Наименование	I	II	III
1. Максимальный уклон в ‰	15	15	20
2. R кривизны в горизонтальной плоскости:			
max, м	4000	4000	4000
min, м	200	800	600
3. R кривизны в вертикальной плоскости в м	10000	10000	5000

Строение земляного полотна железной дороги

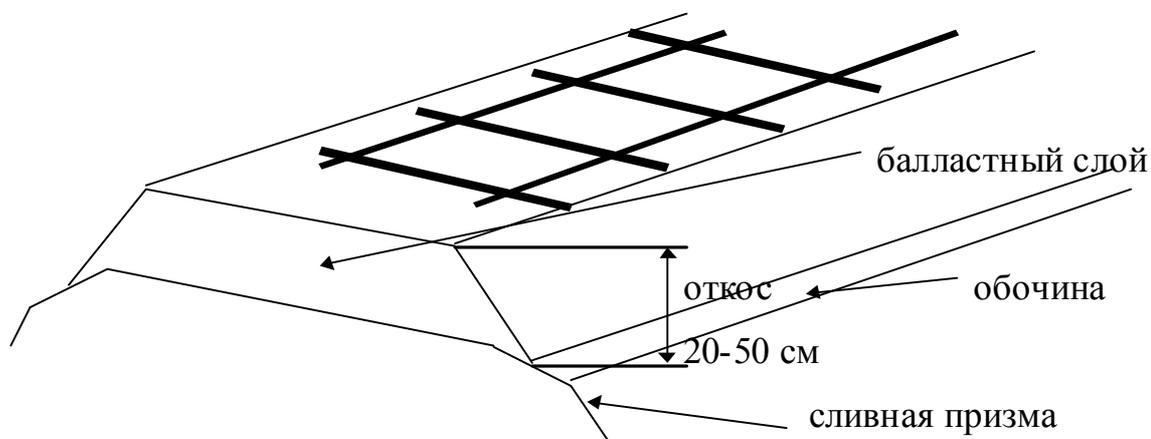


Рисунок 210- Строение земляного полотна железной дороги

Основной частью ж/д полотна является верхнее строение - рельсы со шпалами, уложенные на балластный слой (рис.210). Для лучшего стока воды земляное основание под балластным слоем устраивают в виде так называемой сливной призмы. На однопутных дорогах, ширина земляного полотна которых равна в песчаных грунтах 5.8 м, в глинистых - 6.5 м. Сливная призма в сечении имеет трапециевидную форму с верхним основанием 2.30 м. и высотой 0.15 м. На двух путных дорогах шириной 10 м сливная призма строится с треугольным основанием, равным половине ширины полотна, и высотой 0.20 м. Вдоль ж/д полотна устраивают боковые водоотводные каналы - кюветы.

Стандартная длина рельсов 25 м. Ширина колеи - расстояние между рабочими гранями головки рельсов, обращенных внутрь пути 1524 мм (для узкоколейных - 1000-750 мм) (рис. 211).

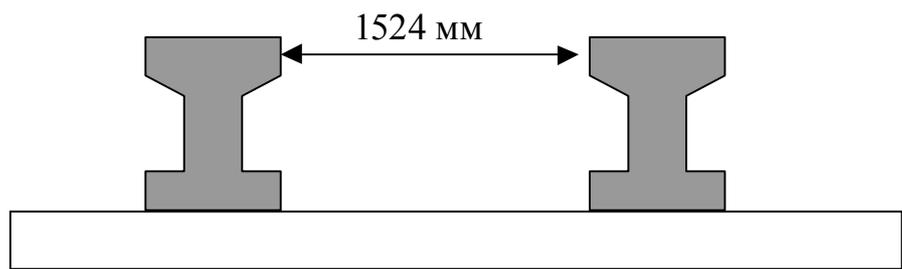


Рисунок 211.

Тип рельсов определяют по данным службы ж/д путей (например, Р38, Р43, Р65, Р75 с высотой головки рельсов от 135 до 192 мм и шириной головки рельса от 38 до 75 мм).

2.1.6.2. Разбивка соединений и парковок железнодорожных путей

А) Примыкания путей.

Примыкания, как и любые соединения железнодорожных путей, осуществляют при помощи стрелочных переводов, которые стремятся расположить на прямых участках пути. Основными частями стрелочного перевода являются (рис. 212): острия 1 с переводным механизмом 2, переводная кривая 3 и крестовина 4. Угол между рабочими гранями крестовины называется углом крестовины. Выражение $2tg\alpha / 2$ называют маркой стрелки и обозначают через $1/N$. По малости угла α

$$1/N = 2tg\alpha / 2 \approx tg\alpha \quad (1)$$

На грузовых линиях наиболее распространена марка стрелочных переводов $1/9$ ($\alpha = 6^\circ 20' 25''$), а на пассажирских линиях $1/11$ ($\alpha = 5^\circ 11' 40''$), $1/22$ ($\alpha = 2^\circ 35' 50''$).

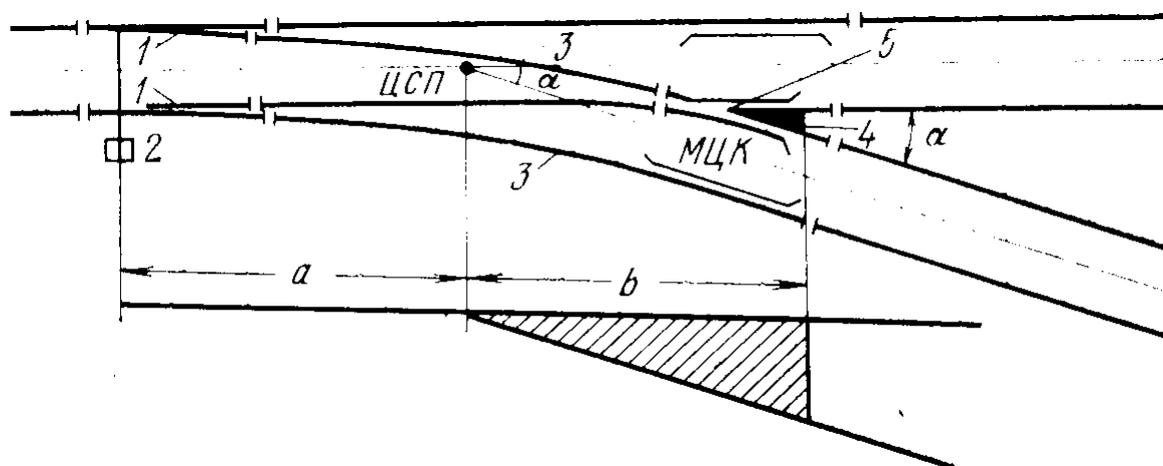


Рисунок 212 - Стрелочный перевод

Точка 5 (см. рис. 212) пересечения граней крестовины называется математическим центром крестовины (МЦК), пересечение осей двух соединяющихся путей - центром стрелочного перевода (ЦСП). Расстояния a от центра стрелочного перевода до начала стрелки и b до конца крестовины, а также до других частей стандартны и приводятся в таблицах для всех марок стрелочных переводов и типов рельсов. При разбивке стрелочного перевода на местности фиксируют положение его центра, от которого по известным размерам размещают все его элементы.

Для разбивки примыкания трассируемого пути CL (рис. 213, а) к существующему АК находят точку пересечения осей путей B и измеряют угол примыкания β .

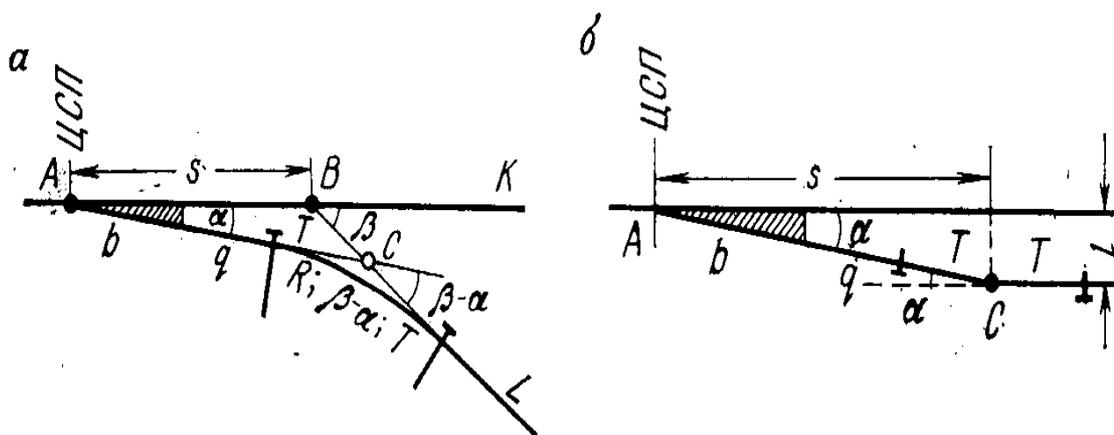


Рисунок 213 - Примыкание железнодорожных путей:

а) под углом β ; б) параллельных путей

Так как стрелочный перевод отклоняет путь на постоянный угол α , то для соединения путей CL и BK необходимо центр стрелочного перевода разместить не в вершине угла примыкания B, а в некоторой точке A. Расстояние $AB = s$ может быть найдено из решения треугольника ABC, в котором известны все три угла: α , $180^\circ - \beta$, $\beta - \alpha$ и сторона $AC = b + q + T$,

$$s = \frac{(b + q + T) \sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta}, \quad (2)$$

где угол α и величина b определяются по марке перевода; угол β измеряют на местности, прямая вставка q задается, тангенс T берут из таблиц кривых по углу поворота $\beta - \alpha$ и принятому радиусу R или вычисляют

$$T = R \operatorname{tg}(\beta - \alpha) / 2. \quad (3)$$

Отложив по оси пути от точки примыкания B отрезок s , получили точку A - центр стрелочного перевода. Для нахождения на местности положения вершины угла поворота C откладывают вдоль трассируемой линии расстояние BC, величина которого определяется из треугольника ABC

$$BC = \frac{(b + q + T) \sin \alpha}{\sin \beta}, \quad (3)$$

Эту же точку можно определить, если в центре стрелочного перевода построить угол крестовины α и вдоль стороны AC полученного угла отложить расстояние $b + q + T$.

Угол поворота трассы в вершине C равен $\beta - \alpha$. Таким образом, общий угол примыкания путей с учетом угла отклонения, который задает стрелочный перевод, будет равен сумме углов α и $\beta - \alpha$, т.е. равен углу β .

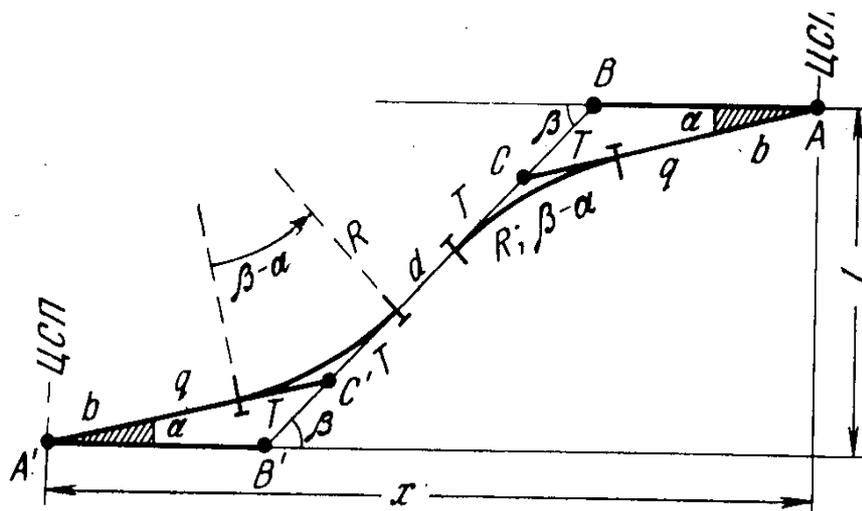


Рисунок 214 - Разбивка съезда между параллельными путями

Если место установки стрелочного перевода задано, то в этом случае разбивка примыкания производится в обратном порядке. Сначала в заданном центре стрелочного перевода А откладывают угол α соответственно марке принятой стрелки, затем находят точку С пересечения найденного направления с разбиваемой трассой и измеряют угол поворота. Если трассируемая линия проходит сравнительно далеко, то угол поворота выбирают с таким расчетом, чтобы удобно было соединиться с трассой. В обоих случаях радиус кривой на повороте назначают по возможности большим, однако величина $b + q + T$ не должна превышать расстояния от центра стрелочного перевода до установленной вершины угла поворота.

При примыкании параллельных путей расстояние от центра стрелочного перевода А до вершины угла поворота С (рис. 213,б)

$$s = \frac{l}{\operatorname{tg} \alpha} = l * N,$$

где l -расстояние между осями путей. Угол поворота в точке С равен углу крестовины α . Следовательно тангенс кривой равен:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{R}{2N},$$

а прямая вставка равна:

$$q = \frac{l}{\sin \alpha} - (b + T).$$

Соединение параллельных путей может быть решено при помощи съездов (см. рис. 214). При однотипных стрелочных переводах и одинаковых радиусах кривых положение второго ЦСП А' относительно первого А находится проектированием съезда на ось абсцисс (ось первого пути)

$$x = 2(b + q + T) \cos \alpha + (2T + d) \cos \beta.$$

Проекция съезда на ось ординат составит

$$y = 2(b + q + T) \sin \alpha + (2T + d) \sin \beta,$$

откуда величина прямой вставки вычисляется по формуле

$$d = \frac{l - 2(b + q + T) \sin \alpha}{\sin \beta} - 2T.$$

Для вычисления по этим формулам величин d и x расстояние l между осями путей и угол примыкания β измеряют на местности или берут с крупномасштабного плана, по которому проектируют съезд. Угол крестовины α и величину b определяют по марке перевода. Величину вставки q задают в зависимости от того, насколько это позволяют условия местности.

При разбивке съезда в натуре находят положение центров стрелочных переводов A и A' (один из них находится по пикетажу пути, другой по координатам x и y). После построения в этих точках угла крестовины α и отложения расстояния $b + q + T$ определяют вершины углов поворота C и C' . Расстояние между этими вершинами с точностью до 1:2000 должно быть равно $2T + d$, что является контролем разбивочных работ.

Б) Стрелочная улица

Стрелочная улица – это железнодорожный путь, на котором располагается ряд стрелочных переводов для ответвления параллельных путей, создающих парк путей (рис. 215).

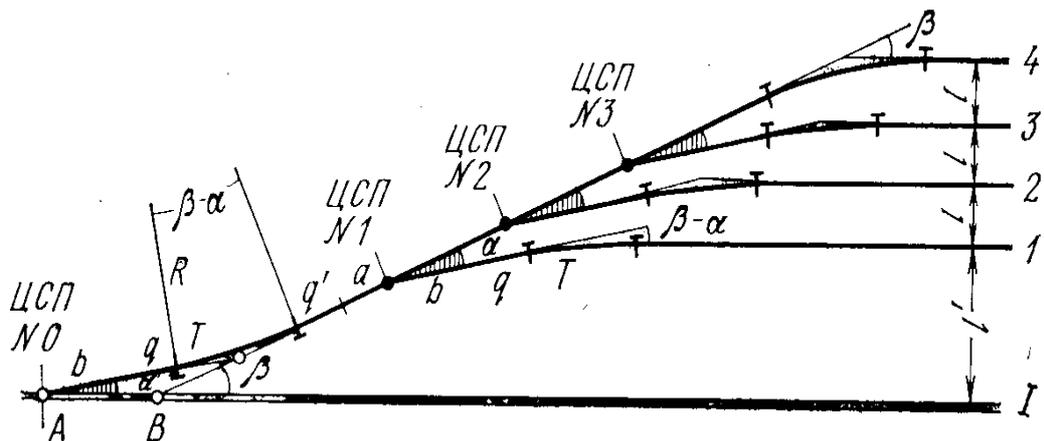


Рисунок 215 -Стрелочная улица

Для разбивки стрелочной улицы вначале под углом крестовины α к главному пути от начального стрелочного перевода откладывают величину b , прямую вставку q и длину тангенса T . В найденной вершине поворота строят угол $180^\circ - (\beta - \alpha)$. Получают направление стрелочной улицы, вдоль которой, согласно проекту, разбивают стрелочные переводы.

При разбивке примыканий путей и стрелочных улиц особое внимание следует обратить на то, чтобы центры переводов располагались строго на осях путей или стрелочных улиц. Предельное отклонение центра стрелочного перевода от оси (поперечная ошибка) не должно превышать ± 1 см.

В) Парки путей.

К разбивке парков путей предъявляют два основных требования:

- центры всех стрелочных переводов на стрелочной улице должны располагаться на одной прямой линии;
- оси всех путей парка должны быть параллельными.

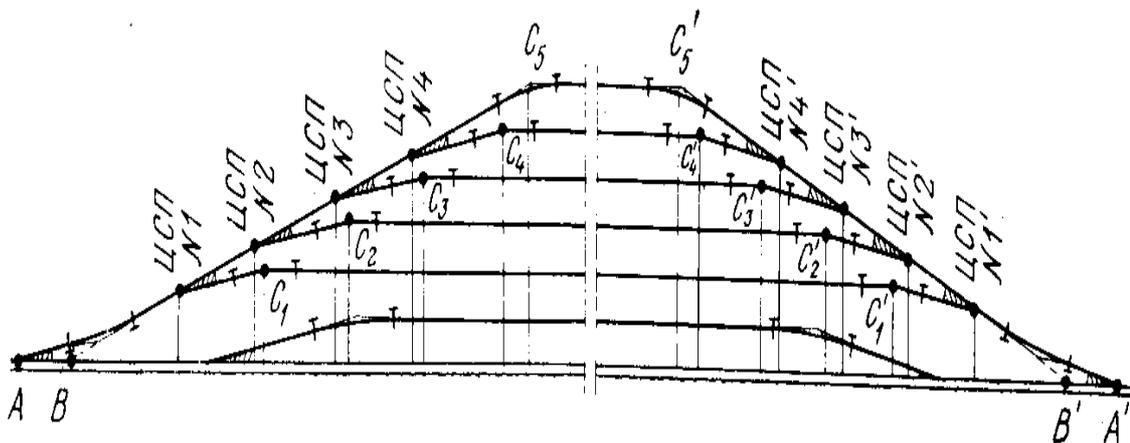


Рисунок 216 - Парк путей

Вынесенные в натуру стрелочные улицы и парки путей тщательно закрепляют, чтобы точками разбивки можно было пользоваться не только при возведении земляного полотна, но и при укладке путей. Наиболее тщательно закрепляют центры стрелочных переводов и вершины углов поворота. Эти точки одной или двумя створными плоскостями крепятся за пределами зоны земляных работ.

На земляном полотне дополнительно разбивают положение габаритных столбиков, обозначающих полезную длину путей, в пределах которой возможна стоянка вагонов. Габаритные столбики устанавливают на середине междупутья, в местах, где расстояние между осями сходящихся путей равно 4,10 м, т.е. достаточно для безопасного прохождения подвижного состава мимо стоящего вагона.

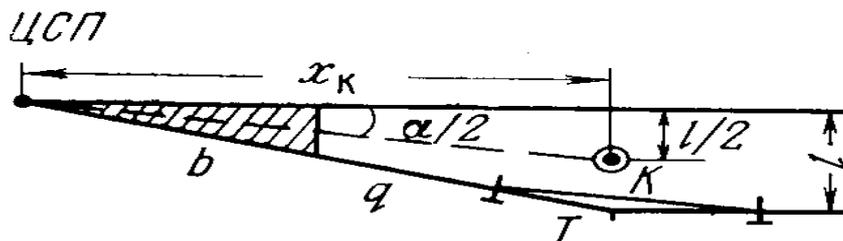


Рисунок 217 -Определение положения габаритного столбика

Согласно рис.217, координаты габаритного столбика К относительно ближайшего ЦСП будут:

$$x_K = \frac{l/2}{\operatorname{tg} \alpha / 2} = \frac{l}{2 \operatorname{tg} \alpha / 2} = l \cdot N,$$

$$y_K = l/2.$$

Г) Поворотные устройства.

Для поворота состава на 180^0 устраивают поворотные треугольники или поворотные петли.

Поворотные треугольники. Основными данными для разбивки поворотного треугольника служат координаты x_D и y_D (рис. 218) центра стрелочного перевода D,

расположенного в вершине треугольника. Эти координаты задаются относительно центров стрелочных переводов А и А', положение которых находят по пикетажу основного пути.

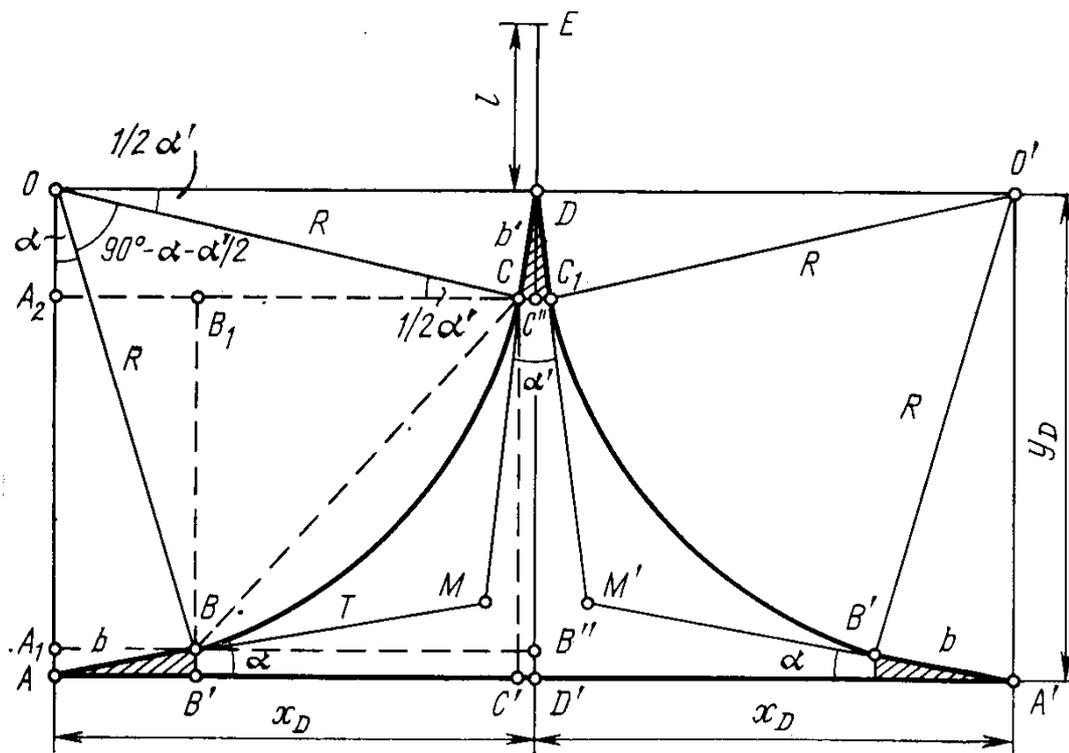


Рисунок 218 - Разбивка поворотного треугольника

Точные координаты точки D определяются как проекция ломаной ABCD соответственно на ось абсцисс и ось ординат:

$$x_D = b \cdot \cos \alpha + R \cdot (\cos \alpha' / 2 - \sin \alpha) + b' \cdot \sin \alpha' / 2,$$

$$y_D = b \cdot \sin \alpha + R \cdot (\cos \alpha - \sin \alpha' / 2) + b' \cdot \cos \alpha' / 2$$

При разбивке поворотного треугольника на местности по пикетажу основного пути находят точку А - центр начального стрелочного перевода. Отложив от этой точки по оси пути абсциссу x_D и под прямым углом ординату y_D , находят положение центра стрелочного перевода тупика D. Затем отмеряя по оси основного пути от точки D' абсциссу x_D , получают точку А'- центр второго стрелочного перевода.

Если в точках А и А' построить угол крестовины α и отложить величины b и

$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{90 - \alpha - \alpha' / 2}{2},$$

то определится положение вершин углов поворота М и

М', т.е. будут найдены все главные точки, необходимые для разбивки поворотного треугольника.

Для контроля в точке D следует измерить углы MDD' и M'DD' и отрезки DM и DM'. В пределах точности измерений эти углы должны быть равны $\alpha' / 2$, а отрезки - величине b+T. Точки М, М' и D могут быть несколько смещены, чтобы указанные равенства были соблюдены.

Детальная разбивка криволинейных участков производится от точек ВВ' и С, С', являющихся началом и концом кривых. Ось DE тупика разбивается как продолжение направления DD' (по биссектрисе угла α').

Поворот на 180° с помощью петли. Правоповоротная петля состоит из прямого участка $AG = x$, основной кривой $DEFG$, прямой вставки DC , обратной соединяющей кривой CB , которая соединяет стрелочный перевод с прямым участком (рис. 219).

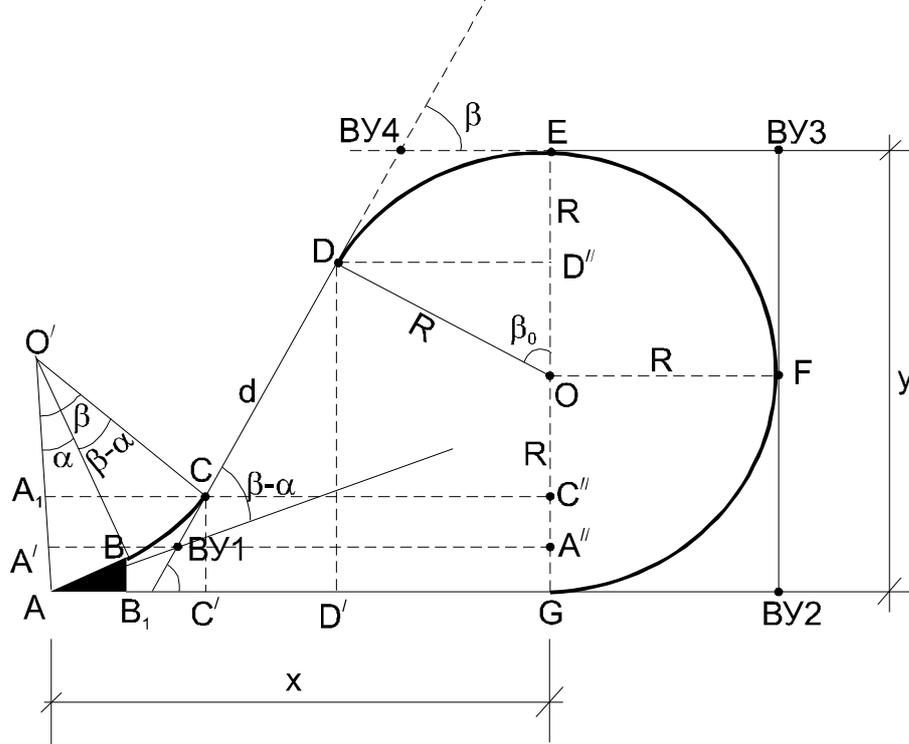


Рисунок 219 – Поворот с помощью петли

Выполним необходимые расчеты:

$$x = AB_1 + B_1C' + C'D' + D'G$$

$$AB_1 = b \cdot \cos \alpha$$

$$B_1C' = A_1C - A_1B_1 (A'B) = R \cdot \sin \beta - R \cdot \cos \alpha$$

$$C'D' = d \cdot \cos \beta$$

$$D'G = DD'' = R \cdot \sin \beta$$

$$x = b \cdot \cos \alpha + R \cdot (\sin \beta - \cos \alpha) + d \cdot \cos \beta + R \cdot \sin \beta$$

$$y = GA'' + A''C'' + C''D'' + D''E = 2R$$

$$y = b \cdot \sin \alpha + R \cdot \cos \alpha - R \cdot \cos \beta + d \cdot \sin \beta + R - R \cdot \sin \beta$$

$$A''C'' = O'A' - O'A_1 = R \cdot \cos \alpha - R \cdot \cos \beta$$

Угол β определяется из проекции характерных точек поворотной петли на ось y .

$$d \cdot \sin \beta - 2R \cdot \cos \beta = R - b \cdot \sin \alpha - R \cdot \cos \alpha$$

$$\cos \beta = \frac{b \cdot \sin \alpha - R(1 - \cos \alpha)}{2R}$$

Разбивку поворотной петли начинают с определения положения стрелочного перевода A . Затем на местности разбивают вершины углов поворота $BУ1, BУ2, BУ3, BУ4$ и конечные точки кривых B, C, D, F, E, G . От них производят детальную разбивку петли.

2.1.7. Съёмка железнодорожных путей

2.1.7.1. Основные формулы

Для нормальной эксплуатации железнодорожного пути периодически производят его съёмку, по результатам которой подбирают параметры кривых, наиболее близко подходящие к существующим, и определяют величины правки, или рихтовки, пути, чтобы придать ему расчетную форму.

При рихтовке пути точки кривой M , N (рис. 220.) описывают некоторые линии $M'M$, $N'N$, которые близки к нормали кривой.

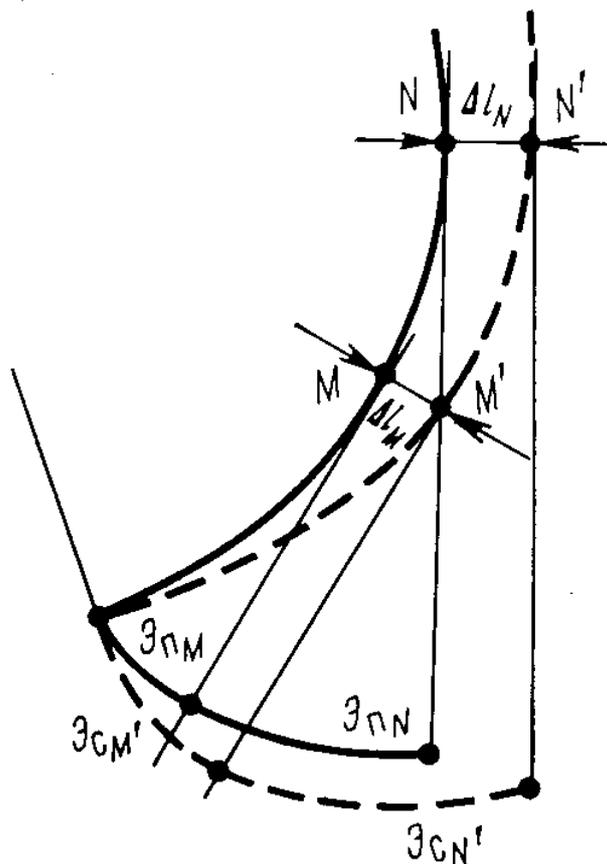


Рисунок 220 - Расчет величин рихтовки пути на кривой

Так как величина сдвижки пути небольшая, то она рассчитывается по разности эвольвент кривой: проектной $\mathcal{E}_п$ и снятой в натуре $\mathcal{E}_с$, т.е.

$$\Delta l_M = \mathcal{E}_{ПМ} - \mathcal{E}_{СМ};$$

$$\Delta l_N = \mathcal{E}_{ПН} - \mathcal{E}_{СН}.$$

В общем виде для точки i

$$\Delta l_i = \mathcal{E}_{П_i} - \mathcal{E}_{С_i}.$$

Как известно, эвольвентой называют траекторию, которую описывает конец гибкой и нерастяжимой нити, сматываемой с некоторой кривой. Эта кривая является геометрическим местом центров кривизны эвольвенты, т.е. ее эволютой. Поэтому нормаль

к эвольвенте в некоторой точке М одновременно будет касательной к кривой (эволюте) в точке В (рис. 221).

Длина эвольвенты Э от начальной точки кривой А до текущей точки В

$$\Theta = \int_0^s \varphi dx$$

где s - длина кривой АВ, φ - угол между начальной касательной (линией тангенса) в точке А и текущей в точке В.

Так как

$$\frac{d\varphi}{ds} = \frac{1}{\rho},$$

где ρ - радиус кривизны, то

$$\varphi = \int_0^s \frac{1}{\rho} ds.$$

Для круговой кривой радиуса R ($\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R}$) и, следовательно,

$$\varphi = 1/R \int_0^s ds = s/R.$$

Подставляя по этой формуле значение φ в формулу вычисления длины эвольвенты, получаем формулу для вычисления эвольвенты круговой кривой

$$\Theta = 1/R \int_0^s s ds = s^2 / 2R.$$

Для переходной кривой типа радиальной спирали $1/\rho = s/C$. Тогда

$$\varphi = 1/C \int_0^s s ds = s^2 / 2C;$$

$$\Theta = 1/2C \int_0^s s^2 ds = s^3 / 6C,$$

где C- параметр переходной кривой.

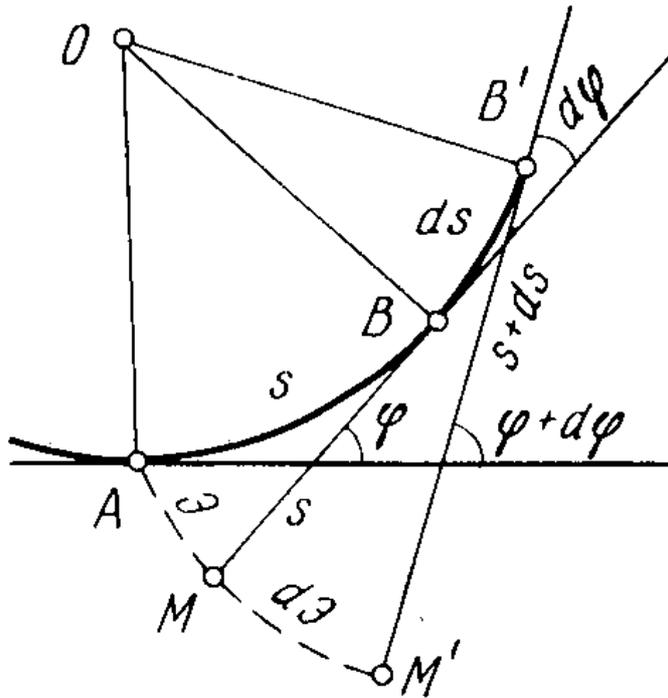


Рисунок 221 - Эвольвента

На основании вышесказанного величина снятой в натуре эвольвенты подсчитывается по приближенной формуле

$$\sum \mathcal{E}_{C_i} = \sum_1^i \varphi_i \cdot d_i,$$

где d_i -отрезки (хорды), на которые при съемке делится кривая; φ_i - угол поворота хорд d относительно начальной линии тангенса (“азимут хорд”).

2.1.7.2. Способы съемки кривых

В зависимости от метода определения азимутов φ различают несколько способов съемки кривых:

- ◆ способ эвольвентных разностей: углы φ определяют по измеренным в натуре теодолитом углам поворота хорд;

- ◆ способ стрел изгиба: углы φ рассчитывают по измеренным в натуре стрелам изгиба кривой в середине хорды d ;

- фотограмметрический способ: углы φ измеряют на специальном фотограмметрическом приборе по крупномасштабным аэрофотоснимкам кривой.

А) Способ эвольвентных разностей

(разработан И.В. Гоникбергом).

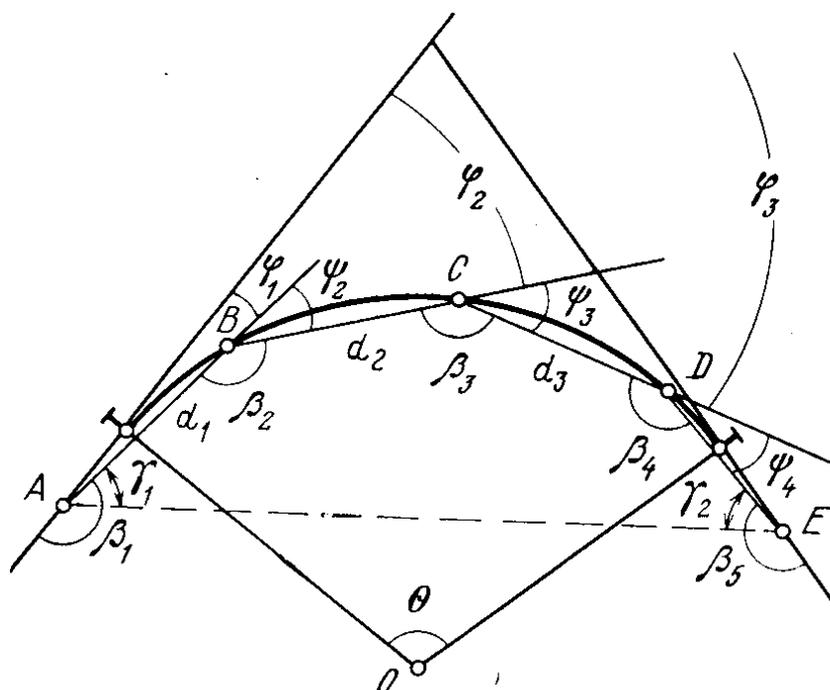


Рисунок 222 - Схема съемки железнодорожной кривой по способу эвольвентных разностей

На снимаемом участке пути лентой или рулеткой отмечают на внешней нитке пути 20-метровые отрезки (“элементарные хорды”) и разбивают 100-метровые пикеты, при этом конечные точки А и Е (рис. 222) выбирают на прямых участках на расстоянии 40-60 м от видимого начала и конца кривой.

На пикетах теодолитом измеряют углы поворота хорд $\beta_1, \beta_2, \beta_3 \dots$ и при возможности примычные углы γ_1, γ_2 . Одновременно на плюсовых точках +20, +40, +60, +80 (рис. 4) способом бокового нивелирования при помощи теодолита и горизонтально установленной рейки измеряют стрелы изгиба кривой от хорды между пикетами. Рейка закрепляется особым башмаком на гранях головки рельса, ее нулевой отсчет (“пятка”) совпадает с продольной осью рельса.

На пикетах А, В, С, D теодолит и визирные марки также центрируются над осью рельса. Стрелы изгиба измеряют дважды: в прямом (А-АВ) и обратном (В-ВА). Из двух значений стрел берут среднее, разность между ними не должна превышать 5 мм.

В пикетных точках А, В, С... по измеренным углам β_i вычисляют углы поворота хорд $\psi_i = 180 - \beta_i$ и азимуты хорд относительно линии тангенса (рис. 222):

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \psi_1; \\ \varphi_2 &= \psi_1 + \psi_2; \\ \varphi_3 &= \psi_1 + \psi_2 + \psi_3; \\ &\dots\dots\dots \\ \varphi_i &= \sum_1^i \psi_i; \end{aligned} \right\}$$

Так как отрезки $d = 20n$, где n - число 20-ти метровых хорд между соседними пикетами (обычно $n=5$, в конечных хордах n может быть равно 3 или 4), то получим (углы φ взяты в радианах)

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_{C_1} &= 20n_1 \varphi_1; \\ \vartheta_{C_2} &= \vartheta_{C_1} + 20n_2 \varphi_2 = 20(n_1 \varphi_1 + n_2 \varphi_2); \\ \vartheta_{C_3} &= \vartheta_{C_2} + 20n_3 \varphi_3 = 20(n_1 \varphi_1 + n_2 \varphi_2 + n_3 \varphi_3); \\ &\dots\dots\dots \\ \vartheta_{C_i} &= 20 \sum_1^i n_i \varphi_i. \end{aligned} \right\}$$

Для вычисления эвольвент плюсовых точек используют измеренные стрелы изгиба кривой. Приращение эвольвенты на 20-ти метровый отрезок составляет

$$\Delta \vartheta = d\varphi - \Delta f = 20\varphi - \Delta f,$$

где Δf - алгебраическая разность стрел изгиба соседних точек (рис. 223). Последовательно суммируя величины приращений находят длины эвольвент для точек +20, +40, +60, +80.

Так как в пределах каждого пикета $\sum \Delta f = 0$ и, следовательно,

$$\sum_1^n (20\varphi - \Delta f) = 20\varphi,$$

то для пикетажных точек должно соблюдаться равенство

$$\sum_1^i \sum_1^n (20\varphi_i - \Delta f) = 20 \sum_1^i n\varphi_i,$$

что является контролем вычисления эвольвент.

При подборе радиуса кривой соблюдают условие, чтобы общий угол поворота существующей кривой, образованной линиями тангенсов, был равен проектному ($\varphi_c = \varphi_n$) и кривая вновь подбираемого радиуса вписывалась в этот угол при минимальных сдвигах пути, а в так называемых критических точках (на участках искусственных сооружений и др.) эти сдвиги должны быть близки к нулю.

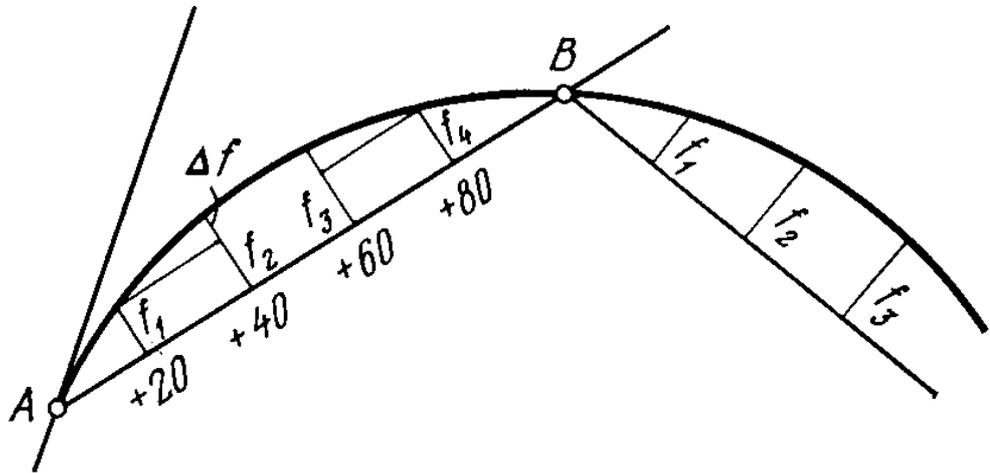


Рисунок 223 - Схема измерений стрел прогиба

Для отдельной хорды длиной b радиус круговой кривой R определяют по формуле:

$$R = \frac{b}{2} \cdot \sin \frac{\psi}{2}$$

или приближенно:

$$R \approx \frac{b^2}{8f}$$

где f - стрела изгиба в середине хорды. Из определений по нескольким хордам берут среднее.

Для всей кривой радиус может быть найден по формуле:

$$R = \frac{2\mathcal{E}_\kappa}{\varphi^2}$$

где \mathcal{E}_κ - длина эвольвенты для конца кривой, φ - общий угол поворота в радианах.

Полученное значение R округляют до ближайшей стандартной величины и подсчитывают длину круговой кривой $K=R\varphi$ и пикетаж главных ее точек.

Согласно формуле $\Delta l_i = \mathcal{E}_{\Pi_i} - \mathcal{E}_{C_i}$ величина рихтовки в текущей точке

кривой:
$$\Delta l_i = \frac{S_i^2}{2R} - \mathcal{E}_{C_i}$$

При этом, если $\mathcal{E}_{\Pi} > \mathcal{E}_c$, и $\Delta l > 0$, то путь сдвигают во внутрь кривой, если $\mathcal{E}_{\Pi} < \mathcal{E}_c$, и $\Delta l < 0$, то наружу.

Так как при вписывании переходных кривых круговая кривая смещается вовнутрь на величину $p = l^2/24R$ то общая величина сдвижки при рихтовке пути будет:

а) в пределах сдвинутой круговой кривой:

$$\Delta l_0 = \Delta l + p;$$

б) в пределах второй половины переходной кривой от $s=l/2$ до примыкания к круговой кривой ($s=l$):

$$\Delta l_0 = \Delta l + (p - (l - s)^3 / 6Rl);$$

в) в пределах первой половины переходной кривой от ее соединения с прямой ($s=0$) до $s=l/2$:

$$\Delta l_0 = \Delta l + s^3 / 6Rl,$$

где s - длина переходной кривой от ее начала до текущей точки; l - общая длина переходной кривой.

Точность способа.

Точность определения величин Δl рихтовки пути по формуле $\Delta l_i = \frac{S_i^2}{2R} - \mathcal{E}_{C_i}$ или $\Delta l_i = \mathcal{E}_{Pi} - \mathcal{E}_{C_i}$ зависит, главным образом, от точности подсчета длины эвольвент существующего пути, так как длины проектных эвольвент могут быть вычислены с достаточной точностью, т. е.:

$$m_{\Delta l} = m_{\mathcal{E}_{C_i}}.$$

Определим ошибки подсчета эвольвент для пикетных точек. В формуле

$$\sum \mathcal{E}_{C_i} = \sum_1^i \varphi_i d_i, \text{ где, согласно уравнению}$$

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \psi_1; \\ \varphi_2 &= \psi_1 + \psi_2; \\ \varphi_3 &= \psi_1 + \psi_2 + \psi_3; \\ &\dots\dots\dots \\ \varphi_i &= \sum_1^i \psi_i; \end{aligned} \right\}$$

примем, что величины пикетов $d_1 = d_2 = \dots = d_i = d$. Тогда:

$$\mathcal{E}_{C_i} = d[\psi_1 + (\psi_1 + \psi_2) + \dots + (\psi_1 + \psi_2 + \psi_3 + \dots + \psi_i)]$$

$$\text{или } \mathcal{E}_{C_i} = d[\psi_1 \cdot i + \psi_2(i-1) + \psi_3(i-2) + \dots + \psi_i].$$

Средняя квадратическая ошибка полученной функции равна:

$$m_{\mathcal{E}_{C_i}}^2 = m_d^2 \cdot [\psi_1 \cdot i + \psi_2(i-1) + \dots + \psi_i]^2 + \left[\frac{m_{\psi}^2 d^2}{\rho^2} \right] \cdot [i^2 + (i-1)^2 + (i-2)^2 + \dots + 1]$$

при условии, что $m_{\psi_1} = m_{\psi_2} = \dots = m_{\psi}$.

Для конца кривой

$$\psi_1 \cdot i + \psi_2(i-1) + \psi_3(i-2) + \dots + \psi_i = \frac{\mathcal{E}_{CK}}{d} = \frac{K^2}{2Rd};$$

Кроме того,

$$i^2 + (i-1)^2 + (i-2)^2 + \dots + 1 = \frac{i(i+1)(2i+1)}{6} \approx \frac{i^2(i+1,5)}{3};$$

С учетом этих формул и для конца хода ($i = n$, $d_i = K$) и, принимая $m_{\psi} = m_{\beta}$, получим:

$$m_{\text{ЭК}}^2 = \left(\frac{K^2}{2R}\right)^2 \left(\frac{m_d}{d}\right)^2 + K^2 \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2 \frac{n + 1,5}{3}. \quad (\text{I})$$

При возможности измерения примычных углов γ_1 и γ_2 (рис. 222) и уравнивания углов хода

$$m_{\text{ЭК}}^2 = \left(\frac{K^2}{2R}\right)^2 \left(\frac{m_d}{d}\right)^2 + K^2 \left(\frac{m_{\beta}}{\rho}\right)^2 \frac{n + 5}{12}. \quad (\text{II})$$

Если принять $R=1000\text{м}$, $K=400\text{ м}$, $n=4$, $m_d/d=1/3000$, $m_{\beta}=0.5'$, то получим по формуле I $m_{\text{ЭК}}=8.3\text{ см}$, а по формуле II - $m_{\text{ЭК}}=5.2\text{ см}$, т.е. в уравненном ходе ошибка уменьшается более чем в 1.5 раза.

Для эвольвент плюсовых точек и найденной величине ошибки прибавится еще ошибка определения разности стрел изгиба, которая в среднем не превышает 5 мм.

Для рихтовки пути по плавной кривой большое значение имеет ошибка взаимного смещения соседних плюсовых точек, т.е. ошибка в подсчете приращения эвольвенты на 20-ти метровом отрезке кривой.

Б) Способ стрел изгиба.

В этом способе измеряют стрелы изгиба рельсов в середине каждой 20-ти метровой хорды с перекрытием через 10м (рис. 224). До начала измерений кривую или примыкающие к ней 40-60 метровые прямые участки разбивают на 10-ти метровые отрезки и отмечают их на рабочей грани наружного рельса. При измерениях используют два шаблона для натяжения 20-ти метровой нити и третий для измерения в средней точке нити стрелы изгиба рельса. На прямых участках стрела изгиба будет близкой к нулю.

По измеренным величинам стрел изгиба могут быть вычислены углы поворота хорд и углы поворота относительно тангенса кривой:

$$\begin{aligned} \beta_1 &= \frac{f_1}{k}; \quad \varphi_1 = 2\beta_1 = \frac{2f_1}{k}; \\ \beta_2 &= \frac{f_2}{k}; \quad \varphi_2 = \varphi_1 + 2\beta_2 = \frac{2(f_1 + f_2)}{k}; \\ \beta_3 &= \frac{f_3}{k}; \quad \varphi_3 = \varphi_2 + 2\beta_3 = \frac{2(f_1 + f_2 + f_3)}{k}; \\ &\dots\dots\dots \\ \beta_n &= \frac{f_n}{k}; \quad \varphi_n = \frac{\sum_{i=1}^n f_i}{k}. \end{aligned}$$

где $k=d/2=10,00\text{ м}$.

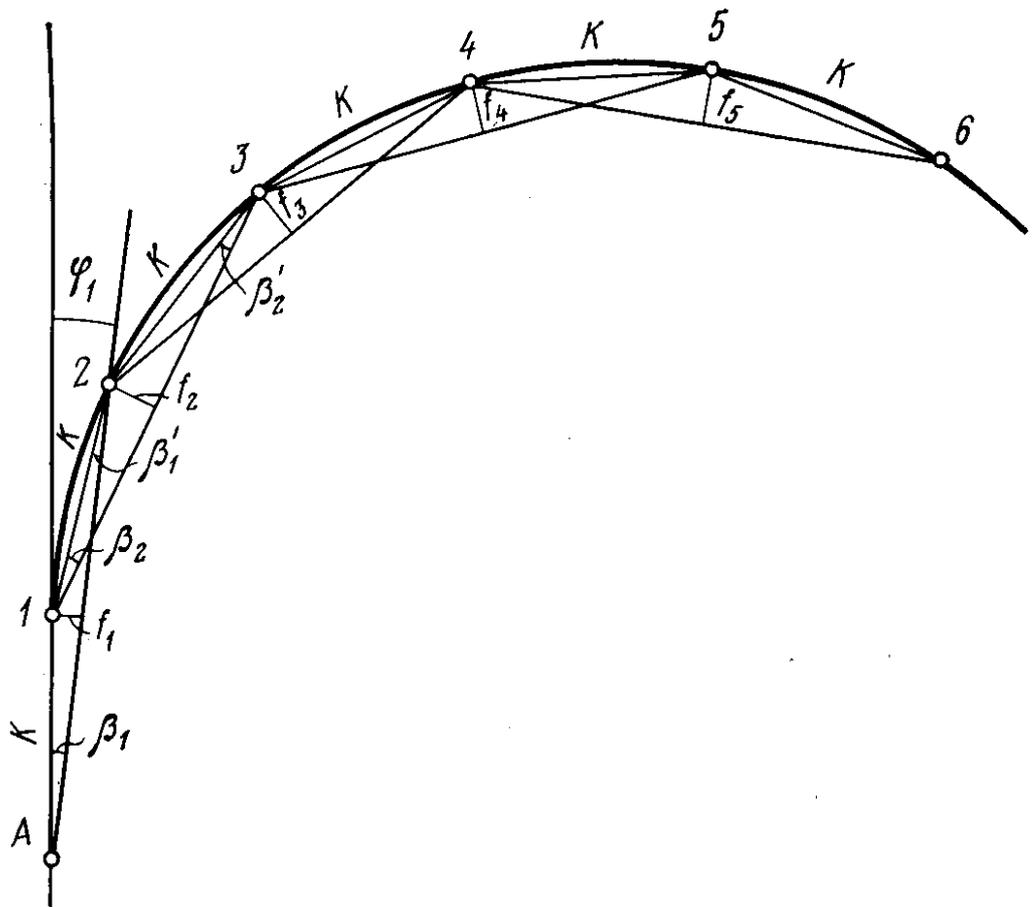


Рисунок 224 -Схема съёмки железнодорожной кривой по способу стрел изгиба

По углам φ или непосредственно по стрелам изгиба могут быть определены эвольвенты

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_2 &= k\varphi_1 = k \frac{2f_1}{k} = 2f_1; \\ \mathcal{E}_3 &= k(\varphi_1 + \varphi_2) = 2(2f_1 + f_2); \\ \mathcal{E}_4 &= k(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) = 2(3f_1 + 2f_2 + f_3); \\ &\dots\dots\dots \\ \mathcal{E}_{i+1} &= k \sum_{i=1}^n \varphi_i = 2(if_1 + (i-1)f_2 + (i-2)f_3 + \dots + f_i). \end{aligned} \quad (A)$$

Зная расчетные и найденные по стрелам изгибов эвольвенты, для каждой точки кривой через k метров по формулам

$$\begin{aligned} \Delta l_i &= \mathcal{E}_{mi} - \mathcal{E}_{Ci}; \\ \Delta l_0 &= \Delta l + p \end{aligned}$$

Либо

$$\begin{aligned} \Delta l_0 &= \Delta l + (p - (l - s)^3 / 6Rl) ; \\ \Delta l_0 &= \Delta l + s^3 / 6Rl \end{aligned}$$

вычисляют величины сдвижки пути.

В рассматриваемом способе основным источником ошибок является измерение стрел изгиба, включающее плановый сдвиг намеченных точек, неперпендикулярность измеряемых стрел к нити, собственно измерение. Приняв, что все стрелы прогиба измеряются примерно с одинаковой ошибкой m_j , из формулы (А) получим для конечной эвольвенты ($i=n$)

$$m_{\text{эк}} = 2m_f \cdot n \sqrt{\frac{n+1,5}{3}}, \quad (\text{Б})$$

где n - число измеренных стрел изгиба (число полухорд k).

Принимая, как и в предыдущем примере, длину кривой 400м, число $n=400:10=40$, суммарную среднюю квадратическую ошибку $m_j=1$ мм, по формуле (Б) получаем:

$$m_{\text{эк}} = 2 \cdot 1 \cdot 40 \sqrt{\frac{41,5}{3}} = 299 \text{ мм},$$

что в несколько раз грубее, чем при способе эвольвентных разностей.

В способе стрел изгибов, вследствие определения углов поворотом хорд через очень малые интервалы, идет очень быстрое нарастание ошибок. Поэтому на длинных кривых этот способ не обеспечивает требуемой точности.

В) Фотограмметрический способ.

В основе фотограмметрического способа (Ф.Д. Рабинович. Фотограмметрическая съемка железнодорожных путей. М., Недра, 1974.) лежит принцип непосредственного измерения углов поворота оптических хорд путем совмещения изображения концов отрезков кривой на плановых крупномасштабных аэрофотоснимках. Для построения оптических хорд в наблюдательную систему особого прибора для съемки кривых по аэрофотоснимкам (ПСКА) помещена тонкая бипризма, смещающая изображение на определенную величину.

Бипризма скреплена с лимбом. При помощи ее вращения совмещают изображения противоположных концов дуг, измеряя при этом углы поворота φ_i элементарных хорд относительно линии тангенса кривой

$$\varphi_i = v_i - v_0,$$

где v_i и v_0 - отсчеты по лимбу прибора в данной и начальной съемочных точках. Дины эвольвент находят по формуле:

$$\mathcal{E}_{ci} = \sum_I^n \varphi_i d_i$$

Прибор изготовлен в виде приставки к прецизионному стереометру. Кроме угломерной насадки, в него входит универсальная наблюдательная марка со сменными номограммами для разбивки пикетов (100-метровых отрезков в масштабе снимка) на элементарные отрезки (20 или 40 м).

Опыт фотограмметрической съемки путей показывает, что ошибка измерения по нетрансформированным аэрофотоснимкам углов поворота не превышает в среднем 2', а средняя квадратическая ошибка вычисления приращения эвольвенты для элементарного отрезка кривой, снятой прибором ПСКА, на аэрофотоснимках масштаба 1: 2000 - 1: 5000 составляет около 1,5 - 2 см.

Одновременно со съемкой кривых составляют план пути и путевого хозяйства в масштабе 1: 1000 и фотограмметрически определяют координаты необходимых точек, размеры междупутий, габариты приближений и др.

2.1.7.3. Автоматизация разбивочных работ в дорожном строительстве

Возведение дорожного полотна производят дорожно-строительными машинами по выставленным геодезическим знакам. Для достижения проектной высоты приходится

часто восстанавливать разбивку поперечных профилей и многократно повторять перемещение земляных масс и выравнивание песчаного основания. Для повышения эффективности использования дорожно-строительных машин применяют способ автоматического или полуавтоматического ведения рабочего органа машины по заданному уклону, обеспечивающий требуемую точность планировочных работ.

2.1.8. Геодезические работы при гидротехнических изысканиях

2.1.8.1. Гидротехнические сооружения

Гидротехнические сооружения предназначены для использования водных ресурсов с целью решения ряда народнохозяйственных задач. Наиболее важными из них являются:

- использование энергии рек в гидроэлектростанциях;
- решение транспортных проблем путем возведения судоходных и лесосплавных магистральных каналов и шлюзов;
- гидромелиорация земель - орошение и осушение;
- водоснабжение городов и промышленно-транспортных объектов путем строительства водозаборов, водоводов, водных каналов.

Совокупность гидротехнических сооружений для совместного решения комплексных задач называют *гидроузлом*. Составными частями крупного гидроузла являются: плотина железобетонная с водосливом и глухая земляная; гидроэлектростанция (ГЭС); сооружения для прохода судов (аванпорт, шлюзы или судоподъемники, судоходные каналы); сооружения для пропуска рыбы (рыбоподъемники, ступенчатые рыбоходы); водохранилище с водозаборами и магистральными каналами для орошения земель и водоснабжения (рис. 225).

По возможности гидроузел используют как мостовой переход, проектируя по нему железную и автомобильную дороги.

Плотина делит реку на две части - верхний и нижний бьефы, образует в верхнем бьефе водохранилище и создает напор H как разность уровней верхнего и нижнего бьефа. На равнинных реках обычно строят массивные гравитационные плотины прямолинейного типа. На горных реках возводят арочные криволинейные плотины, работающие как система упругих арок, опирающихся на скальные берега.

На рис. 225 показана схема равнинного гидроузла.

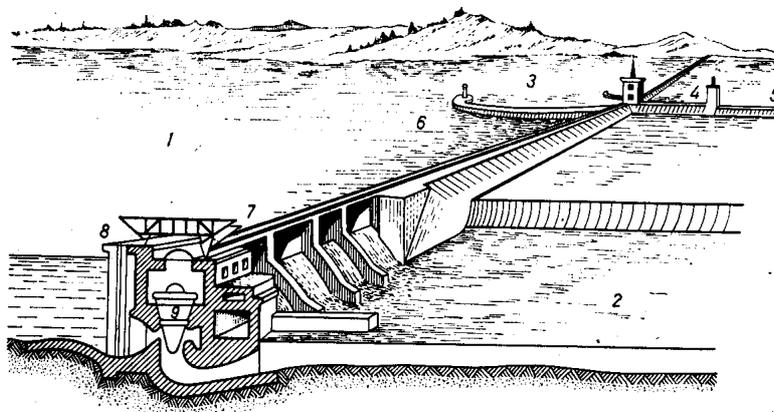


Рисунок 225 - Схема равнинного гидроузла:

1 - верхний бьеф; 2 - нижний бьеф; 3 - аванпорт; 4 - судовой шлюз; 5 - нижний подходный канал; 6 - земляная плотина; 7 - бетонная водосливная плотина; 8 - здание ГЭС; 9 - турбина и генератор

Напор ГЭС на равнинных реках обычно не превышает 25 - 30 м. Однако и при этом напоре образуются крупные водохранилища, затопляющие большие площади ценных земель. Чтобы избежать этого, мощные ГЭС строят на горных реках, создавая напор в 200 - 300 м (Нурекская, Ингурская, Чиркейская и др.).

Как и все сложные сооружения, крупные гидротехнические объекты проектируются в две стадии: технический проект и рабочие чертежи, при этом важнейшая роль принадлежит вне стадийному этапу - технико-экономическому обоснованию проекта.

Крупные гидротехнические сооружения в значительной степени изменяют сложившийся водный баланс в природе. Так, строительство каскадов гидроузлов на реках и образование небольших водохранилищ нарушают режим речного стока и приводят к обмелению внутренних морей и озер, а также к нарушению естественного нереста рыбы. Затопление водохранилищами сельскохозяйственных и лесных угодий, необходимость строительства берегоукрепительных и защитных сооружений весьма дороги для народного хозяйства и должны быть тщательно и всесторонне исследованы в технико-экономическом обосновании и выбраны такие варианты проекта, которые вносили бы минимальные изменения в сложившееся равновесие в природе.

Проекты по гидромелиорации, как правило, охватывают большие территории и также требуют всестороннего и весьма тщательного изучения. Так, например, осушение значительных площадей в верховьях Днепра и Десны привели к резкому уменьшению их водного расхода, что наносит большой ущерб хозяйству и природе Украины.

Проектирование гидротехнических сооружений требует детального изображения рельефа местности с повышенной точностью. Поэтому используемые для этих целей крупномасштабные топографические карты снимаются с сечением рельефа через 0,5 - 1 м. При составлении продольного профиля больших рек, падение на 1 км которых часто достигает 5 - 10 см, требуется проложение вдоль них ходов нивелирования 1 - II классов.

При вынесении проектов гидротехнических сооружений в натуру требуется строгое соблюдение проектных высот и уклонов объектов, расположенных на значительной территории и связанных между собой и с водотоками гидрологическими расчетами. Это вызывает необходимость построения на местности высокого класса нивелирной основы, уравненной в единой абсолютной системе высот.

При проектировании плотин важное значение имеет выбор высоты так называемого нормального подпорного уровня (НПУ) - наивысшего уровня верхнего бьефа, определяющего величину напора и расчетную мощность ГЭС, а также границы контура водохранилища.

Мощность ГЭС выражается известной формулой гидроэнергетики

$$N = 9.81\eta QH, \quad (1)$$

где Q - расход воды, проходящей через турбины, M^2 / c ; H - напор воды на турбинах ГЭС, м; η - коэффициент полезного действия турбин.

Годовая выработка электроэнергии $\mathcal{E}_Г$, (кВт•ч) определяется по годовому объему стока $W_Г (M^3)$

$$\mathcal{E}_Г = \frac{9.81}{3600} W_Г \eta H, \quad (2)$$

где 3600 - число секунд в 1 ч.

Из формул (1), (2) видно, что мощность ГЭС и выработка электроэнергии зависят от значения напора H , величины расхода воды Q и речного стока W . Расход воды Q и сток W имеют значительные сезонные колебания, и для регулирования работы турбин

естественный приток дополняется водой из запаса водохранилища, т. е. реальный расход воды, проходящий через турбины, состоит из транзитного расхода реки Q_{TP} и слива воды $Q_{СЛ}$, из водохранилища

$$Q = Q_{TP} + Q_{СЛ}, \quad (a)$$

При равномерном стоке за время t расход (а) можно выразить в виде

$$Q = \frac{W_{TP} + V_{СЛ}}{t} \quad (б)$$

где $V_{СЛ}$ - так называемая сливная призма, полезный объем водохранилища.

Объем сливной призмы $V_{СЛ} = V_{НПУ} - V_M$, где $V_{НПУ}$ - полный объем водохранилища по высоте $H_{НПУ}$; V_M - объем водохранилища ниже уровня сработки, т. е. ниже высоты водослива или турбинных водоприемников (<мертвый объем>).

С учетом (б) формула (1) переписывается в виде

$$N = 9.81\eta(W_{TP} + V_{СЛ})H / t, \quad (3)$$

Рассмотрим влияние на точность подсчета мощности переменных величин W_{TP} , $V_{СЛ}$, H . Логарифмируя и дифференцируя выражение (3), получим

$$\frac{dN}{N} = \frac{dH}{H} + \frac{dW_{TP}}{W_{TP} + V_{СЛ}} + \frac{dV_{СЛ}}{W_{TP} + V_{СЛ}}, \quad (4)$$

или в средних квадратических отклонениях

$$\left(\frac{m_N}{N}\right)^2 = \left(\frac{m_H}{H}\right)^2 + \left(\frac{m_{W_{TP}}}{W_{TP} + V_{СЛ}}\right)^2 + \left(\frac{m_{V_{СЛ}}}{W_{TP} + V_{СЛ}}\right)^2, \quad (5)$$

Точность расчета напора H и сливной призмы $V_{СЛ}$ зависит главным образом от топографо-геодезических данных; точность расчета транзитного стока определяется в основном условиями гидрологических наблюдений.

Для расчета технического проекта высоты уровней нижнего и верхнего бьефа обычно определяются от нивелирных знаков на водомерных постах. С учетом кинетических потерь напора в каналах и трубах можно принять, что величина m_H не будет превышать 0,5 м и, следовательно, в ГЭС с напором более 50 м влияние m_H/H на мощность не будет превышать 1 %. В низконапорных плотинах это влияние может достигать 2 - 3% и для его уменьшения необходимо более точно определять высоты бьефов и объем водохранилища.

Влияние величины $m_{W_{TP}}$ на точность расчета мощности ГЭС зависит от режима речного стока, его изменчивости, вызываемой колебаниями расхода, и определяется из гидрологических наблюдений. Приблизительно принимают, что относительная величина этого влияния может достигать 6 %.

Величина $m_{V_{СЛ}}$ зависит от масштаба и точности топографической основы чаши водохранилища, ошибок планиметрирования площадей и подсчета объема водохранилища, а также неточного учета потерь при наполнении водохранилища. При расчетах следует стремиться, чтобы

$$\frac{m_{W_{TP}}}{W_{TP} + V_{СЛ}} > \frac{m_{V_{СЛ}}}{W_{TP} + V_{СЛ}}.$$

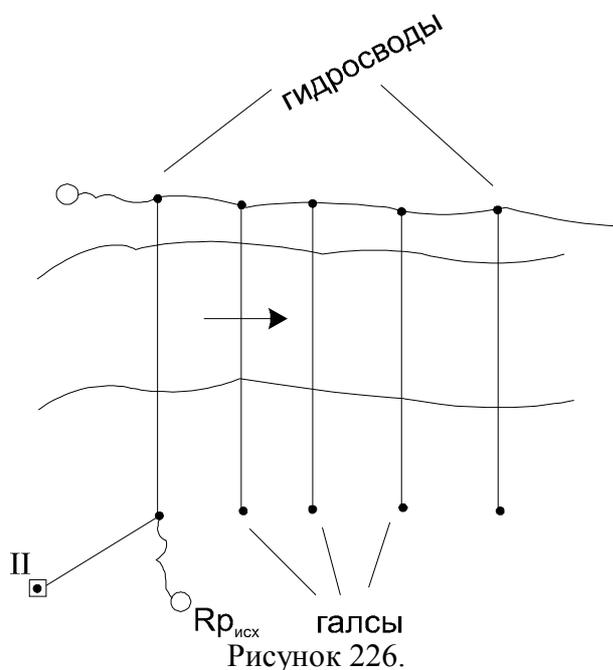
При этом если объем сливной призмы $V_{сл}$, значительно превосходит объем транзитного стока $W_{тр}$, то необходимы меры для повышения точности подсчета объема водохранилища и уменьшения $m_{V_{сл}}$.

2.1.8.2. Составление продольного профиля реки

2.1.8.2.1. Общие сведения

Гидрологические изыскания при составлении продольного профиля реки включают:

- создание планового и высотного обоснования;
- регистрацию уровня воды (наблюдения на водомерных постах);
- измерение глубин по гидрометеорологическим створам (галсам) промером вертикалей (рис. 226);
- определение планового положения промерных точек;
- определение морфологических характеристик и построение профиля живого сечения реки



Расстояния между гидростворами от сотен метров до нескольких километров. Между створами разбивают галсы. Частота галсов и промерных точек на галсе зависит от рельефа дна и масштаба съемки. Обычно, интервал между галсами 2,5 мм в масштабе плана.

2.1.8.2.2. Схема способа

Продольный профиль реки представляет собою вертикальный разрез русла по линии динамического потока. Он является основным документом для проектирования по реке каскада ГЭС, регулирования реки с целью улучшения судоходства, лесосплава и др.

Для составления продольного профиля необходимо определить уровни характерных точек водной поверхности на большом протяжении реки. Так как этот уровень непрерывно изменяется, а одновременное нивелирование реки не представляется возможным, то возникает задача приведения высотных измерений, выполненных на отдельных участках в разное время, к одному моменту времени (обычно к самому низкому, меженному уровню).

Для составления продольного профиля по одному из коренных берегов реки (на больших реках по двум) прокладывают магистральный нивелирный ход высокого класса точности (рис. 226). От пунктов этого хода передают высоты на рабочие реперы, расположенные вблизи русла реки, развивая нивелирные ходы более низкого класса. Рабочие реперы используют для непосредственного нивелирования уровней водной поверхности в реке.

2.1.8.2.3 Требования к точности определения уклонов реки.

Точность определения уклона потока можно вывести на основе анализа формулы Шези :

$$v = c\sqrt{R_i} \quad (6)$$

где v - скорость, c - скоростной коэффициент, R - гидравлический радиус, равный отношению площади живого сечения ω русла к смоченному периметру p (для больших рек гидравлический радиус равен средней глубине потока), i - уклон потока.

Из формулы (6) следует

$$i = v^2 / c^2 R.$$

Принимая по Н.Н. Павловскому для $R > 1$ скоростной коэффициент

$$c = (1/n)R^{2.6\sqrt{n}},$$

где n - коэффициент шероховатости, и выражая v через Q/ω , где Q - расход воды, получим

$$i = (Q^2 n^2) / (R^{2.6\sqrt{n}} \cdot R \omega^2), \quad (7)$$

Логарифмируя и принимая для показателя степени $2.6\sqrt{n}$ предельное значение $n = 0.050$, имеем

$$\ln i = 2 \ln Q + 2 \ln n - 1.58 \ln R - 2 \ln \omega,$$

откуда следует (при независимом определении величин Q, n, R, ω)

$$\left(\frac{m_i}{i}\right)^2 = 4\left(\frac{m_Q}{Q}\right)^2 + 4\left(\frac{m_n}{n}\right)^2 + 2.5\left(\frac{m_R}{R}\right)^2 + 4\left(\frac{m_\omega}{\omega}\right)^2. \quad (8)$$

При весьма тщательных натурных определениях можно принять относительные ошибки $m_Q/Q = 1.5\%$; $m_n/n = 3\%$; $m_R/R = 1\%$; $m_\omega/\omega = 1\%$.

Тогда по формуле (8) находим

$$\frac{m_i}{i} = \sqrt{9 \cdot 10^{-4} + 36 \cdot 10^{-4} + 2.5 \cdot 10^{-4} + 4 \cdot 10^{-4}} = 0.072.$$

Полученная величина средней квадратической относительной ошибки определения уклона водотока по формуле Шези близка к допускаемой ошибке при вынесении в натуру проектных уклонов самотечных трубопроводов и открытых лотков ($m_i=0.1i$).

При определении уклонов реки из нивелирования $i=h/L$, где h -превышение между точками (“падение реки”) и L - расстояние между ними.

Пренебрегая по малости влиянием ошибки измерения расстояния, можем представить

$$m_i/i = m_h/h, \quad (9)$$

где m_h/h - относительная ошибка нивелирования реки (примем $m_h/h=0.036$, т.е. в два раза меньше требуемой точности определения уклона, тогда $m_h=0.036h$).

Известно, что в нивелировании

$$m_h = \eta \sqrt{L}, \quad (10)$$

где η -средняя случайная ошибка на 1 км хода определения превышения; L -длина хода в км.

Приравнивая правые части формул (9) и (10) получим

$$\eta = 0.036 \cdot h / \sqrt{L} \quad (11)$$

Задаваясь в формуле (11) значением падения h для участка реки длиной 1 км, определяют соответствующую этому падению допустимую величину ошибки η на 1 км и, следовательно, необходимый класс нивелирования магистрального хода.

В таблице 21 приведены различные значения падений и уклонов реки и соответствующим им классы нивелирования магистрального хода.

Для горных рек с уклоном больше 0.001 можно применять тригонометрическое нивелирование.

Таблица 21.

Падение реки на 1 км, см	Уклон реки	Случайная ошибка на 1 км, мм	Класс нивелирования	Падение реки на 1 км, см	Уклон реки	Случайная ошибка на 1 км, мм	Класс Нивелирования
5	0.00005	1.8	II	20	0.00020	7.2	III
10	0.00010	3.6	II	30	0.00030	10.8	IV
15	0.00015	5.4	III	50	0.00050	18.0	IV

2.1.8.2.4. Нивелирование уровней воды в реке.

Уровни воды фиксируют примерно через 1 - 3 км на характерных точках реки: перекатах и порогах, плесах, в местах резкого поворота, на суженных островами участках, в верхних и нижних бьефах плотин, у мостов, при впадении притоков. Характерные точки реки, в которых забивают колья для определения уровня воды, называют точками однодневной связи (ТОС).

Реку разделяют на участки длиной порядка 30 - 50 км, которые поручают отдельным исполнителям. Длина участка зависит главным образом от интенсивности изменения уровня воды. На границах участков, а также в характерных перегибах профиля реки устраивают временные водомерные посты, на которых ведут систематические наблюдения за уровнями воды. Желательно нивелирование реки вести в летнюю межень.

При устойчивом уровне (когда он изменяется в день не больше чем на 1 см) колья можно забить вровень с поверхностью воды в течение одного дня на всем или значительной части участка, используя катер или моторную лодку. Однако при этом

следует иметь в виду, что нивелирование установленных кольев должно быть закончено в течение 2 - 3 дней, чтобы была уверенность, что высота кольев за это время не изменилась.

Колья устанавливают не далее 1 м от уреза воды или в отведенных траншеях в тихую безветренную погоду. Для контроля в каждой характерной точке дополнительно забивают один-два кола, один от другого на расстоянии 1 - 2 м.

Установленные урезные колья рабочим нивелированием связывают с реперами магистрального нивелирного хода.

Постоянные железобетонные реперы в магистральном ходе устанавливают в незатопляемых местах через 5 - 7 км, по возможности ближе к характерным точкам реки. Временные реперы могут быть установлены через 2 - 3 км.

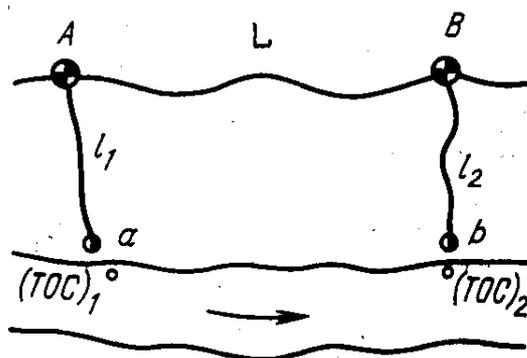


Рисунок 227 - Схема ходов при нивелировании уровней воды

При широкой пойме, когда магистральный ход отходит от русла реки на значительное расстояние, может быть проложен вблизи реки дополнительный ход, опирающийся на реперы основного хода, и уже от пунктов этого хода передают высоты на урезные колья.

Рабочие нивелирные ходы прокладывают как висячие в прямом и обратном направлениях. Их точность обычно в два раза ниже точности магистрального хода (часто нивелированием IV класса).

Средняя квадратическая ошибка m_h в определении падения водной поверхности между двумя точками $(ТОС)_1$ и $(ТОС)_2$ может быть подсчитана по формуле

$$m_h = \sqrt{m_L^2 + m_{l_1}^2 + m_{l_2}^2 + 2m_\phi^2}, \quad (12)$$

где m_L - средняя квадратическая ошибка в магистральном ходе между реперами A и B; m_{l_1} и m_{l_2} - средние квадратические ошибки рабочих нивелирных ходов l_1 и l_2 ; m_ϕ - средняя квадратическая ошибка фиксации уровней воды (обычно принимаемая равной 10 мм, а при малых уклонах реки 5 мм).

Значения средних квадратических ошибок m_L , m_{l_1} и m_{l_2} могут быть получены по формуле

$$m_L = \eta_1 \sqrt{L}; m_{l_1} = \eta_2 \sqrt{l_1}; m_{l_2} = \eta_2 \sqrt{l_2}, \quad (a)$$

имея в виду, что класс рабочих нивелирных ходов один и тот же.

После подстановки формулы (a) в (12) получим рабочую формулу

$$m_h = \sqrt{\eta_1^2 L + \eta_2^2 (l_1 + l_2) + 2m_\phi^2}. \quad (13)$$

При примерно равной длине рабочих ходов ($l_1 = l_2 = l$) получим

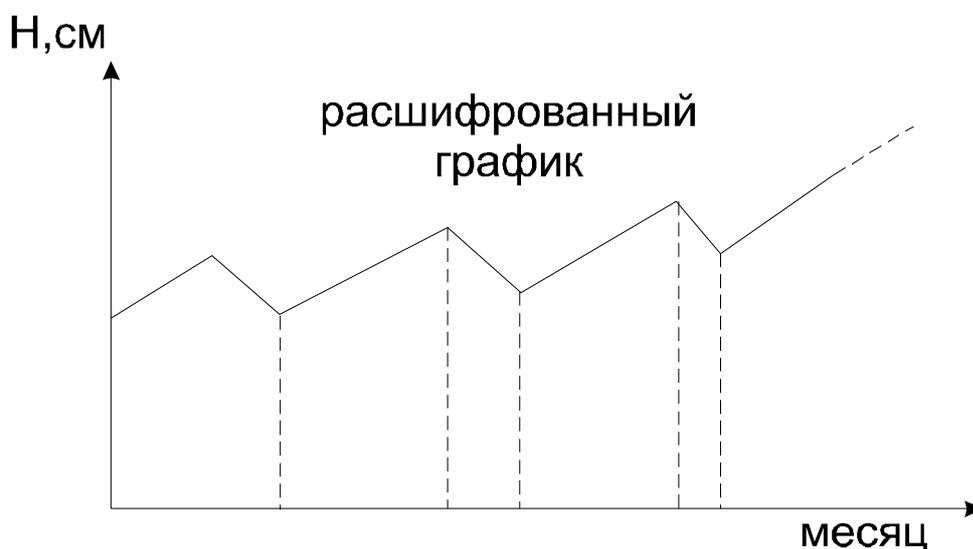
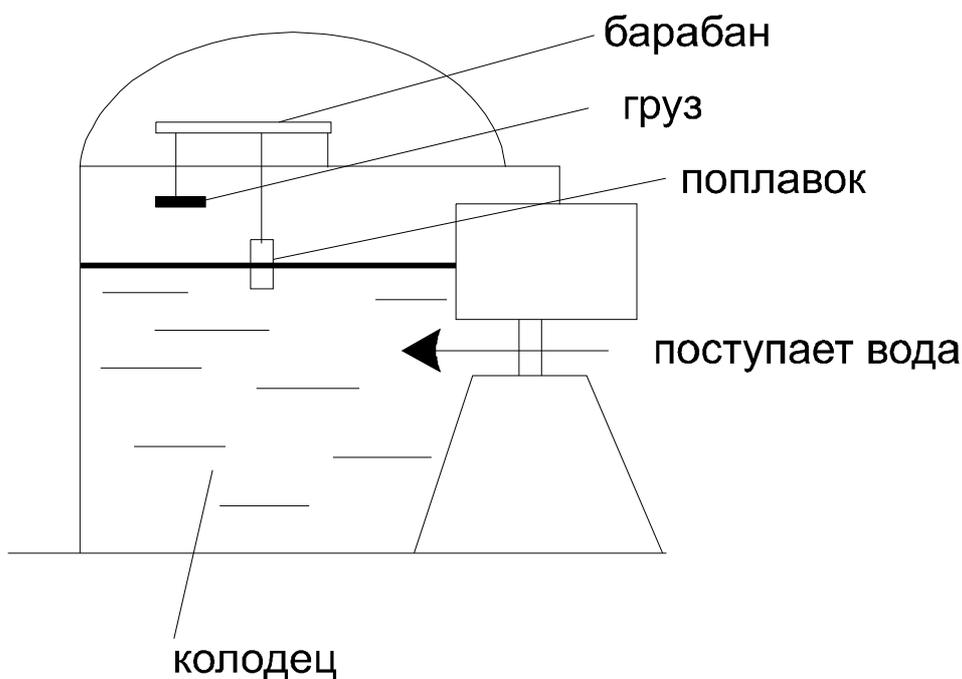


Рисунок 229 - Применение самописцев для определения уровня воды

2.1.8.2.5. Приведение к срезочному уровню.

В журналах продольного профиля реки указывают время установки урезных колец и время их нивелирования. На водомерных постах ведут наблюдение за уровнем воды в реке. Используя результаты этих наблюдений, простым интерполированием приводят высоты водной поверхности к одному мгновенному (“срезочному”) уровню как внутри участков, так и между отдельными участками на всем протяжении реки.

При расположении уровней, предложенных на рис. 230., приведенная высота $H'_{ТОС}$ некоторой точки будет вычисляться по формуле

$$H'_{ТОС} = H_{ТОС} + (-h_B) + \frac{(-h_A) - (-h_B)l_B}{l_{AB}}, \quad (15)$$

где h_A , h_B -разности высот уровней на водомерных постах А и В на дату приведения уровней к одному моменту и дату нивелирования урезных колец; $H_{ТОС}$ - рабочая высота точки.

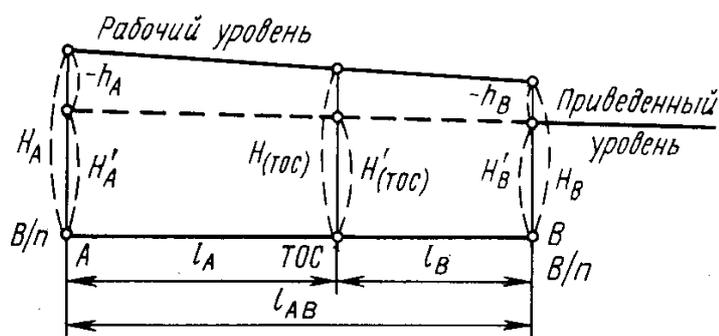


Рисунок 230 - Приведение высот точек реки к “срезочному уровню”

2.1.8.2.6. Составление продольного профиля реки

Продольный профиль реки составляют по данным полевых измерений и результатов их обработки.

Масштаб продольного профиля зависит от его назначения, длины реки, уклонов (обычно принимают горизонтальный масштаб 1:25000-1:100000, вертикальный- 1:100).

На продольном профиле отмечают высоты характерных уровней реки, дна, берегов; поверхностные скорости; падение на 1 км уровней воды, высоты нулей водомерных постов и реперов; береговую речную обстановку; населенные пункты.

Для получения сведений о возможных затоплениях при образовании водохранилищ наносят высоты самых низких точек населенных пунктов и сооружений.

2.1.9. Топографо-геодезические работы на водохранилищах

2.1.9.1. Общие сведения

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, где выклинивается подпор, может быть подсчитана по приближенной формуле

$$L = KN/J \quad (1)$$

где H - высота напора;

J - средний продольный уклон бытового потока;

K - коэффициент, принимаемый для плотины с затворами равным 1.5-2.2.

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 потока в продольном профиле имеет вид вогнутой кривой, называемой кривой подпора (рис. 231). Уровни смежных поперечных профилей водохранилища будут отличаться между собой на величину Δh , которая в первом приближении определяется по формуле Шези.

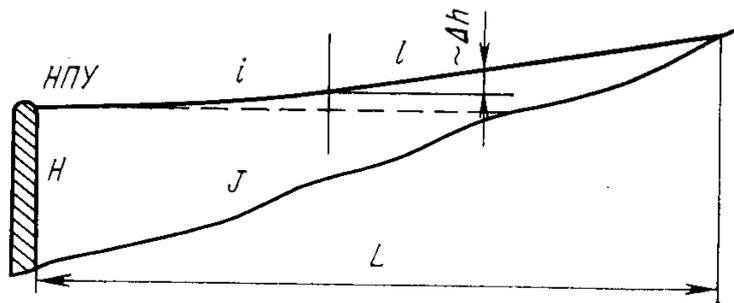


Рисунок 231 - Кривая подпора

При расстоянии между поперечными профилями l величина $\Delta h = l i$, где i - уклон потока в водохранилище.

Подставляя значение уклона i из формулы Шези и, выражая скорость $v^2 = Q^2 / \omega^2$, где Q - расход воды, ω - площадь живого сечения, имеем:

$$\Delta h = \frac{lQ^2}{C^2 \omega^2 R}. \quad (2)$$

Т.к. гидравлический радиус $R = \omega / p$, где p - смоченный периметр, то

$$\Delta h = \frac{lQ^2}{C^2 \omega^3}. \quad (2')$$

При проектировании водохранилища решаются следующие задачи:

- установление контура водохранилища при заданном НПУ и отбивка при необходимости этого контура в натуре;
- определение площади затопления и объема воды в водохранилище;
- установление подлежащих затоплению населенных пунктов, путей сообщения, ЛЭП и других объектов; подсчет стоимости убытков от затопления; разработка проектов новых населенных пунктов, путей сообщения, ЛЭП и т.д.;
- разработка проектов инженерной защиты от затопления и подтопления городов и других населенных пунктов, предприятий, ценных угодий и др., а также проектов берегоукрепительных работ;
- подсчет площадей лесосводки; выявление мест, требующих проведение санитарных и противомаларийных мероприятий, разработка проектов организации рыбного хозяйства;
- Трассирование в чаше водохранилища судовых ходов, выбор мест расположения портов, пристаней, убежищ для судов.

Для проектирования водохранилищ используют топографические карты различных масштабов.

Отдельные участки водохранилища для проектирования инженерной защиты, перенесения населенных пунктов и предприятий, выбора портов и др. снимают в крупных масштабах (1:1000-1:2000).

Съемка водохранилища производится комбинированным или стереофотограмметрическим методом. В качестве плановой основы служит триангуляция и полигонометрия. Высотная основа создается в виде полигонов нивелирования III и IV классов. При проектировании плановых и высотных сетей учитывают, что они будут служить основой не только для съемки, но и для вынесения контура водохранилища в натуре (пункты стараются закреплять вне зоны затопления). Типовая схема высотной основы для водохранилища приведена на рис. 232. Площадь водохранилища в пределах контура затопления определяют по топографическим картам при помощи планиметра (точность определения площади $m_p / p = 1 / 100$).

Общий объем воды в водохранилище находят путем суммирования элементарных объемов между двумя смежными горизонталями, начиная с самой низкой высоты в чаше водохранилища и кончая горизонталью затопления.

Для уточнения величины объемов следует также учитывать форму склонов долины, речные террасы и т.д.

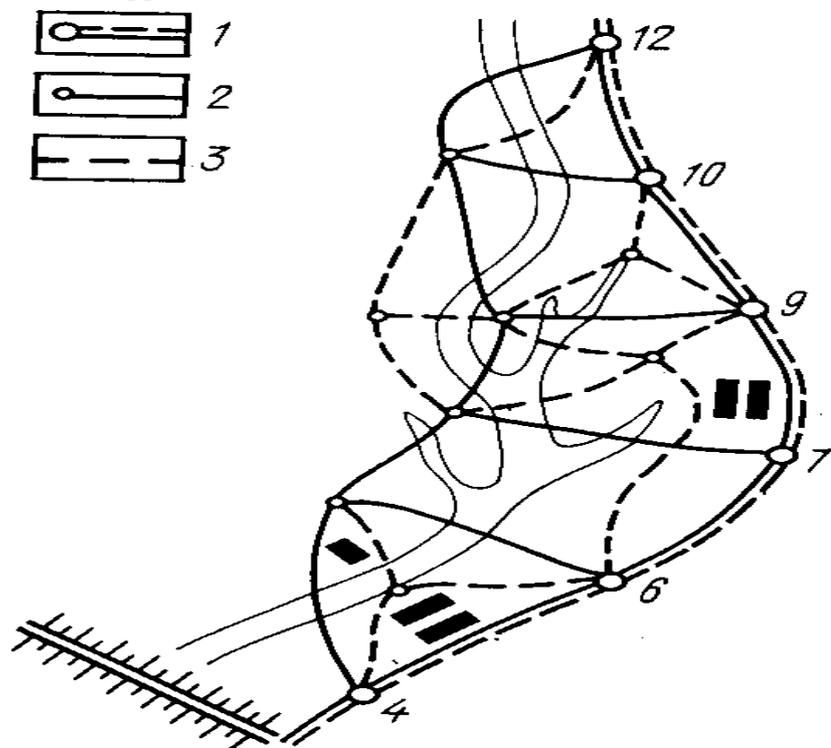


Рисунок 232 - Схема высотных сетей водохранилища

1-ходы нивелирования II класса; 2-ходы нивелирования III класса;

3-ходы нивелирования IV класса

По топографическим картам объем водохранилища подсчитывается с точностью порядка 3-5%, уточненным способом - 1.5-2%.

2.1.9.2. Определение на местности проектного контура водохранилища

В стадии изысканий для рабочих чертежей на территории будущего водохранилища отбивают в натуре горизонталь затопления, которая служит юридической границей для изъятия земель сельскохозяйственных и лесных угодий.

Вынос контура водохранилища состоит в обозначении на местности точек с высотой НПУ. На крупных водохранилищах его контур обозначается в натуре по высотам кривой подпора, при этом кривая разбивается на отдельные участки, в пределах которых ее можно принять за горизонтальную и назначить одну высоту (например, 100,00; 100,50; 101,00 и т. д.). Высоты этих горизонтальных участков и устанавливаются в натуре. Работу выполняют техническим нивелированием.

Нивелирный ход начинают от ближайших к контуру водохранилища реперов нивелирной основы и прокладывают его в район расположения горизонтали затопления, вычисляя в поле высоты связующих точек. Когда высота связующей точки окажется близкой к проектной (в пределах ± 1 м), определяют горизонт инструмента H_j . Вычитая затем из горизонта инструмента проектную высоту $H_{пр}$ находят отсчет по рейке b , при котором ее пятка будет находиться на искомой горизонтали затопления, $b = H_j - H_{пр}$.

Рейку передвигают по склону до получения по средней нити требуемого отсчета b (в пределах 3 - 5 см). С этой же станции намечают через 30 - 50 м еще ряд точек, фиксируя их кольями. Затем нивелируют следующую связующую точку, близкую по высоте к проектной и, опираясь на нее, находят точки горизонтали затопления этого участка и т. д. Через 3-5 км ходы технического нивелирования по отбивке горизонтали затопления привязывают к реперам высотной основы.

Через 200 - 300 м отбиваемую линию спрямляют (рис. 233), допуская стрелы прогиба до 10 м, а в горных районах и до 30 м. Углы поворота спрямленных линий закрепляют столбами.

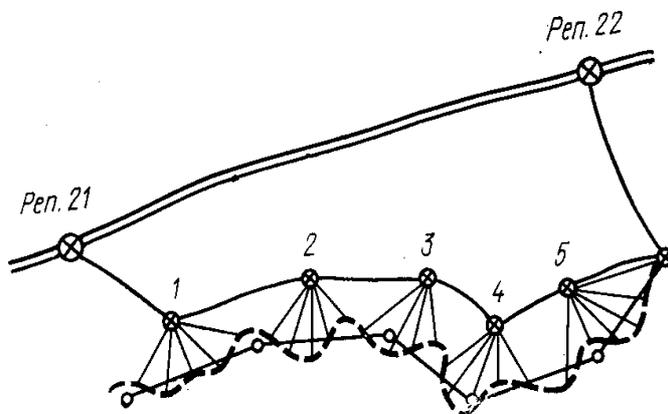


Рисунок 233 - Вынесение контура водохранилища в натуре

В горных районах отбивка горизонтали затопления может быть выполнена тахеометрическим способом. В залесенных труднодоступных районах для этой цели можно применить барометрическое нивелирование.

При наличии крупномасштабных фотопланов с горизонталями, на которых по проектным высотам нанесена граница затопления водохранилища, последняя может быть вынесена в натуре с достаточной точностью промерами от четких контуров.

На территориях населенных пунктов и промышленных предприятий контур водохранилища устанавливается с ошибкой по высоте не более 0,10 м. На территориях пустынь, тундры, болот, а также на незалесенных горных 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 инженерной защиты.

В наиболее низких местах чаши водохранилища производят разбивку трасс судовых ходов, установку створных знаков и речной обстановки, а также ведут изыскания для строительства портовых сооружений.

Одновременно с отбивкой на местности контура водохранилища ведут гидрологические изыскания по выявлению кривой подтопления местности грунтовыми водами.

2.1.10. Русловые съемки

2.1.10.1. Обоснование и масштабы съемок

При воднотранспортных изысканиях важнейшим вопросом являются русловые съемки рек, выполняемые для целей гидротехнического строительства и эксплуатации водных путей. Особое значение русловые съемки имеют для исследования руслового режима: глубин потока, уклонов водной поверхности, движения наносов, состояния берегов. На основании периодических русловых съемок устанавливают общее изменение русла реки и деформацию берегов за многолетний период.

Съемка русла реки и поймы ведется до границы уровня высоких вод, при этом главное внимание обращают на полноту и точность промеров глубин реки и отображение всех характерных особенностей русла. Съемка береговой ситуации может быть выполнена обобщенно. В связи с этим несколько понижаются требования к точности построения планового обоснования.

Для рек шириной 200 - 500 м планы составляют в масштабе 1: 2000 - 1: 5000 с изображением рельефа дна горизонталями или глубины реки изобатами через 0,25 - 0,5 м. Для ширины более 500 м масштаб съемки уменьшается до 1: 10 000 при высоте сечения 0,5 - 1 м.

Наземные съемки целесообразно дополнять аэрофотосъемкой, дающей наглядное представление о морфологических особенностях реки.

Плановое обоснование русловых съемок строится в виде рядов триангуляции I разряда, линейно-угловых сетей из базовых треугольников, полигонов светодальномерной полигонометрии, которые сгущаются теодолитными ходами или цепочками микротриангуляции.

При больших участках съемки плановое обоснование привязывается к государственным сетям, при этом средняя квадратическая ошибка в положении пунктов в слабых местах уравнированного обоснования не должна превышать 0,5 мм в масштабе составляемого плана, а сетей сгущения (съёмочных сетей) - 1 мм. Общая ошибка в положении промерных точек и контуров речной обстановки и береговой ситуации не должна превышать 1,5 мм.

Высотная основа русловых съемок равнинных рек создается в виде ходов и полигонов нивелирования III класса, сгущаемых ходами нивелирования IV класса и технического. Длины этих ходов рассчитывают из условия, чтобы невязки f_h ходов и замкнутых полигонов на исследуемых участках были

$$f_{h_{ред}} \leq \frac{1}{2} \cdot h, \quad (1)$$

где h - падение реки.

2.1.10.2. Промерные работы

Детальное изображение рельефа дна реки или глубины потока производят по поперечным профилям, называемым галсами, которые, как правило, располагаются перпендикулярно к оси потока на расстоянии один от другого через 1-2 см в масштабе плана. Промерные точки на галсах назначают в 2-4 раза чаще.

В состав промерных работ входит измерение глубины реки, определение планового положения промерных точек, наблюдение за высотой уровня воды в реке в момент промерных работ.

Измерение глубины потока можно проводить следующими методами:

1) с помощью наметки - деревянного шеста длиной 4-6 м, размеченного с через 0,1 м и раскрашенного;

2) с помощью ручного лота - пенькового троса, к которому прикреплен свинцовый груз весом 3-6 кг; применяется при скорости воды в реке 1 м/с и менее;

3) с помощью гидрометрической лебедки - троса, прикрепленного на лотке; при этом, лебедка снабжена счетчиком, показывающим длину выбранного троса;

4) с помощью эхолота - ультразвукового прибора, измеряемый глубину до 40 м.

Эхолот основан на принципе ультразвуковой локации и определяет глубину потока h путем измерения времени прохождения ультразвукового импульса от излучателя А до дна реки В и обратно к приемнику С (рис. 234). Зная скорость распространения ультразвуковой волны в воде ($U \approx 1500$ м/с) и время t прохождения звука до дна и обратно с учетом глубины осадки катера, имеем

$$l = ut / 2 \quad (2)$$

$$h = h_1 + a = \sqrt{\frac{v^2 t^2}{4} - b^2} + (h_0 - d), \quad (2')$$

где b - половина базы эхолота;

h_0 - осадка катера;

a - расстояние от плоскости излучателя АС и приемника до поверхности воды;

d - расстояние от днища катера до плоскости АС.

В речном эхолоте использован эффект магнитострикции, возникающий в пакетах из никелевых пластинок при прохождении по ним электрического тока.

Основными частями прибора являются:

- центральный прибор с индикаторным устройством в виде самописца для автоматической записи глубин на равномерно движущейся графитовой ленте (батиграмме);

- блок образования звуковых колебаний в электрическом поле;
- вибратор-излучатель ультразвуковых колебаний заданной частоты;
- вибратор-приемник ультразвуковых колебаний после отражения их от дна реки;
- усилитель вновь преобразованных звуковых колебаний в электрические импульсы;

- фильтр.

Точность измерения глубин эхолотом составляет 10 - 15 см при глубине до 5 м и с увеличением глубины понижается до 1- 2%. Случайные ошибки измерений связаны с неравномерной работой самописца и отсчетами по батиграмме. Для уменьшения влияния систематических ошибок в показания эхолота вводят поправки: Δ_1 - за отклонение реальной скорости распространения ультразвука в воде от расчетной; Δ_2 - за отклонение скорости вращения электродвигателя от расчетной; Δ_3 - за глубину погружения вибраторов и базы между ними.

Перед работой эхолоты тарируют (эталонируют) путем сравнения глубин, измеренных непосредственно (h_n) и эхолотом (h_s). Разность $\Delta h = h_n - h_s$ характеризует суммарную поправку эхолота за влияние систематических ошибок.

Глубина погружения вибраторов при движении катера определяется по шкале, нанесенной на штангах забортового устройства.

При промерах на батиграмме фиксируются оперативными отметками:

- начало и конец промерного галса;
- точки на галсе, определяемые в плане засечками;
- привязки к пунктам радиогодезического обоснования и др.

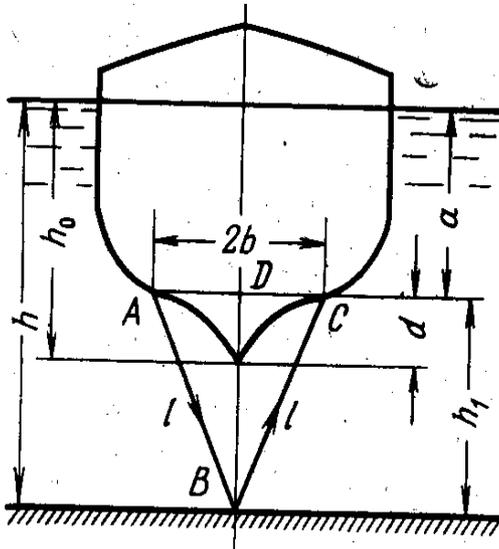


Рисунок 234 - Схема измерения глубины эхолотом

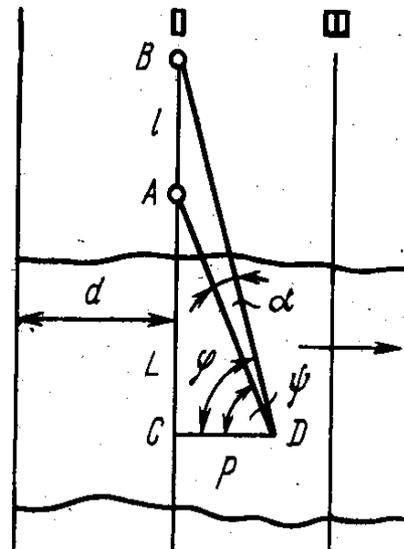


Рисунок 235 - Определени «чувствительности створа»

Определени

2.1.10.3. Плановая привязка промерных точек

Плановое положение промерного катера,двигающегося по галсу, может быть определено инструментальными засечками, радиодальномерными системами, фотограмметрическими методами.

Плановая привязка промерных точек на галсах производится не реже чем через 10 мм в масштабе плана, при этом обязательно определяют точки начала и конца галсов, резкого изменения скорости хода катера и глубин потока, перерыва хода промера.

А) Прямые засечки

Прямые засечки промерных точек проводят по команде, подаваемой с катера отмахками флага или по радиотелефону, с пунктов геодезического обоснования или с некоторого базиса, измеренного на берегу или острове и привязанного к пунктам обоснования, В момент засечки положение точки фиксируется (прожигается) на батиграмме и делается пояснительная надпись.

Катер при измерениях движется в створе галса по выставленным на берегу вехам, и от точности выдерживания створа(чувствительности створа) зависит качество съемки рельефа дни.

Допустим, А и В - опорные вехи на створе II (рис. 2), отрезок CD=p - отклонение промерного судна от створа, φ и ψ - углы, с помощью которых определяется чувствительность створа а, тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg}(\varphi - \psi) = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \psi}{1 + \operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \psi} \quad (3)$$

Обозначим АВ=l; АС=L. Тогда

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi &= (L + l) / p; \\ \operatorname{tg}\psi &= l / p \end{aligned} \quad (\text{a})$$

и, следовательно

$$\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\psi = (h + l - L) / p = l / p. \quad (\text{б})$$

С учетом выражения (б)

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{lp}{L^2 + Ll + p^2}. \quad (4)$$

По формуле (4) можно рассчитать такое расстояние между створными знаками, чтобы при заданных значениях L и a отклонение места наблюдателя от створной линии не превышало некоторого, заранее установленного значения p . Из формулы (4) находим:

$$l = \frac{L^2 \operatorname{tg}\alpha + p^2 \operatorname{tg}\alpha}{p - L \operatorname{tg}\alpha}. \quad (5)$$

При длинных промерных профилях значение угла α будет весьма малым и член $p^2 \operatorname{tg}\alpha$ и в формуле (5) опущен, поэтому

$$l = L^2 \operatorname{tg}\alpha (p - L \operatorname{tg}\alpha.) \quad (6)$$

откуда

$$\operatorname{tg}\alpha = lp / (L^2 + Ll). \quad (7)$$

или в радианах

$$\alpha' = lpp' / (L^2 + Ll). \quad (8)$$

Длину L можно взять с плана промерных работ, величину допускаемой нестворности p назначить по расстоянию d между смежными галсами, полагая $p=0.1d$.

Засечками определяются примерно треть или четверть от общего числа промерных точек; положение остальных точек определяется по секундомеру, считая, что промерный катер движется с равномерной скоростью.

При анализе прямой засечки для промерных работ следует иметь в виду, что ошибка визирования в этом случае значительно увеличивается за счет влияния реакции наблюдателя на отмахку флага, отклонения промерного катера от створа и т. д. и достигает для теодолитов при визуальной сигнализации 3 - 5' и для мензулы 7 - 10'.

Местоположение промерной точки может быть определено также *обратной засечкой* с движущегося катера путем измерения секстаном угла между направлениями на створные знаки и на береговой пункт планового обоснования. Наиболее надежные результаты получаются при более или менее перпендикулярном расположении измеряемого створа к базисной линии и при угле засечки в опорном пункте не менее 30° . Однако и в этих условиях средняя квадратическая ошибка засечек промерных точек секстаном в полосе съемки 1000 м достигает 10 м и более.

Применение радиодальномерных систем.

Для определения планового положения промерных точек применяют речной радиолог, состоящий из задающей радиостанции (ЗРС), находящейся на судне, и двух отражающих радиостанций (ОРС), установленных стационарно в опорных пунктах на берегу. Радиодальномерная система работает на трех частотах:

- рабочая частота ЗРС f_1 - 2790 кГц;
- частоты ОРС $f_2=2/3f_1$;
- $f_3=3/2f_1$;

Установленная на судне ЗРС генерирует и излучает колебания строго стабилизированной частоты, которые принимаются ОРС, трансформируются и излучаются в пространство с постоянным сдвигом фазы. Принятые приемником ЗРС трансформированные колебания в сочетании с собственными попарно подаются в каналы фазового счетчика, где для каждого текущего момента определяется разность фаз между колебаниями задающей и отражающих радиостанций, характер изучая расстояния между ними.

Положение судна определяется АВ линейной засечкой по радиусам векторам RA и RB из береговых опорных станций А и В (рис. 236), которые для точки O1 равны

$$\begin{aligned} R_A &= r_A + \Delta r_A; \\ R_B &= r_B + \Delta r_B; \end{aligned} \quad (9)$$

где $\Delta r_A, \Delta r_B$ - приращения расстояний, получаемые как произведение числа фазовых циклов, отсчитанных в процессе движения от точки O, на их линейное значение.

Речной радиолог снабжен автоматическим прокладчиком, позволяющим непрерывно фиксировать траекторию движения промерного судна в масштабах 1: 2000, 1: 5000 и 1: 10000. Координированию промера по методу радиолога предшествует геодезическая подготовка района работ, включающая привязку ОРС и обеспечение акватории съемки равномерно расположенными пунктами планового обоснования.

Места расположения ОРС выбирают с условием обеспечения стабильности работы радиоаппаратуры и геометрической надежности засечек и устанавливают на открытых возвышенностях в непосредственной близости от берегов. Их центр (мачта антенны) определяется с точностью не ниже 0,2 мм в масштабе плана.

Пунктами планового обоснования могут быть специально оборудованные плавучие вежи, сваи, причальные стенки и другие предметы, к которым может подойти промерное судно. Положение пунктов определяют прямыми и обратными засечками с ошибкой не более 0,3 мм в масштабе плана.

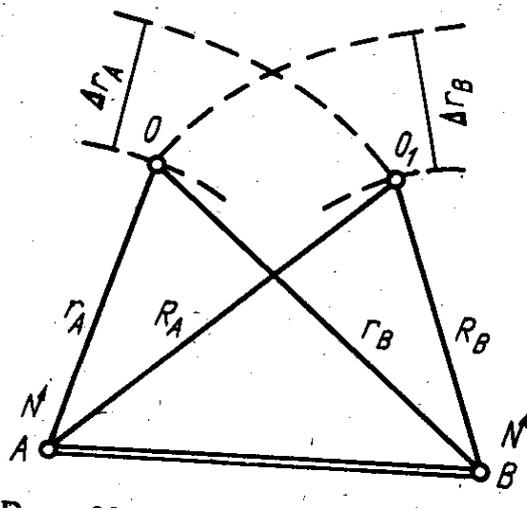


Рисунок 236 -Определение положения судна радиологом

Дальнейшее сгущение пунктов осуществляют проложением радиодальномерных магистралей между пунктами планового обоснования. Пункты радиомагистрالی

устанавливают вдоль берега и закрепляют плавучими вехами. В зависимости от ширины водотока расстояние между пунктами радиомагистралей не должно превышать 10-20-кратного интервала между галсами.

При проложении радиомагистралей промерное судно с включенной аппаратурой перемещается от одного опорного пункта к другому; моменты сближения судна с пунктами радиомагистралей фиксируются оперативными отметками. Для контроля и повышения точности проложения магистралей каждый ход прокладывают в прямом и обратном направлениях, а полученные невязки в координатах распределяют поровну на все промежуточные вехи.

Промер глубин всегда начинают от пункта с известными координатами и заканчивают через несколько галсов на таком же пункте. Протяженность промерного хода допускают не более 10 км. Полученные невязки хода распределяют пропорционально пройденному пути промерного судна.

В процессе промерных работ оперативными отметками фиксируют:

- привязку галсов к пунктам обоснования;
- начало и конец каждого галса;
- моменты изменения курса и скорости движения промерного судна;
- знаки плавучей обстановки и т. д.

При надлежащем соблюдении углов засечки (желательно в пределах $50 - 130^\circ$) речной радиолаг обеспечивает точность определения промерных точек около 5-7 м и дает высокую производительность измерений на больших водоемах.

Б) Фотограмметрические методы.

Достаточно эффективным является метод, сочетающий эхолотный промер с аэрофотосъемкой и фотограмметрической обработкой плана русла.

В этом методе плановая привязка галсов проектируется по фотопланам с использованием четких контуров местности. Для наиболее важных галсов определяются координаты точек привязки из фототриангуляции. Для засечки промерных точек на фотогалсах приборы устанавливают на берегу или острове в любой из контурных точек и ориентируют исходное направление по другому контуру. Фотопланы русла используют и для решения других гидрологических и геоморфологических задач.

Плановое положение промерных точек может быть определено способом обратных фотограмметрических засечек. С промерного катера, движущегося по створу, через некоторые интервалы времени фотографируют систему замаркированных точек обоснования, расположенных на одном из берегов (или лучше на разных берегах). Таких точек должно быть не менее четырех. При фотографировании оптическая ось измерительной камеры занимает горизонтальное положение.

По урезу воды на фотоснимках фиксируют линию горизонта, вдоль которой измеряют фотограмметрические абсциссы изобразившихся точек планового обоснования. Зная фокусное расстояние камеры f_k по разности измеренных абсцисс вычисляют углы между направлениями на точки обоснования, геодезические координаты которых известны:

$$\operatorname{tg}\beta = (x_1 - x_2) / f_k. \quad (10)$$

По координатам точек и вычисленным углам решают обратную задачу и определяют координаты промерной точки.

В момент фотосъемки береговых знаков по батиграмме делается оперативная отметка промерной точки. По исследованиям точность этого способа достаточна для составления плана русла в масштабе 1:2000.

По аэрофотоснимкам водной поверхности может быть определена глубина реки фотометрическим или стереофотограмметрическим методом.

В основе фотограмметрического метода лежит положение, что плотность фотоизображения водной поверхности увеличивается с глубиной по логарифмической зависимости.

При хорошей прозрачности воды и качественном изображении способ позволяет определять глубину до 5 м с точностью до 10 %. Более глубокие участки русла изображаются с постоянной плотностью (этот способ разработан проф. Малявским Б.К.).

В) Стереофотограмметрический метод

В стереофотограмметрическом методе глубины определяются по разности продольных параллаксов точек аэрофотоснимков с изображением дна реки сквозь прозрачный слой воды. При аэрофотосъемке водоемов проектирующие лучи проходят две среды -- воздух и воду, имеющие различные коэффициент преломления. В результате проектирующий луч изменяет направление в воде, и точки дна изображаются на аэрофотоснимке с некоторым линейным искажением $\Delta r'$ (рис. 237). Величина этого искажения находится из соотношения

$$\Delta r' / \Delta R = f_k / H.$$

Так как $\Delta R = h \operatorname{tg} \psi$, то

$$\Delta r' = f_k / H \cdot h \cdot \operatorname{tg} \psi. \quad (11)$$

Как известно,

$$\sin \varphi / \sin \psi = n, \quad (12)$$

где n - показатель преломления воды.

Кроме того,

$$\operatorname{tg} \varphi = r / f_k. \quad (13)$$

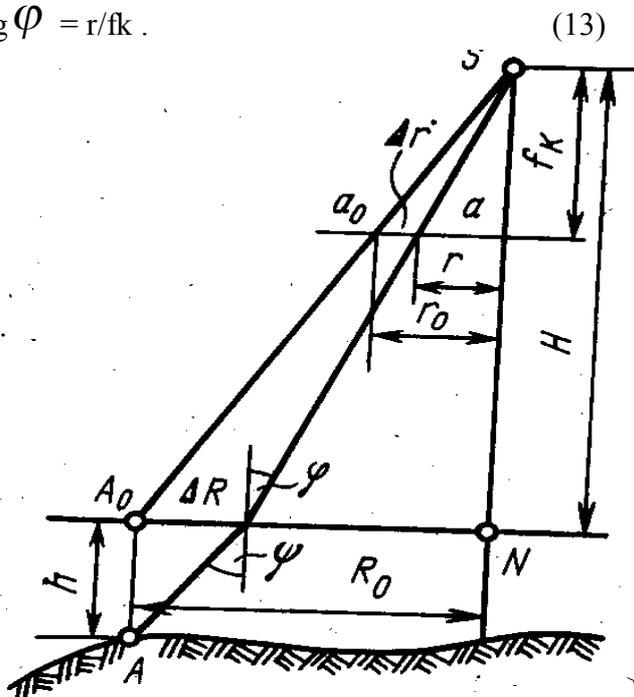


Рисунок 237. Измерение глубины стереофотограмметрическим методом

С учетом формул (12) и (13), выражение (11) приводится к виду:

$$\Delta r = \frac{hr}{H} \cdot \frac{1}{n \sqrt{1 + \frac{(n^2 - 1)r^2}{n^2 f_k^2}}}$$

или

$$\Delta r = \frac{hr}{H} \cdot F, \tag{14}$$

где обозначено

$$F = \frac{1}{n \sqrt{1 + \frac{(n^2 - 1)r^2}{n^2 f_k^2}}}$$

$$\tag{15}$$

Из формулы (14) следует, что искажения контуров на подводных аэрофотоснимках увеличиваются с возрастанием и расстояния от главной точки и уменьшаются с увеличением фокусного расстояния снимающей камеры. Параметр F также изменяется в зависимости от величины радиуса-вектора r до наблюдаемого контура.

Глубина водоема вычисляется по формуле

$$h = \frac{H\Delta p}{F_1 x_{Л} - F_2 x_{П}}, \tag{16}$$

где Δp - разность продольных параллаксов точек стереопары, измеряемая относительно урезов воды на видимые контуры дна; F1, и F2 -параметры, вычисляемые по формуле (41); xл и xп - абсцисса наблюдаемой точки на левом и правом аэрофотоснимках.

Если принять $F_1 \approx F_2$, то

$$h = \frac{H\Delta p}{F_1 x_{Л} - F_2 x_{П}} = \frac{H\Delta p}{bF}. \tag{17}$$

При n=1,34, r=50 мм параметр F равен:

$f_k, \text{мм}$	70	100	200
F	0,674	0,708	0,736
1/F	1,484	1,412	1,358

Следовательно, для определения глубины потока необходимо каждую измеряемую абсциссу умножить на величину F, вычисляемую для этой точки, что является трудоемкой задачей.

При использовании аэрофотоснимков, полученных фотокамерой с фокусным расстоянием 200 м и более для рабочей площади, ограниченной радиусом - вектором 40 - 50 мм, можно принимать для всех точек среднее значение параметра F и вычислять превышения по формуле (17).

Для рек с песчаным и каменистым дном и хорошей прозрачностью воды глубина может измеряться стереометодом на крупномасштабных аэрофотоснимках до 5 -6 м с точностью 3 - 5%.

Влияние поперечного уклона реки.

Промеряя глубины, необходимо иметь в виду, что водная поверхность реки имеет некоторый поперечный уклон, вызванный вращением Земли, влиянием центробежной силы на поворотах, действием бокового ветра и др.

Вследствие вращения Земли уровень воды у правых берегов рек северного полушария несколько возвышен. Величина этого возвышения равна

$$h_B = \frac{2v\omega \sin \varphi}{g} \cdot s \quad (18)$$

где v - средняя скорость потока в м/с; ω - угловая скорость вращения Земли (0.0000729 1/с); φ - широта места; g - ускорение свободного падения (9,8 м/с²); s - ширина реки.

На поворотах реки дополнительно возникает центробежная сила, под влиянием которой точки водной поверхности, расположенные с внешней стороны поворота, возвышаются над точками, расположенными с внутренней стороны. Величина этого возвышения может быть найдена по формуле

$$h_u = \frac{v^2}{gR} \cdot s, \quad (19)$$

здесь R - радиус поворота.

Резкое искажение поперечного профиля водной поверхности вызывается боковым ветром и быстрым изменением уровня воды в паводки. В последнем случае вследствие того, что скорость течения в середине потока больше, чем у берегов, средняя часть водной поверхности будет несколько приподнятой при резком подъеме воды и опущенной при сильном спаде ее. На больших реках величина этого подъема или спада воды может достигать нескольких дециметров.

При промерных работах на больших реках необходимо учитывать поперечный уклон реки, развивать высотное обоснование на обоих берегах реки и периодически нивелировать в поперечных профилях правые и левые урезы воды.

2.1.10.4. Обработка материалов

Как уже отмечалось, одновременно с промерами глубин ведутся наблюдения на временных и постоянных водомерных постах за колебаниями уровня воды. Зная высоту уровня в момент промера и вычитая из нее измеренную глубину в зафиксированной промерной точке, получают ее высоту, которую выписывают на плане. По высотам рисуют горизонтали дна. Методом тахеометрической съемки или стереофотограмметрии изображают рельеф берегов и поймы.

Для целей судоходства измененные глубины по наблюдениям на водомерных постах и высотам точек однодневной связки приводят к одной дате, выписывают их на план и проводят линии равных глубин -- изобаты. По высотам дна и глубинам реки на плане изображают линию наибольших глубин.

1) Определение морфологических характеристик реки

Живое сечение реки определяется:

- * площадью
- * шириной
- * смоченным периметром
- * гидравлическим радиусом
- * средней скоростью

* расходом воды

а) ширина реки – В (рис. 238).

$$B = S_{п.б.} - S_{л.б.}$$

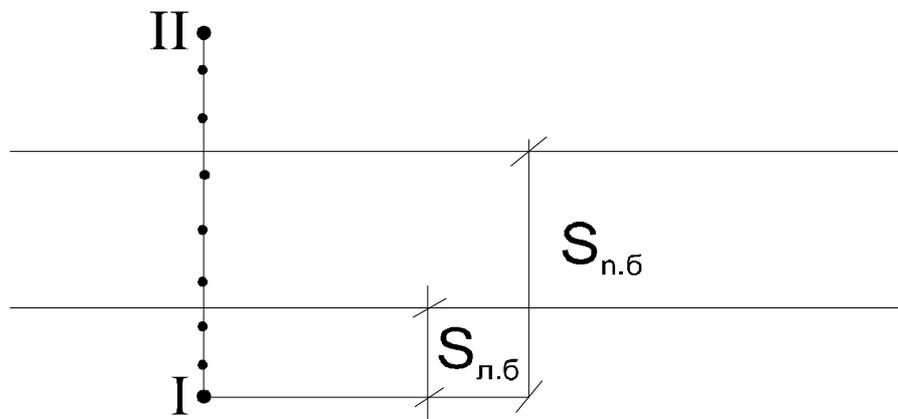


Рисунок 238 – Определение ширины реки.

б) Площадь живого сечения реки - ω в m^2 (рис. 239):

$$\omega = \frac{l}{2} h_1 \cdot \Delta S_{3-4} + \frac{l}{2} (h_4 + h_5) \cdot S_{4-5} + \frac{l}{2} (h_{n-1} + h_n) \cdot \Delta S_{n(n-1)}$$

$$\Delta S_{3-4} = S_4 - S_3$$

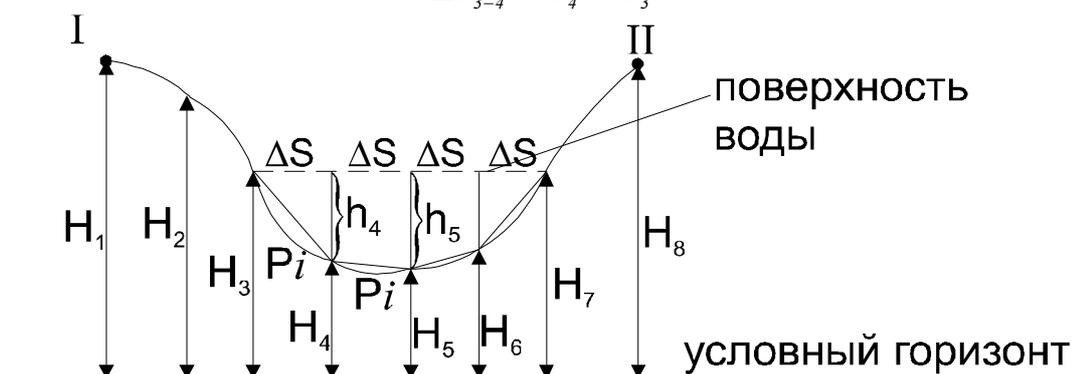


Рисунок 239.

h_i - отметки воды;

H_i - отметки дна.

в) смоченный периметр p_i (гипотенуза):

$$p_i = \sqrt{\Delta h^2 + \Delta S^2}$$

$$P = \sum p_i$$

г) гидравлический радиус R:

$$R = \frac{\omega}{B}$$

д) средняя глубина $h_{ср.}$:

$$h_{ср.} = \frac{\omega}{B}$$

Для равнинных и неглубоких рек $R \approx R_{ср.}$

Профиль живого сечения строят от постоянного начала до промерных вертикалей 2, 3, 4, 5, 6, 7 (рис. 239) и по отметкам дна русла $H_2, H_3, H_4, H_5, H_6, H_7$. Для этого используют измерения глубин h_i и отметку уреза воды $H_{ур.в.}$

$$H_{дна i} = H_{ур.в.} - h_i$$

2) *Определение скоростей и расходов воды*

Скорость воды определяется с помощью поплавков или гидрометрических вертушек.

Первый способ (с помощью поплавков) основан на перемещении вместе с водой тела, отличного от воды (рис. 240).

Во втором способе (с помощью гидрометрических вертушек) скорость определяется по числу оборотов лопасти в единицу времени, вращающейся под действием потока.

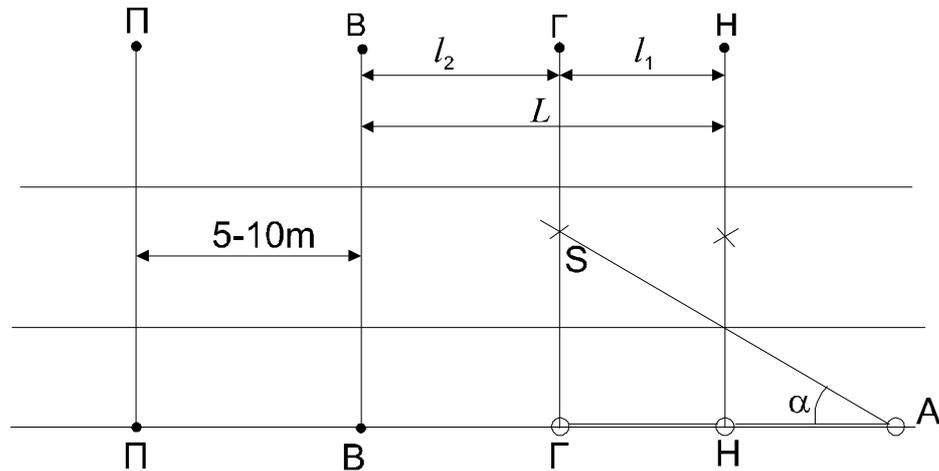


Рисунок 240 - Способ поплавков

Для определения поверхностной скорости, на берегу разбивают три створа и устанавливают вехи (створы пусков, верхний, нижний, главный).

Расстояние между створами поплавков проходит за время 20-40 мин. Время пересечения верхнего, главного и нижнего створов фиксируется по секундомеру.

Во втором способе определяют число оборотов вертушки n за время t :

$$n = \frac{N}{t} .$$

Затем, по специальной таблице в зависимости от n определяют скорость потока в данной точке:

n	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
v , м/с	0,387	0,513	0,640	0,766	0,892	1,020	1,146	1,273

Расход воды - объем, протекающий через единицу сечения в единицу времени, определяется графоаналитическим способом с использованием средних скоростей на скоростных вертикалях:

$$Q = \frac{1}{3}q_1b_0 + \frac{q_1 + q_2}{2}b_1 + \dots + \frac{q_{n-1} + q_n}{2}b_{n-1} + \frac{1}{3}q_nb_n \text{ (м}^3\text{/с)}.$$

q_i - элементарные расходы;

$$q_i = v_{cp} \cdot h_{срезки}$$

$h_{срезки}$ - глубина реки со срезкой по данной вертикали;

b_1, \dots, b_n - расстояние между вертикалями;

v_{cp} - средняя скорость по данной скоростной вертикали.

3. ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

3.1. Назначение и способы возведения подземных сооружений

Возведение подземных сооружений представляет сложную техническую задачу, включающую:

- разработку и выемку горной породы;
- временное закрепление контура выемки;
- установку элементов постоянной отделки.

При этом должна быть обеспечена полная безопасность работающих.

По назначению подземные сооружения можно разделить на следующие виды:

- 1) тоннели на путях сообщения (железно-автомобильные, метрополитены, пешеходные, судоходные)
- 2) гидротехнические тоннели (в комплексах гидроэлектростанций, водоснабжения, мелиорации)
- 3) коммунальные тоннели (водостоки, коллекторы и др.)
- 4) промышленные и горнопромышленные подземные сооружения
- 5) специальные.

В зависимости от глубины заложения способы возведения подземных сооружений разделяют на две основные группы:

- открытые способы постройки в котлованах;
- открытые способы возведения сооружений глубокого заложения без нарушения обустройств на земной поверхности.

Открытым способом сооружают тоннели мелкого заложения. При этом важное значение имеет застроенность местности.

В незастроенной местности тоннели строят в котлованах с откосами; на застроенных территориях - в котлованах или шпунтовым ограждением; при строительстве вблизи зданий применяют траншейный способ.

Первый случай в комментариях не нуждается.

Во втором случае (рис. 1) по контуру будущих стен туннеля забивают сваи или шпунты (1) и производят разработку породы до проектной высоты дна. По мере разработки устанавливают расстрелы (2) из металлических балок или труб, а между сваями - деревянную затяжку.

Монтаж туннельной отделки из сборного железобетона выполняют в следующей последовательности:

- укладывают подготовку 3 из тощего бетона;
- устраивают кирпичную защитную стенку 4;
- производят гидроизоляцию лотка 5;
- монтируют лотковые 6 и стеновые блоки 7;
- устраивают перекрытие 8;
- выполняют гидроизоляцию стен и перекрытия 9;
- кладут защитную кирпичную стенку 10;
- устраивают защитную цементную стяжку 11 по перекрытию.

После окончания монтажа производят обратную засыпку до проектных высот вертикальной планировки.

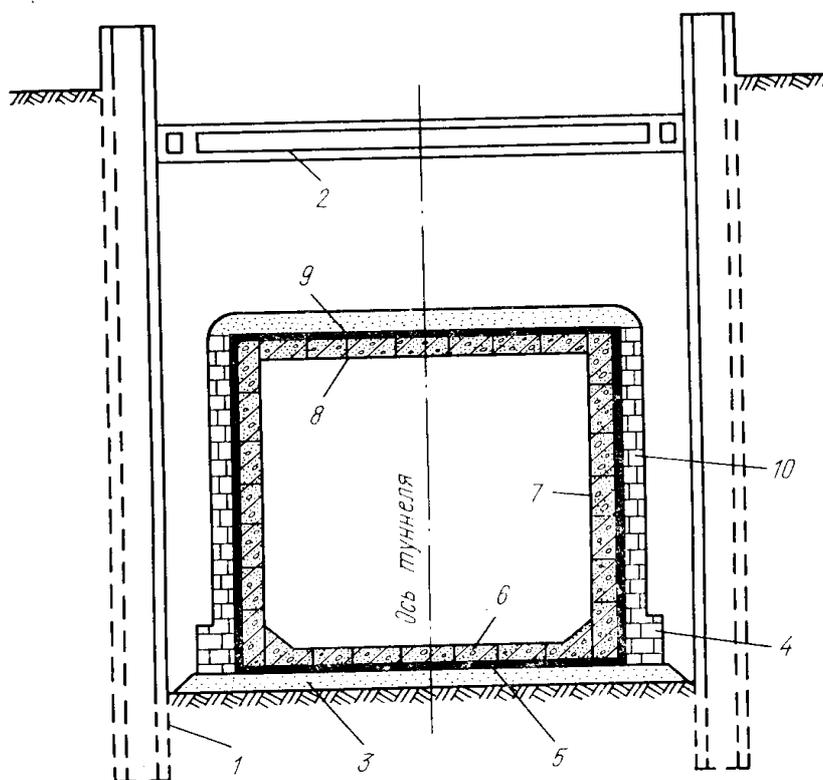


Рисунок 1 – Схема строительства туннеля открытым способом

При траншейном способе строительства разрабатывают узкие траншеи на глубину стен, которые бетонируют до отметки перекрытия. После окончания сооружения стен и затвердения бетона над будущим тоннелем выбирают грунт и бетонируют перекрытия. Затем через отверстия, оставленные в перекрытии выбирают грунт и бетонируют лоток. В местах, где тоннели проходят в непосредственной близости к зданиям вместо сплошных траншей роют отдельные колодцы, и стены тоннеля бетонируют небольшими по протяжению участками.

Тоннели глубокого заложения сооружают подземным способом через порталы или через вертикальные стволы и специальные камеры.

Через порталы сооружают тоннели в горной местности (рис. 2).

Портал - сооружение, оформляющее вход в тоннель и предназначенное для укрепления стенок откосов и лобовой стенки тоннеля, отвода воды от тоннеля и архитектурного оформления входа в него.

Если железнодорожная дорога под землю уходит не сразу, а постепенно, то перед тоннелем сооружают длинную, постепенно увеличивающуюся выемку, стены которой укрепляют бетоном или камнем. Сооружение, укрепляющее поход к тоннелю называется рамкой.

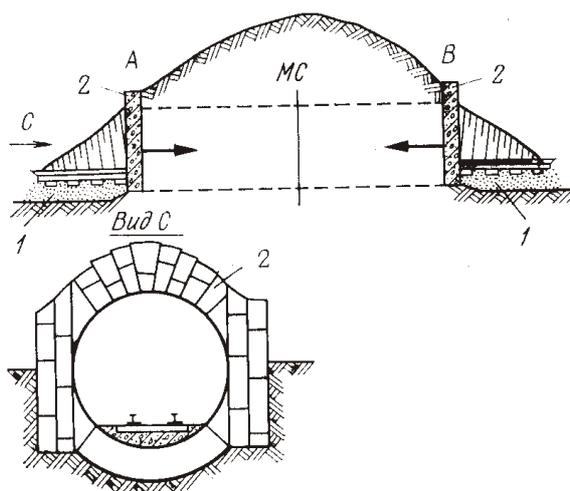


Рисунок 2 – Сооружение туннеля через порталы: МС – место сбойки

Тоннели метрополитена глубокого заложения сооружают обычно через вертикальные стволы. Стволы проектируют смещенными на 20-50 метров от трассы тоннеля (рис. 3).

После проходки и возведения ствола 1 до проектной глубины под землей строят рудничный двор 2. Для выхода от ствола на трассу 4 сооружают подходные штольни 3.

Один и тот же тоннель может одновременно сооружаться через стволы и через порталы.

По внешнему контуру поперечного сечения тоннеля сооружают постоянное крепление, называемое обделкой. Обделка бывает металлической или железобетонная, состоящая из отдельных колец шириной 0.75-1м. каждое кольцо собирается из отдельных сегментов, которые называются тубингами.

Может быть обделка из монолитного бетона или железобетона. В крепких скальных породах контур тоннеля может оставаться без крепления - лишь неровности выравнивают бетоном.

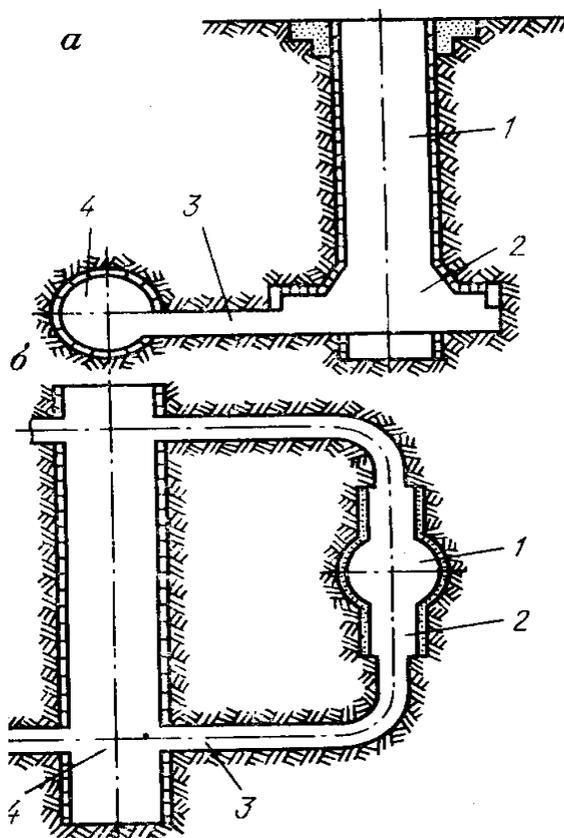


Рисунок 3 – сооружение туннеля через вертикальные стволы: а) разрез;
б) план

Для проходки тоннелей широко применяются щиты. Это мощное сооружение (диаметром 6м и более), которое с помощью домкратов подвигается в перед, а следом осуществляется крепление. Основное применение щитов - строительство перегонных тоннелей метрополитенов и коммуникационных тоннелей.

При щитовом способе в качестве временной крепи применяют стальной цилиндр - щит, имеющий диаметр, несколько больший, чем тоннельная обделка.

Породу перед щитом разрабатывают на ширину кольца обделки, после чего щит передвигают в образовавшееся пространство при помощи расположенных в нем гидравлических домкратов, которые упираются в последнее кольцо обделки.

3.2. Понятие о габарите и форме поперечных сечений

Габаритом называют предельное очертание какого-либо сооружения. Размеры поперечных сечений тоннелей (ширина, высота) определяются пропускной способностью строящегося туннеля.

В туннелях на путях сообщения установлено три вида габаритов (рис. 4):

- подвижного состава;
- приближение строения;
- приближение оборудования.

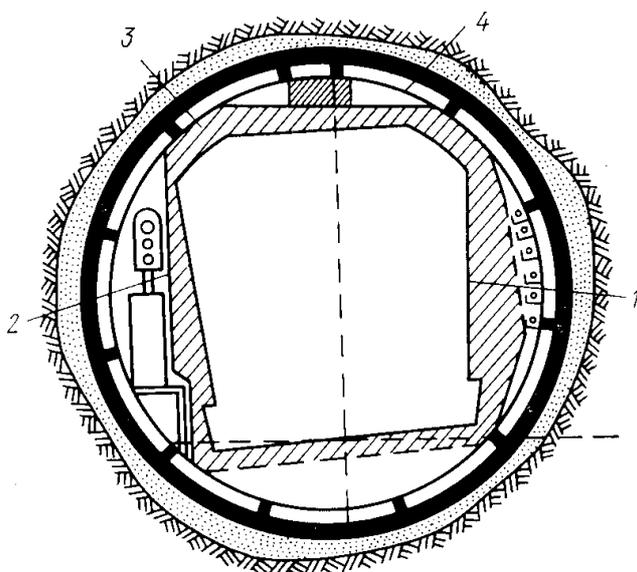


Рисунок 4 – Габариты поперечного сечения туннеля

Габарит подвижного состава (1) определяется контуром внутри которого должен помещаться подвижной состав со всеми выступающими и висящими частями с учетом раскачки вагонов на рессорах во время движения, и возможных случаев наклонов вагонов при поломке.

Габарит приближения строения (2) определяется контуром очертания обделки туннеля. Он представляет собой плавную кривую, проведенную по наиболее выступающим внутрь туннеля точкам обделки.

Габарит приближения оборудования (3) определяется контуром, соединяющим наиболее выступающие точки различного оборудования, устанавливаемого и монтируемого в туннелях (кабели на специальных крючках, светофоры, релейные шкафы, осветительные фонари и др.)

Габаритный запас (4) - пространство между габаритом подвижного состава и габаритом приближения оборудования. Он устанавливается проектировщиками и является исходной величиной для расчета требуемой точности выполнения геодезических работ при сооружении туннеля.

Форма поперечного сечения туннеля зависит от следующих показателей:

- размера туннеля;
- назначения туннеля;
- способа сооружения (возведения);

-величины, интенсивности и направления горного давления.

3.3. Назначение геодезических работ при проектировании и строительстве туннелей

При проектировании - получить необходимый топографо-геодезический материал.

При строительстве - правильно перенести в натуру оси трассы и очертание запроектированного туннеля.

Наиболее важными и ответственными являются работы, связанные с обеспечением сбоек подземных работ с необходимой точностью.

Для удешевления строительства габаритный запас устанавливают как можно меньше (10 см для туннелей метрополитена и ж/д). В результате этого повышаются требования к точности геодезических работ.

При строительстве геодезист выполняет очень большой объем работ. Основными работами являются:

- контроль за вертикальностью проходки стволов;
- проверка правильности установки каждого тубинга;
- ведение щита по трассе;
- съемка контуров разработанной породы;
- съемка контуров внутреннего очертания обделки туннеля;
- подсчет объемов выполненных работ по результатам выполненных съемок;
- контроль за возможными смещениями точек съемочного обоснования;
- наблюдения за деформациями туннеля и сооружений на дневной поверхности.

При сдаче туннеля в эксплуатацию вместе с исполнительными чертежами геодезисты сдают каталоги геодезического обоснования на поверхности и в туннели.

При эксплуатации тоннелей геодезисты производят измерения для определения величины деформаций и принимают участие при рихтовке и пере укладке путей.

3.4. Способы проектирования трассы тоннеля

Применяют два способа проектирования трассы: геометрический и аналитический.

Геометрический способ

При геометрическом способе ось тоннеля трассируется непосредственно на поверхности земли.

Измеренные углы и линии вынесенной и закрепленной в натуре оси тоннеля принимают за основу при перенесении оси под землей. Поэтому ошибки геодезических измерений оказывают влияния на точность проектирования.

Способ применим при сравнительно несложных топографических условиях и при отсутствии застройки.

Аналитический способ

Аналитический способ применяют при проектировании метрополитенов и тоннелей в сложных топографических условиях.

Сущность способа заключается в следующем:

- 1) Трассу наносят на план масштаба 1:2000 или более мелкого масштаба.
- 2) Графически определяют координаты вершин углов поворота.

3) Решая обратные геодезические задачи, вычисляют азимуты трассы и расстояния между вершинами поворотов. Углы вычисляют до 0.1, а расстояние до мм.

4) По азимутам отдельных участков определяют углы поворота и задаваясь длиной радиусов круговых кривых вычисляют до мм длины кривых и линий тангенсов.

5) Эти величины принимаются за основу для дальнейшего проектирования и вынесения оси тоннеля в процессе строительства.

Ошибки графического определения координат могут вызвать небольшое смещение трассы по отношению к ситуации, но все точки поворота трассы будут между собой строго математически согласованы. То есть, на точность проектных расчетов будут влиять только ошибки округлений при определении основных элементов трассы.

3.4.1. Основные элементы трассы в плане и профиле

В плане трасса состоит из прямых отрезков и круговых кривых. Такая запроектированная трасса тоннеля в плане носит название разбивочной оси трассы.

Для более плавного перехода с прямого участка на кривую между ними вписывается переходная кривая переменного радиуса. В результате вписывания переходных кривых круговая кривая смещается к центру кривизны на величину сдвижки p и радиус смещенной круговой кривой равен $R-p$.

Ось трассы, включающая прямые отрезки, переходные и смещенные круговые кривые, называется осью пути.

Для уравнивания действия центробежной силы на кривых внешний рельс возвышают по отношению внутреннему на величину h , которую для круговой кривой подсчитывают по формуле:

$$h = 12,5 * \frac{v^2}{R}$$

v - средняя скорость движения поездов, км/ч

R - радиус кривой, в м.

В результате этого возвышения центр вагона смещается на величину q (рис.1)

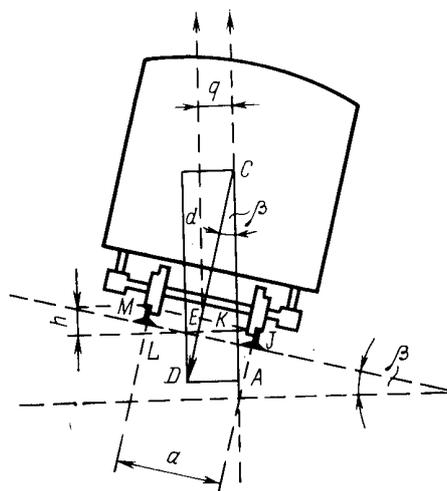


Рисунок 1 – Смещение оси туннеля на кривых

Из подобных треугольников MLK и CLD можно написать:

$$LM/ED = MK/CE$$

Учитывая, что ED очень мало отличается от величины q можно записать:

$$\frac{h}{q} = \frac{a}{d}; \quad q = h \frac{d}{a}$$

d - высота центра вагона над головками рельсов,

a - расстояние между осями рельсов (для нормальной колеи $a = 1524$ мм.)

Следовательно, ось туннеля необходимо сместить в сторону круговой кривой от оси пути на величину q . Тогда радиус кривой по оси туннеля будет $R_T = R - p - q$

Таким образом, на участках круговых кривых в проектных чертежах дается три оси трассы:

1. Разбивочная ось с запроектированным радиусом R ;

2. Ось пути с радиусом $R-p$;
3. Ось тоннеля с радиусом $R-(p+q)$.

Тоннели метрополитенов строят преимущественно однопутными. Для движения поездов в прямом и обратном направлениях сооружают два параллельных тоннеля с расстояниями между осями $D=25.4$ м.

Если двигаться между тоннелями по ходу возрастания пикетажа, то тоннель расположенный слева, называют левым, а справа - правым. Нулевые пикеты на правом и левом тоннелях располагают так, чтобы линия, их соединяющая была перпендикулярна к оси трассы (рис. 2).

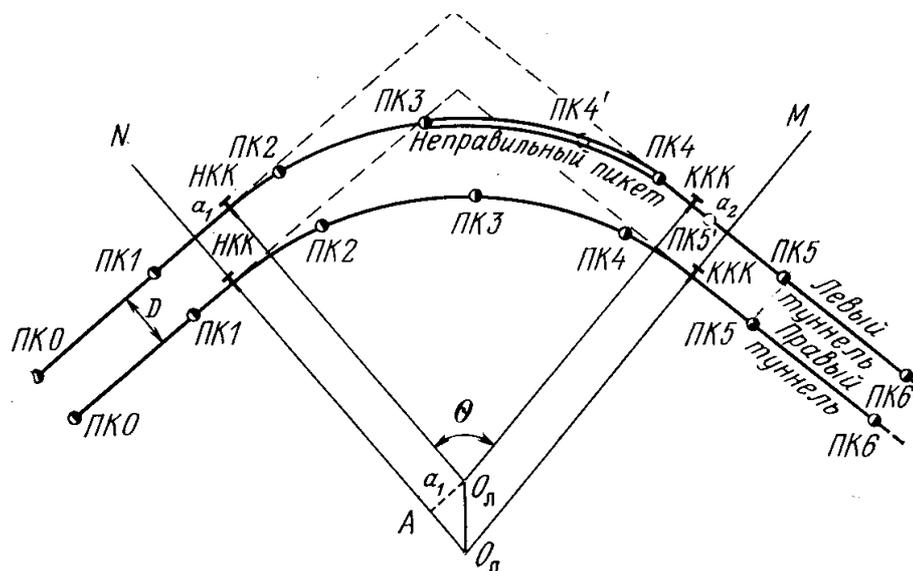


Рисунок 2 – Расположение пикетажа на кривых двухпутного туннеля

На кривых участках длина и радиус круговых кривых неправом и левом путях проектируется одинаковыми. При таком положении на правом (внутреннем) пути укладывается меньшее количество пикетов, чем на внешнем. Вследствие этого на прямом участке за кривой, одноименные пикеты левого и правого пути не будут находиться на одном перпендикуляре к оси пути (например, ПК 5' и ПК 5).

Это вызывает неудобства при строительстве и эксплуатации. Поэтому прибегают к введению неправильных пикетов, длины которых могут быть больше или меньше 100 м.

Так как длины круговых кривых в левом и правом тоннелях одинаковы, то отклонение длины неправильного пикета от 100 м определяется величиной $a = a_1 + a_2$, где $a_1 = a_2$.

Рассмотрим прямоугольный треугольник $AO_{\text{Л}}O_{\text{П}}$.

В нем $A \cdot O_{\text{П}} = D$ (расстояние между путями), а $a_1 = O_{\text{Л}} \cdot A$, тогда:

$$a_1 = D * \operatorname{tg} \frac{Q}{2}$$

$$a = a_1 + a_2 = 2 * D * \operatorname{tg} \frac{Q}{2}$$

Величины a вводят или в последний пикет левого пути, или в последние пикеты левого и правого пути равными частями, но с разными знаками.

3.4.2. Расчет координат пикетов трассы

Для вынесения проекта тоннеля в натуру необходимо знать координаты всех пикетов трассы и точек кривых.

На прямых участках приращение координат между пикетами вычисляют по известным формулам

$$\Delta X_i = d * \cos \alpha_i; \quad \Delta Y = d * \sin \alpha_i$$

d - проектное расстояние между пикетами (100м);

α_i - дирекционный угол прямых участков, определяемый через углы поворота трассы:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i + Q_{\text{np}} = \alpha_i - Q_{\text{л}};$$

Q_{np} и $Q_{\text{л}}$ - соответственно угол поворота трассы вправо и влево.

С использованием этих формул вычисляют координаты НКК, ВУ, ККК.

Координаты пикетов, расположенных на кривой, вычисляют двумя независимыми путями:

- 1) через центральные углы и длины радиусов от координат центра кривой.
- 2) по стягивающим хордам и углам между ними.

1) Расчет координат пикетов через центральные углы

Центральные углы определяют по формулам (рис. 3):

$$\gamma_1 = \frac{K_1}{R} \cdot \rho; \quad \gamma_{\text{п}} = \frac{K_{\text{п}}}{R} \cdot \rho; \quad \gamma_{\text{нп}} = \frac{K_{\text{нп}}}{R} \cdot \rho$$

γ_1 - центральный угол при точке О между радиусами, проведенными через точку НКК и первый пикет, лежащий на кривой;

γ_2 - центральный угол между радиусами, проведенными через последний пикет на кривой и т. ККК;

$\gamma_{\text{п}}$ - центральный угол, соответствующий нормальному расстоянию между пикетами;

$\gamma_{\text{нп}}$ - центральный угол, соответствующий неправильному пикету;

$K_1, K_2, K_{\text{п}}, K_{\text{нп}}$ - длины дуг, соответствующих центральным углам $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_{\text{п}}, \gamma_{\text{нп}}$.

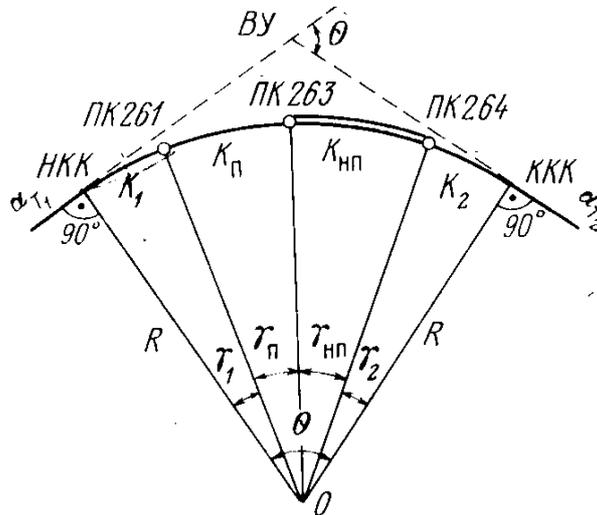


Рисунок 3 – Схема расчета координат пикетов на кривых

Длины дуг K вычисляют по пикетажу.

Контроль вычисления дуг:

$$K_{1+n} * K_{\text{п}} + K_{\text{нп}} + K_2 = K,$$

K - длина круговой кривой.

Контроль вычисления центральных углов:

$$\gamma_1 + n * \gamma_{II} + \gamma_{III} + \gamma_2 = \theta,$$

n - количество нормальных пикетов;

θ - угол поворота трассы.

Координаты центра кривой от точки НКК вычисляют по формулам:

$$X_O = X_{НКК} + R * \cos.(\alpha_{T1} + 90^\circ);$$

$$Y_O = X_{НКК} + R * \sin(\alpha_{T1} + 90^\circ),$$

α_{T1} - дирекционный угол первого тангенса.

Координаты X_O, Y_O контролируют от точки ККК.

Координаты точек на кривой находят по приращениям координат относительно центра кривой. Для этого вычисляют дирекционные углы направлений с центра кривой на соответствующие пикеты, используя дирекционный угол О-НКК:

$$\alpha_{O-НКК} = \alpha_{T1} + 270^\circ$$

$$\alpha_i = \alpha_{O-НКК} + \sum_1^{I-1} \gamma_i$$

Приращения координат находят по формулам:

$$\Delta X_i = R * \cos. \alpha_i$$

$$\Delta y_i = R * \sin \alpha_i$$

$$\Delta x_i = R * \cos.(\alpha_{T1} + 270^\circ + \gamma_i)$$

$$\Delta y_i = R * \sin(\alpha_{T1} + 270^\circ + \gamma_i)$$

2) Вычисление координат по стягивающим хордам

Для этого необходимо знать дирекционные углы и длины этих хорд.

Дирекционные углы вычисляют от исходных дирекционных линий тангенсов α_{T1} и α_{T2} по значениям углов поворота хорд.

Углы поворота хорд вычисляют из равнобедренных треугольников, образованных радиусами и стягивающими хордами.

$$\beta_{1П} = 180^\circ - \gamma_1/2$$

$$\beta_{1Л} = \gamma_1/2 + 180^\circ$$

$$\beta_{2П} = 90^\circ - \gamma_1/2 + 90^\circ - \gamma_2/2 = 180^\circ - \gamma_1/2 - \gamma_2/2$$

$$\beta_{2Л} = \gamma_1/2 + \gamma_2/2 + 180^\circ$$

Чтобы найти длины хорд, используют длины круговых кривых (рис. 4).

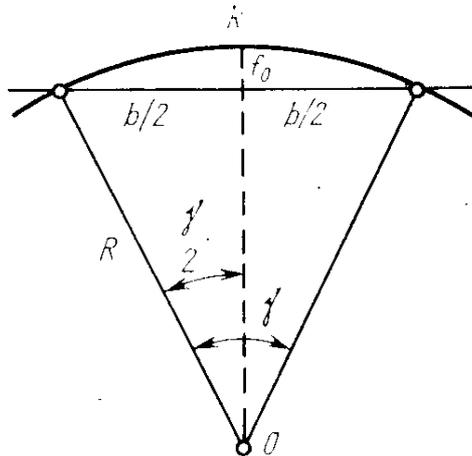


Рисунок 4 – Хорда и дуга кривой

Половина хорды вычисляется по формуле:

$$b/2 = R * \sin \gamma/2$$

$$b = 2 * R * \sin \gamma/2$$

Длина кривой K можно записать:

$$K = R * \gamma / \rho$$

$$K - b = R * \gamma / \rho - 2 * R * \sin \gamma/2$$

Разложим $\sin\gamma/2$ в ряд. При малых γ , не превышающим 3° , ограничимся вторым членом разложения:

$$\sin\gamma/2 = \gamma/2 - \gamma^3/48$$

Подставим в формулу (1), получим:

$$K-b = R*\gamma/\rho - R*\gamma/\rho + \gamma^3*R/\rho^3/24$$

Заменим $\gamma = K*\rho/R$, тогда:

$$K-b = K^3*\rho^3*R/24*\rho^3*R^3 = K^3/24*R^2$$

Переход от длин круговых кривых к длинам хорд осуществляется введением поправок (К - в):

$$b = K - K^3/24*R^2$$

3.4.3 Вычисление координат концов переходных кривых

Для вычисления координат начал переходных кривых используют дирекционные углы прямых участков трассы и длины отрезков t_1 , вычисляемые по формуле (рис. 5)

$$t_1 = L/2 * (1 + L^2/30*R^2) = L/2 + L^3/60*C^2,$$

L - длина переходной кривой ;

C - параметр из проектного чертежа равный LR.

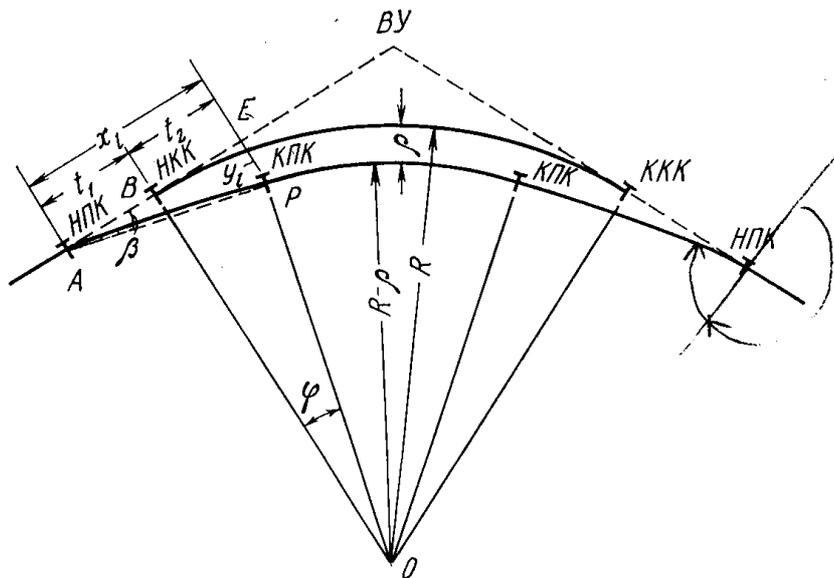


Рисунок 5 – Вставка переходных кривых

В качестве исходных принимают координаты точек начала и конца круговых кривых (НКК). Координаты концов переходных кривых могут быть вычислены двумя независимыми способами:

1) По приращениям координат относительно центра круговой кривой:

$$\Delta X = (R-p) \cdot \cos \alpha_{O-КПК}$$

$$\Delta Y = (R-p) \cdot \sin \alpha_{O-КПК}$$

p - смещение оси пути от разбивочной оси:

$$p = L^2/24 \cdot R \cdot (1 + 13 \cdot L^4/112 \cdot R^3)$$

$$\alpha_{O-КПК} = \alpha_{O-НКК} + \mu = \alpha_{Т1} + 270^\circ$$

$$\mu = L/2 \cdot R \cdot \rho$$

2) По величинам X_e, Y_e :

$$X_e = L \cdot (1 - L^2/40 \cdot R^2)$$

$$Y_e = L^2/6 \cdot R \cdot (1 - L^2/56 \cdot R^2)$$

Исходными данными служат дирекционный угол прямого участка трассы и координаты начала переходной кривой.

Полученные различными путями результаты вычислений должны сходиться в пределах ошибок округлений.

Перед вычислениями координат пикетов, расположенных на оси туннеля необходимо определить длину круговой кривой по оси туннеля, т.к. ее значение отличается от круговой кривой на разбивочной оси.

$$K_T = \theta_T * R_T / \rho$$

$$\theta_T = \theta - 2 * \mu$$

$$R_T = R - (p + q)$$

Угол θ_T может быть получен еще и как разность дирекционных углов радиусов, проведенных через концы переходных кривых.

3.5. Вычисления данных для вынесения в натуру круговых кривых

Вынесение трассы тоннеля в натуру на кривом участке осуществляется по ломанному контуру, состоящему из прямых линий и углов поворота. В качестве прямых линий используют хорды или секущие

3.5.1. Вынесение по хордам. Выбор длины хорды

Чем длиннее выбраны длины хорд, тем меньше их количество уложится в заданной кривой и следовательно тем будет меньше объем разбивочных работ. Однако чем длиннее хорда, тем больше величина стрелки прогиба и тем дальше точки, лежащие на хорде (особенно в середине ее) отходят от круговой кривой, которую переносят в натуру.

Величина стрелки прогиба определяется формулой:

$$f_0 = K^2 / 8 * R$$

Для приближенных расчетов можно принять $k=b$:

$$f_0 = b^2 / 8 * R$$

Из этой формулы можно определить $b_{\text{ГП}}$, при которой стрелка прогиба не превышала бы величины f_{max} :

$$b_{\text{ГП}} = \sqrt{8 * R * f_{\text{max}}}$$

Чаще всего принимают $f_{\text{max}}=5$ см. Отклонения точек кривой от прямолинейных хорд можно не учитывать.

Для вынесения круговой кривой необходимо вычислить координаты концов хорд. Это можно сделать двумя способами:

- 1) кривую выносят равными хордами;
- 2) ставят условие, что длина хорды была равна целому числу метров; тогда только в конце будет другая длина хорды.

В первом случае расчет выполняется в следующей последовательности

:

- вычисляют длину хорды $b_{\text{ПР}}$:

$$b_{\text{ПР}} = \sqrt{8 * R * f_{\text{max}}}$$

- определяют приближенное число хорд: $n' = K_T / b_{\text{ПР}}$

K_T - длина круговой кривой по оси тоннеля.

- округляют n' до ближайшего большего целого числа и получают окончательное значение хорд n .

- вычисляют длину круговой кривой, стягиваемой одной хордой:

$$K_b = R_T / n$$

- рассчитывают центральный угол между радиусами, проведенными через концы хорд:

$$\gamma = K_b / R_T * \rho$$

- переходят от длины круговой кривой к длине хорды b , для его вычисляют поправку:

$$K_b - b = K^3 / 24 * R^2$$

$$b = K - K^3 / 24 * R^2$$

Если поправка меньше 1мм, то ее следует вводить через 2-3 хорды величиной по 1 мм.

- вычисляют координаты концов хорд по замкнутому разбивочному полигону от точки НКК до точки ККК.

Внутренние углы поворота между смежными хордами равны

$$\beta = 180^\circ - \gamma,$$

а внутренние углы между первой хордой в точке НКК и радиусом, а также между конечной хордой и радиусом равны:

$$\beta_H = \beta_K = 90^\circ - \gamma / 2$$

3.5.2. Вынесение по секущим

Длина секущей выбирается такой, чтобы отклонение концов секущей $f_k = A_C * C'$, $f_k = B_C * D'$ не превышало величины отклонения кривой от середины секущей- f .

Найдем зависимость между длиной секущей и хордой.

Обозначим:

-секущую $A_C B_C = C$

-хордовую часть $A_b B_b = b$

Поставим условия:

$NM = AEC' = B_C D = f_0$

тогда $NP = 2f_0$

Примем, что длина хорды CD равна длине секущей, тогда:

$$2f_0 = \frac{c^2}{8 * R}$$

$$f_0 = \frac{c^2}{16 * R}$$

Рассматривая хордовую часть секущей $A_b B_b = b$, можно записать:

$$f_0 = \frac{b^2}{8 * R}$$

Приравнивая правые части равенств (1) и (2), получим:

$$\frac{c^2}{16 * R} = \frac{b^2}{8 * R}$$

$$c^2 = 2 * b^2$$

$$c = \sqrt{2} * b$$

Таким образом, при одном и том же отклонении круговой кривой от разбивочной линии длина секущей будет в $\sqrt{2}$ раз больше длины хорды, что уменьшает объем разбивочных работ.

Исходя из 3, $c = 1.414 b$; $b = 0.707c$

Для упрощения принимают $b = 0.7c$. Тогда сумма внешних концов секущей будет:

$$A_C A_B + B_B B_C = 0.3C$$

Т.к. $A_C A_B = B_B B_C$ - они равны $0.15C$.

Вследствие того, что коэффициент при c округлен до десятых долей, несколько нарушается равенство отклонений средней и конечной точек секущей от кривой, но это практического значения не имеет.

Крайние секущие, примыкающие к началу и концу круговой кривой, имеют хордовые части v и по одному внешнему отрезку такие секущие называются неполными секущими:

$$C_H = v + 0.15c = 0.7c + 0.15c = 0.85c$$

Суммарная длина всех разбивочных линий равна

$$S = C * n + 2 * C_H = C * (n + 1.7)$$

$$n = S / C - 1.7$$

n -число полных секущих.

Если обозначим через m -суммарное число полных и неполных секущих, то $m = S / C = 0.3$.

Поправки для перехода от длины дуги круговой кривой к секущей вычисляются по формулам:

а) для полной секущей

$$K_C - C = - \frac{K_C^2}{48 * R^2}$$

б) для неполной секущей

$$K_{CH} - C_H = - \frac{K_C^2}{300 * R^2}$$

Для вынесения круговой кривой в натуру по секущим, вычисления ведут в следующей последовательности:

1) вычисляют приближенную длину секущей

$$C_{ПП} = 4 \sqrt{f_o * R}$$

2) определяют приближенное число всех секущих (полных и неполных)

$$m' = K_T / C_{ПП} + 0.3$$

3) устанавливают число секущих путем округления величины m' до ближайшего большего целого числа - m .

4) определяют длину дуги K_C , соответствующий полной секущей, по формуле

$$K_C = K_T / (m - 0.3)$$

5) вычисляют длины дуг, соответствующее длине хорды K_b и неполной секущей K_{CH}

$$K_b = 0.7 * K_C$$

$$K_{CH} = 0.85 * K_C$$

Вычисленные величины проверяют:

$$n * K_C + 2 * K_{CH} = K$$

6) вычисляют центральные углы, соответствующие секущей, неполной секущей и хорде

$$\gamma_C = \frac{K_C}{R} * \rho$$

$$\gamma_{CH} = \frac{K_{CH}}{R} \rho = 0.85 * \gamma_C$$

$$\gamma_b = \frac{K_b}{R} * \rho = 0,70c$$

Вычисленные углы проверяют по формуле:

$$n \gamma_C + 2 \gamma_{CH} = \theta$$

7) Переходят от длины дуг соответственно к секущей и неполной секущей

$$C = K_C + \frac{K_C^3}{48 * R^2}$$

$$C_H = K_{CH} + \frac{K_C^3}{300 * R^2}$$

8) Вычисляют координаты концов секущих по ходу от НКК до ККК, образованному прямыми линиями.

Углы поворота при точках НКК и ККК равны $180^\circ - \frac{\gamma_b}{2}$; а между смежными секущими $180^\circ - \gamma_C$

Примечание. Угол поворота при неполных секущих в начале и в конце кривой определяется исходя из равнобедренного треугольника при хорде.

3.5.3. Вынесение переходных кривых

Расчеты для выноса в натуру переходной кривой выполняют для точек, расположенных через каждые 2 м кривой двумя способами.

1) От линии тангенсов по величинам x и y , вычисленным по формулам:

$$x_{II} = l - \frac{l^3}{40c^2}$$

$$y_{II} = \frac{l^3}{6c}$$

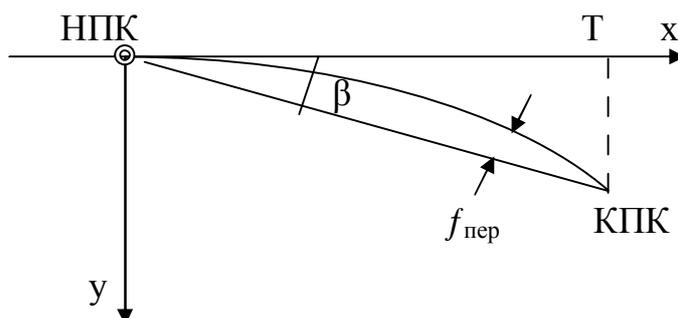


Рисунок- 1

2) От хорды, стягивающей начало и конец переходной кривой, т.е. от линии НПК-КПК.

Для этого вычисляют отклонение переходной кривой от хорды:

$$f_{пер} = \frac{l^3}{6c} \left(\frac{L^2}{l^2} - 1 \right) = y \left(\frac{L^2}{l^2} - 1 \right),$$

$f_{пер}$ - стрелка прогиба переходной кривой;

l - длина переходной кривой

$c = LR$ - проектная величина.

Угол поворота β вычисляют по формуле:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\beta &= \frac{y}{x}; \\ x &= L - \frac{L^5}{40c^2}; \\ y &= \frac{L^3}{6c} \end{aligned}$$

3.5.4. Вынесение вертикальных кривых

Проектный чертеж профиля трассы называют укладочной схемой, составляется в масштабе 1:2 000. Обычно укладочные схемы для левого и правого пути совмещают на одном чертеже. Данные по левому пути располагают выше линии, на которой подписаны пикеты, а по правому - ниже.

На прямом участке высоты относят к головке рельса, а на кривом - к средней высоте внутреннего и наружного возвышения рельса. На укладочной схеме выписывают пикетажные значения всех характерных точек профиля и плана, а также значения всех основных элементов трассы.

Высоты головки рельсов вычисляют через каждые 10 м (на прямом участке), а в пределах вертикальных кривых, круговых и переходных кривых - через 2 м.

В пределах вертикальных кривых вычисляют поправки для перехода от точек, лежащих на линиях тангенсов, на вертикальную кривую, применяя формулу:

$$\Delta H = \frac{K_b^2}{2R_b}$$

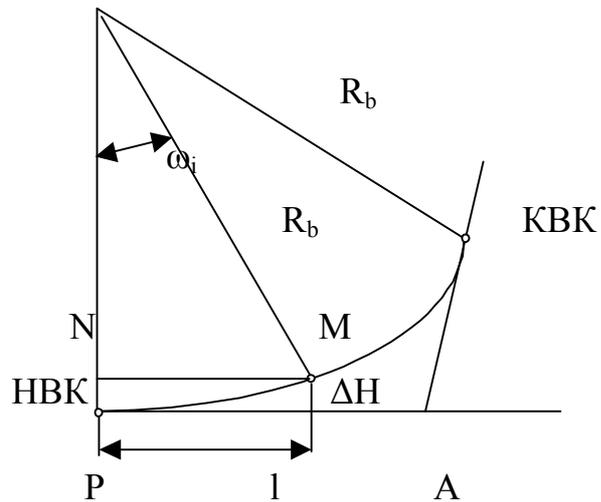


Рисунок 2

Так как вертикальные кривые обычно проектируются с большими радиусами, то без заметных искажений можно дугу $PM = K_b$ заменить отрезком по линии тангенса $MP = MN = l$, тогда :

$$\Delta H = \frac{l^2}{2R_b}$$

Знак поправки ΔH соответствует углу ω :

$$\omega = \alpha_2 - \alpha_1,$$

то есть, если после точки перегиба происходит увеличение подъема или уменьшение уклона, то поправки ΔH вводят со знаком «плюс», при уменьшении подъема или увеличении уклона поправка ΔH имеет знак «минус».

3.6. Схема геодезического обоснования тоннеля

Геодезическое обоснование при строительстве тоннелей делится на наземное (создаваемое на дневной поверхности) и подземное (в горных выработках).

Геодезическая основа на дневной поверхности создается до начала горнопроходческих работ, подземная основа - в течение всего периода горно-строительных работ во всех подземных сооружениях по мере их возведения.

Все обоснование создается в единой системе координат и высот

3.6.1. Плановое геодезическое обоснование

3.6.1.1. Геодезическое обоснование на поверхности

Основным плановым обоснованием для перенесения трассы туннеля и всех сооружений является тоннельная триангуляция, или тоннельная полигонометрия (в редких случаях трилатерация и линейно-угловые сети).

Сгущают сеть тоннельной триангуляции хордами основной полигонометрии (или микротриангуляцией).

Для передачи координат к стволам от пунктов основной полигонометрии прокладывают подходную полигонометрию.

От точек подходной полигонометрии координаты передают подземные выработки через стволы шахт. Дирекционные углы в подземные выработки стараются передавать от сторон триангуляции или в крайнем случае основной полигонометрии.

Процесс передачи через стволы или вертикальные скважины дирекционного угла и координат с поверхности в подземные выработки называются ориентированием подземной сети.

При сооружении туннелей через порталы необходимость в ориентировании отпадает, т.к. туннель примыкает непосредственно к наземному геодезическому обоснованию.

3.6.1.2. Подземное плановое геодезическое обоснование

При ориентировании дирекционный угол и координаты будут переданы на пункты подземной полигонометрии, закрепленные у ствола.

От них по подходным выработкам до выхода на трассу туннеля прокладывают подходную подземную полигонометрию.

По трассе вслед за движущимся в перед забоем прокладывают ходы с начала рабочей полигонометрии со сравнительно короткими сторонами, а затем основной подземной полигонометрии со сторонами 50-100 м.

При больших расстояниях между стволами для повышения точности передачи дирекционного угла от ствола к забою прокладывают главные ходы подземной полигонометрии. Пункты этих ходов совмещают с пунктами основной полигонометрии через 2-3 стороны.

3.6.2.Высотное геодезическое обоснование

Высотное геодезическое обоснование создается для вынесения проекта профиля трассы в виде нивелирных сетей, класс которых выбирают в зависимости от длины туннеля и длин встречных выработок.

Требуемая точность даже при сравнительно длинных трассах может быть обеспечена построением на поверхности нивелирной сети 4 класса. Однако реперы необходимы для наблюдений за оседанием земной поверхности. Поэтому на поверхности прокладывают нивелирных сети 3 класса.

В городах (при строительстве метрополитенов) нивелирных сети опираются на реперы 2 класса, а в незастроенных территориях сети 3 класса являются первичным высотным обоснованием.

От реперов нивелирования 3 класса высоты передают к стволам, а через них - в подземные выработки.

При сооружении туннеля через портал высота в подземные выработки передается непосредственным продолжением хода 4 класса, идущего на поверхности от репера 3 класса.

3.6.3.Построение геодезического обоснования на поверхности

3.6.3.1.Тоннельная триангуляция

Данная схема построения применяется чаще других, особенно при строительстве крупных туннелей.

Туннельную триангуляцию ставят в виде цепочки треугольников по форме близких к равносторонним. Связующие углы в этом случае должны быть не менее 40°. Рекомендуется предусматривать диагональные направления, преобразующие цепочку треугольников в ряд смежных треугольников. Ряд триангуляции должен быть вытянут вдоль оси туннеля. При строительстве метрополитенов пункты, расположенные вдоль трассы должны быть не реже чем 3 км.

Все пункты городской триангуляции расположенные в 2 км от трассы, включаются в туннельную триангуляцию.

Стремятся, чтобы каждая пара пунктов расположенных на смежных строительных площадках соединялась одной стороной. В этом случае ошибка в дирекционном угле стороны триангуляции не будет оказывать на расхождение встречных забоев при сбойке.

В качестве базисов измеряют стороны сети (не менее 2 в каждой сети) число треугольников между базисами не более 6. Требования к туннельной триангуляции приведены в таблице 1.

В таблице 1 L - общая длина туннеля при наличии промежуточных стволов или штолен необходимо определять $L_{ЭКВ} = \sqrt{Ll}$, l - среднее расстояние между точками открытия горных работ (стволами, штольнями).

Измерение углов в триангуляции выполняют способом круговых приемов. При этом в сетях 1Т и 2Т они измеряются двумя наблюдателями (один выполняет четные приемы, второй нечетные).

Количество приемов измерений и допуски приведены в таблице 2.

Все измерения производят дважды с разрывом не менее одного месяца. При уравнивательных вычислениях важное значение имеет выбор поверхности относимости и положения осевого меридиана.

Таблица 1

Характеристика туннельной триангуляции

общая длина туннеля L , км	разряд сети	длина сторон км	m_B	$f_{\text{Доп}}$	Относ. ошибка базисной стороны	относ. Ошибка наиболее слаб. стор.	m_α слабой стороны
>8	1 Т	4-10	0."7	3"	1:400000	1:200000	1.5
5-8	2 Т	2-7	1."0	4	1:300000	1:150000	2.0

2-5	3 Т	1.5-5	1.5	6	1:200000	1:120000	3.0
1-2	4 Т	1-3	2.0	8	1:150000	1:70000	4.0

Таблица 2

Тип теодолита	Число приемов				Замык. горизнт и расхожд. направлений.	
	1 Т	2 Т	3 Т	4 Т	1 наблюд.	2 наблюд.
T05	16 (8*2)	12 (6*2)	6-8	4	5	6
T1	18 (9*2)	12 (6*2)	9	6	6	7
	24 (12*2)	18 (9*2)			7	8
T2	-	18 (9*2)	12	6	6	8

Осевой меридиан (условный) следует выбирать так, чтобы суммарные поправки за редуцирование расстояний и за переход на поверхность относимости была меньше 1:10000 .

Для этого условный меридиан выбирают таким образом, чтобы у не превышал 40 км.

При сооружении тоннелей метрополитена триангуляция проектируется на поверхность со средней отметкой городской территории, а в горной местности - на поверхность со средней отметкой подземных выработок.

Уравнивание выполняют строгим способом. При этом желательно иметь ошибки и положение пунктов у стволов и ошибки дирекционных углов, от которых будет производиться ориентирование.

3.6.3.2. Туннельная светодальномерная полигонометрия

Применение светодальномеров позволило заменить метод триангуляции методом полигонометрии.

Целесообразность применения полигонометрии подтверждается тем, что большинство транспортных и гидротехнических тоннелей имеют вытянутую форму.

Из-за недостаточного контроля измерения углов (боковая рефракция) применение тоннельной полигонометрии ограничено. Она применяется в основном при строительстве одиночных туннелей.

Характеристика тоннельной полигонометрии приведена в таблице 3.

Таблица 3

Характеристика тоннельной полигонометрии

Раз-Ряд	Длина туннеля, км	Длины сторон км	СКО измерения углов, сек		Относительные СКО измерения длин		Допустимые относит. Невязки хода		
			по оценке на ст.	по оценке многок.	для криволинейных	для прямолинейн	криволинейн.	поперечный	продольный
1Т	<8	3-10	0.4	0.7	1:300000	1:150000	1:200000	1:200000	1:100000
2Т	5-8	2-7	0.7	1.0	1:200000	1:100000	1:150000	1:250000	1:70000
3Т	2-5	1.5-5	1.0	1.5	1:150000	1:70000	1:120000	1:120000	1:60000
4Т	1-2	1-3	1.5	2.0	1:100000	1:5000	1:70000	1:70000	1:40000

Число приемов измерений такое же как и в триангуляции. В полигонометрии 1Т и 2Т один измеряет левые углы, а второй правые.

Основная полигонометрия прокладывается одиночными ходами или в виде сети замкнутых полигонов вдоль трассы туннеля и опирается на пункты тоннельной триангуляции или полигонометрии.

При длине туннеля <1 км. основную полигонометрию можно использовать в качестве первичного геодезического обоснования.

Основные требования:

- длина хода между пунктами триангуляции до 4 км, а между узловыми точками не более 1км;

- средняя длина стороны 250 м, min = 150, max=300 м (в городах) и 500 м вне городских территорий;

- относительная невязка должна быть меньше 1:30000, а при длине тоннеля 0.5 км - 1:20000;

- СКО измерения угла 3";

- допустимая угловая невязка $f_{\beta \text{ доп}} = \pm 6'' \sqrt{n}$;

- углы измеряют оптическими теодолитами с оптическим центриром - 4 приемами; между 2 и 3 приемом производится повторная центровка теодолита и марок с поворотом трегера с оптическим центриром на 180°;

- СКО центрирования < 0.8 мм;

- линии измеряют светодальномерами или инварными проволоками дважды в разное время; расхождение между двумя измерениями 1:70000;

- уравнивание производят строгим способом.

Подходная полигонометрия строится в виде системы замкнутых полигонов или узловых точек, опирающихся не менее чем на два пункта основной полигонометрии или тоннельной полигонометрии (триангуляции).

Основные требования:

- длины ходов < 300 м;

- длины линий < 30 м;

- СКО измерения угла 4";

- допустимая угловая невязка $\pm 8'' \sqrt{n}$;

- длины линий измеряют в прямом и обратном направлении стальными рулетками или светодальномерами с расхождением 1:20000;

- относительная невязка хода < 1:20000, а для коротких ходов абсолютная невязка допускается до 10 мм.

3.7. Сбойка встречных выработок

3.7.1. Виды несбоек и их допустимые величины

Для ускорения темпов проходки тоннеля, как правило, проходят с двух сторон на встречу друг другу. Под влиянием ошибок геодезических работ и

неточностей при изготовлении и установке обделки при встрече забоев получается расхождение, которое называют несбойкой.

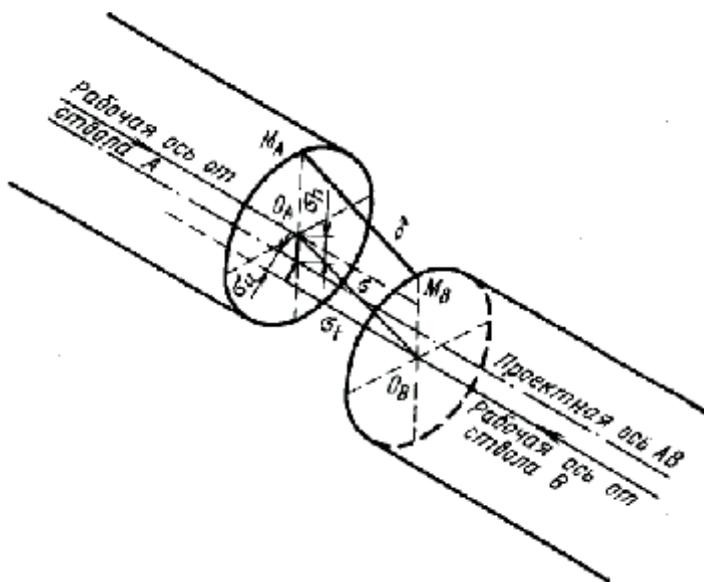


Рисунок 1- Сбойка встречных выработок

Различают два вида несбойки:

- обделок δ
- рабочих осей встречных выработок δ

Несбойка δ определяется ошибками геодезического обоснования, а не сбойка δ -кроме этого обуславливается отклонением сооружений от разбивочных осей, закрепленных в натуре и влиянием деформаций сооружений в процессе строительства.

Не сбойка в осях подземных выработок может быть разложена на три составляющие

- поперечную σ_U
- продольную σ_T
- высотную σ_H

Допустимая величина несбойки зависит от назначения тоннеля и от способа его возведения.

При строительстве тоннелей на путях сообщения величина несбойки определяется по габаритным запасам.

В СНиП III-44-77 (п.10.8) указывается, что при строительстве туннелей встречными забоями допускается расхождение фактических осей в пределах 100 мм.

Какую же часть из этого допуска необходимо принимать для расчета необходимой точности геодезических измерений?

Существуют две точки зрения на этот вопрос:

1. Необходимо учитывать отклонения колец при укладке от разбивочной оси, отклонения формы от проектной и деформации колец под влиянием горного давления.

2. Все эти отклонения известны, их можно учесть перед подходом к сбойке и весь допуск может быть целиком отнесен на геодезическое обоснование.

Оба подхода дают приблизительно одни и те же результаты :

- величина СКО в плановом положении оси не должна превышать 45 - 50 мм⁴

- величина средней квадратической ошибки по высоте - 20 - 22 мм.

Рассмотрим второй подход к установлению точности геодезических работ.

Средняя квадратическая и допустимая ошибки связаны следующим соотношением:

$$\Delta = t * m$$

Так как геодезическое обоснование, учитывая большую ответственность, строится несколько раз (так триангуляция и основная полигонометрия строится дважды с разрывом не менее месяца, ориентирование три раза), то можно принять $t=2$, а так как $\Delta=100\text{мм}$, то $m=\Delta/2 \geq 50\text{мм}$.

При строительстве прямолинейных тоннелей продольная ошибка практически не имеет значения, поэтому всю величину m можно отнести к поперечной ошибке m_{\perp} . При строительстве криволинейных тоннелей необходимо учитывать обе составляющие, т.е.

$$m = \sqrt{m_u^2 + m_t^2}$$

3.7.2. Расчет ошибок отдельных видов геодезических работ на точность несбойки

Определим необходимую точность геодезических работ на всех стадиях работ при сооружении тоннеля между двумя стволами А и В.

На точность сбойки будут оказывать влияния следующие ошибки:

- 1) m_1 - построения геодезического обоснования на поверхности ;
- 2) m_2 - ориентирования подземной основы через ствол А;
- 3) m_3 - ориентирования подземной основы через ствол В;
- 4) m_4 - хода подземной полигонометрии от ствола А до места сбойки;
- 5) m_5 - хода подземной полигонометрии от ствола В до М.

Таким образом:

$$m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2 \leq m^2$$

Для тоннелей длиной 1-1.5 км величину влияния перечисленных ошибок можно принять одинаковой. Если обозначить через среднюю квадратическую ошибку на ступени геодезического обоснования, то:

$$\mu_c = m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m / \sqrt{5} = 0.45m$$

При $m=50\text{мм}$; $\mu_c = \pm 22.5\text{мм}$

Для более длинных тоннелей (>1.5 км) принцип равного влияния не приемлем. Поэтому применяют способ последовательных приближений. Он состоит в том, что в формуле (1) перед отдельными ошибками вводят коэффициенты, устанавливающие соотношения ошибок на различных ступенях обоснования, например:

$$m_1 = 0.7 * \mu_c; m_2 = m_3 = 2.5 * \mu_c; m_4 = m_5 = \mu_c$$

Тогда:

$$m = \sqrt{(0.7 * \mu_c)^2 + (2.5 * \mu_c)^2 + (2.5 * \mu_c)^2 + \mu_c^2 + \mu_c^2} = \sqrt{15} * \mu_c$$

$$\mu_c = 0.26 * m$$

При $\mu=50\text{мм}$ $\mu_c = 13\text{мм}$

$$m_2 = m_3 = 33 \text{ мм}$$

$$m_1 = 10 \text{ мм}$$

Если по результатам расчета получается, что какой-то вид работ с такой точностью выполнить нельзя, то коэффициенты изменяют.

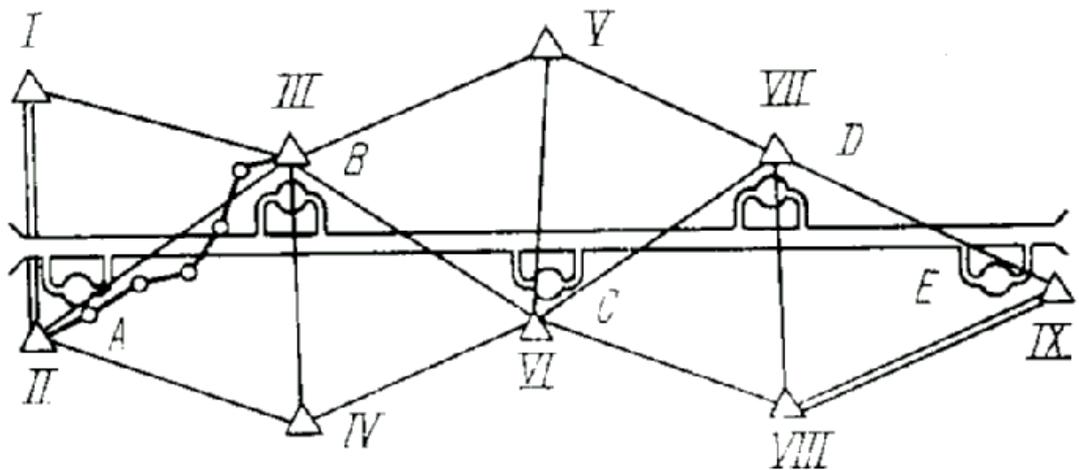
3.7.2.1. Сбойка через порталы

В этом случае отсутствуют ошибки m_2 и m_3 , т.к. ориентировка не выполняется, тогда:

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_4^2 + m_5^2}$$

Исходя из принципа равного влияния, получим:

$$\mu_c = m / \sqrt{3} = 0.58m = 0,6 * m = 30 \text{ мм}$$



3.7.2.2. Сбойка через портал и ствол.

В этом случае ориентировка отсутствует с одной стороны, т.е. нет m_2 или m_3

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_4^2 + m_5^2}$$

Указанные формулы относятся к случаю прямолинейных тоннелей.

Для криволинейных туннелей получаемые величины μ_c необходимо уменьшить в $\sqrt{2}$, т.к. $m = \sqrt{m_U^2 + m_T^2}$, при $m_U = m_T$; $m = m_4 \sqrt{2}$,

и допуском в этом случае является величина $m_U = m / \sqrt{2}$; $m_T = m / \sqrt{2}$.

3.8. Расчет необходимой точности измерений

3.8.1. Туннельная триангуляция

1) Туннель сооружается через стволы ABCDE. Сгущение триангуляции не предусматривается, т.е. пункты находятся непосредственно у стволов.

Рассчитаем какому можно допустить СКО $m_{2-4} = m_U$ (в поперечном направлении к оси туннеля) определения взаимного расположения пунктов П-IX, находящихся на концах строящегося туннеля.

m_1 -средняя квадратическая ошибка туннельной триангуляции между смежной парой стволов.

Для всего ряда триангуляции

$$m_U^T = m_1 \sqrt{n}$$

- m_U^T - это допустимое поперечное смещение конечного пункта триангуляции (сдвиг)

- n - количество сбоек по трассе туннеля $= L/l$

- L - длина туннеля

- l - среднее расстояние между стволами

тогда $m_U^T = m_1 \sqrt{L/l}$.

Ошибка m_U^T представляет собой поперечный сдвиг ряда триангуляции.

Подставим значение m_1 из (2), получим средний квадратический сдвиг триангуляции при сооружении туннеля через стволы :

$$m_U^T = 0.45m \sqrt{L/l}$$

2) при сооружении через порталы:

$$m_U^T = 0.6 * m = m / \sqrt{3}$$

При сооружении криволинейных тоннелей поперечные и продольные ошибки необходимо принять одинаковыми:

$$m_U^T = m_t^T = 0.45 * m / \sqrt{2} * \sqrt{L/l} - \text{через стволы.}$$

Через порталы:

$$m_U^T = m_t^T = 0.6 / \sqrt{2} * m$$

При сгущении тоннельной триангуляции ходами основной полигонометрии ошибка наземного обоснования будет складываться из ошибок триангуляции и полигонометрии, т.е.

$$m_I = \sqrt{m_T^2 + m_{II}^2}$$

Принимая принцип равных влияний, получим :

$$m_T = m_I / \sqrt{2}$$

Т.е. полученные выше величины допусков должны быть уменьшены в 1.4 раза.

Таблица 1

Способ сооружения стволов, указание о сгущении геодезической основы	m_U^T
1. туннели сооружают через порталы (без сгущения основы)	0.6 m
2. туннели сооружают через порталы и боковые штольни (без сгущения)	$0.6 m \sqrt{\frac{L}{l}}$
3. туннели сооружают через порталы и боковые штольни при сгущении	$0,4 m \sqrt{\frac{L}{l}}$
4. туннели сооружают через стволы (без сгущения)	$0,45 m \sqrt{\frac{L}{l}}$
5. туннели сооружают через стволы при сгущении основы	$0.3 m \sqrt{\frac{L}{l}}$

Сделаем сводную таблицу допустимых средних квадратических сдвигов рядов триангуляции (таблица 1).

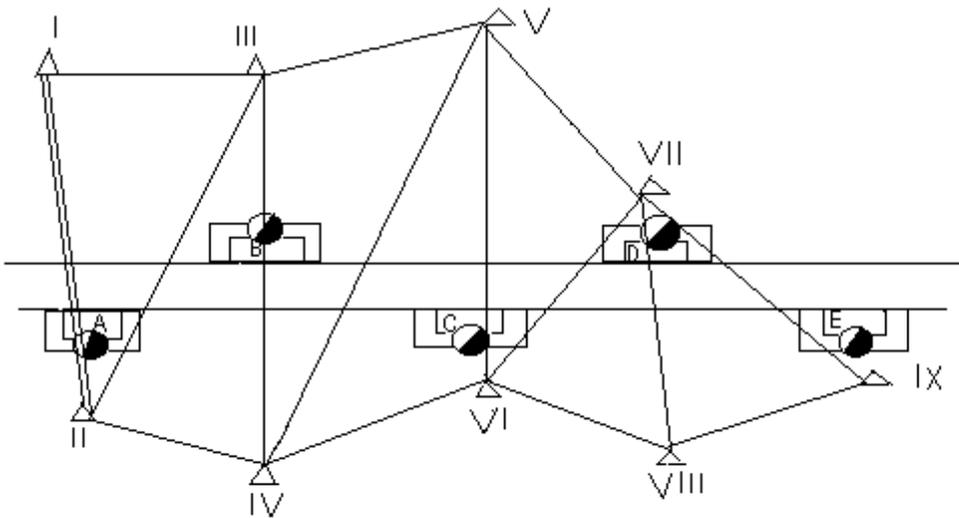
Ошибка поперечного смещения ряда треугольников вычисляется по формуле:

$$m_q = L \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{2k^2 + k + 3}{15k}},$$

где k - число промежуточных сторон в полной диагонали ряда.

Полагая $m_U^T = m_q$, можно вычислить среднюю квадратическую ошибку измерения углов β :

$$m_\beta = \frac{m_U^T * \rho}{L \sqrt{\frac{2k + k + 3}{15k}}}$$



3.8.2. Основная полигонометрии.

Допустимая средняя квадратическая ошибка в основной полигонометрии не должна превышать:

$$m_n = m_l / \sqrt{2}$$

Как известно, поперечный сдвиг конечной точки вытянутого хода определяется формулой:

$$m_U^{\text{II}} = m_\beta / \rho [S] \sqrt{\frac{n+3}{12}}$$

Для уравненного хода между двумя точками эта величина в два раза меньше:

$$m \left[\frac{2 * m_U^n * \rho}{[S] * \sqrt{\frac{n+3}{12}}} \right]$$

$[S]$ -длина полигонометрического хода; n -число сторон.

Отсюда можно найти m_β :

$$m_\beta = \frac{2 * m_U^n * \rho}{[S] * \sqrt{\frac{n+3}{12}}}$$

$$m''_\beta = 24 * \frac{m_U^n * \rho''}{[S] * (n+3)} = \frac{m_1 * \rho''}{24\sqrt{2} * [S] * (n+3)}$$

Аналогичным образом могут выполнены расчеты для тоннельной полигонометрии линейно-угловых сетей. Целесообразно выполнять расчет с помощью ЭВМ.

3.8.3. Точность ориентирования подземной основы

Влияние ошибок ориентирования подземной основы на поперечный сдвиг конца хода можно вычислить по формуле:

$$m_2 = m_3 = \frac{m_o}{\rho''} * l_1$$

- l_1 - длина хода от ствола до сбойки, то есть длина односторонней проходки.

- m_o -ошибка ориентирования первой стороны подземного полигонометрического хода.

Следует отметить, что реально достижимая точность ориентирования характеризуется ошибками -7-8". При этом ошибки m_2 достигают величин, указанных в таблице 2.

Таблица 2

Длина односторонней проходки	m , мм
------------------------------	----------

l, м	
500	17
1000	34
2000	67
3000	102
4000	135

При расстояниях между стволами более 3 км, рекомендуется уменьшать ошибки ориентирования бурением специальных вертикальных скважин, используемых для ориентирования.

3.8.4. Точность подземной полигонометрии

Поперечный сдвиг конца не уравненного вытянутого полигонометрического хода от ствола определяется по формуле:

$$m_U = \frac{m_\beta''}{\rho''} * l_1 \sqrt{(n + 1.5) / 3}$$

Принимая $m_U = m_4 = m_5$, можно получить значение m_β :

$$m_\beta'' = \frac{m_\beta * \rho''}{l_1 \sqrt{(n + 1.5) / 3}}$$

3.8.5. Точность высотного обоснования

На точность сбойки по высоте между стволами А и Б оказывают влияние следующие виды ошибок:

1) ошибки нивелирного хода, связывающего два репера, расположенных около смежных стволов - m_{hl}

2) ошибка передачи отметки в подземные выработки через ствол А - m_{h2}

3) ошибка передачи отметки через ствол Б - m_{h3}

4) ошибка подземного нивелирного хода от ствола А до сбойки - m_{h4}

5) ошибка подземного нивелирного хода от ствола Б до сбойки - m_{h5}

Общие влияние всех ошибок на сбойку равно:

$$m_h = \sqrt{m_{h1}^2 + m_{h2}^2 + m_{h3}^2 + m_{h4}^2 + m_{h5}^2}$$

Ошибки m_{h2} и m_{h3} - сравнительно небольшие, сравнительно постоянные и не превышают 5 мм.

Ошибка нивелирного хода может быть выражена формулой (в общем случае):

$$m_h = \xi \sqrt{L},$$

где ξ -случайная ошибка на 1 км хода.

Тогда:

$$m_{h1} = \xi \sqrt{l}$$

$$m_{h4} = m_{h5} = \xi \sqrt{l_1} = \xi \sqrt{l/2}$$

где l - расстояние между стволами.

Примем ξ одинаковую для подземных и наземных ходов, тогда:

$$m_h = \sqrt{\xi^2 * l + 25 + 25 + \xi^2 * \frac{l}{2} + \xi^2 * \frac{l}{2}} = \sqrt{2 * \xi^2 * l + 50}$$

Если принять допустимую ошибку по высоте равную 25мм, то:

$$625 = 2 * \xi^2 * l + 50 ,$$

откуда:

$$\xi = 17 / \sqrt{l}$$

Следовательно, если $l = 1$, то $\xi = 17$ мм, что в два три раза грубее, чем нивелирование 4 класса.

Следовательно, для обеспечения требуемой точности сбойки вполне достаточно выполнять нивелирование 4 класса, но для наблюдений за оседанием местности по трассе тоннеля строят 3 класс.

В соответствии с этим особых сложностей со сбоями по высоте не возникает.

3.9. Ориентирование подземной геодезической основы

3.9.1. Способы ориентирования

3.9.1.1. Магнитный способ

При магнитном способе применяется теодолит с зеркальной буссолью. На поверхности около ствола на линии с известным дирекционным углом определяют склонение магнитной стрелки, опускаются с этим прибором в шахту и определяют дирекционный угол стороны подземной полигонометрии с учетом определенного магнитного склонения. Затем снова определяют магнитное склонение. Такое ориентирование выполняют несколько раз.

Недостатком способа является трудность выбора точек без магнитных помех как на поверхности так и в подземных выработках.

3.9.1.2. Способ створа двух отвесов

Способ створа двух отвесов заключается в применении двух отвесов, опускаемых в ствол шахты. На поверхности их подвешивают в створе направления с известным дирекционным углом, например, I - II (рис.1).

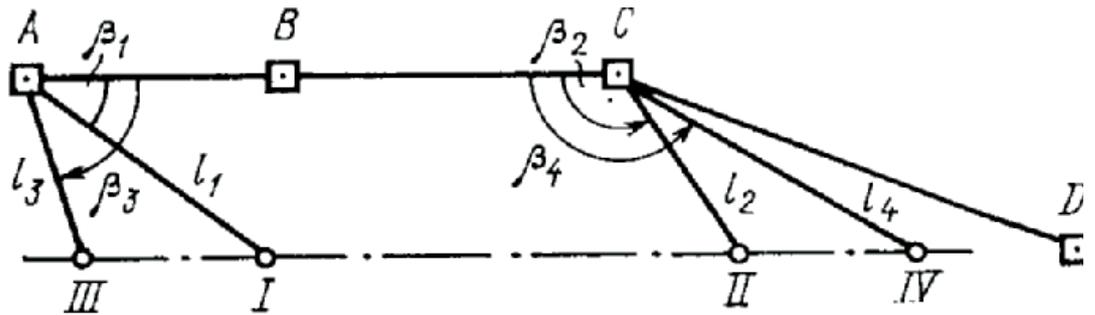


Рисунок 1- Разбивка оси подходной штольни от пунктов полигонометрии

I - II - ось подходной штольни

A, B, C, Д - пункты подходной полигонометрии

$\beta_1, l_1, \beta_2, l_2$ -разбивочные элементы

Направление *I - II* - это, как правило, ось подходной полигонометрии, которое выносится от пунктов исходной полигонометрии *ABCD* по разбивочным элементам β_i, S_i .

Над точкой *I* устанавливают теодолит T_1 наводят его на марку в точке *II* и строго в створе визирной линии по теодолиту подвешивают отвесы O_1 и O_2

В подземной выработке над точкой III_1 устанавливают теодолит T_2 на специальных салазках, позволяющих его перемещения поперек створа отвесов. Теодолит перемещают до тех пор пока визирная ось не совпадет со створом отвесов O_1O_2 . Фиксируют это положение в верхнем креплении штольни (точка $M_{Г1}$). Переводят трубу через зенит и закрепляют точку $M_{Г2}$

Таким образом $\alpha_{M_{Г1}-M_{Г2}}=\alpha_{1-2}$. По расстояниям l_1 и l_2 определяют координаты отвесов на поверхности. Считая, что отвесы имеют такие координаты в шахте по расстояниям l_3 и l_4 вычисляют координаты точек $M_{Г1}$ и $M_{Г2}$.

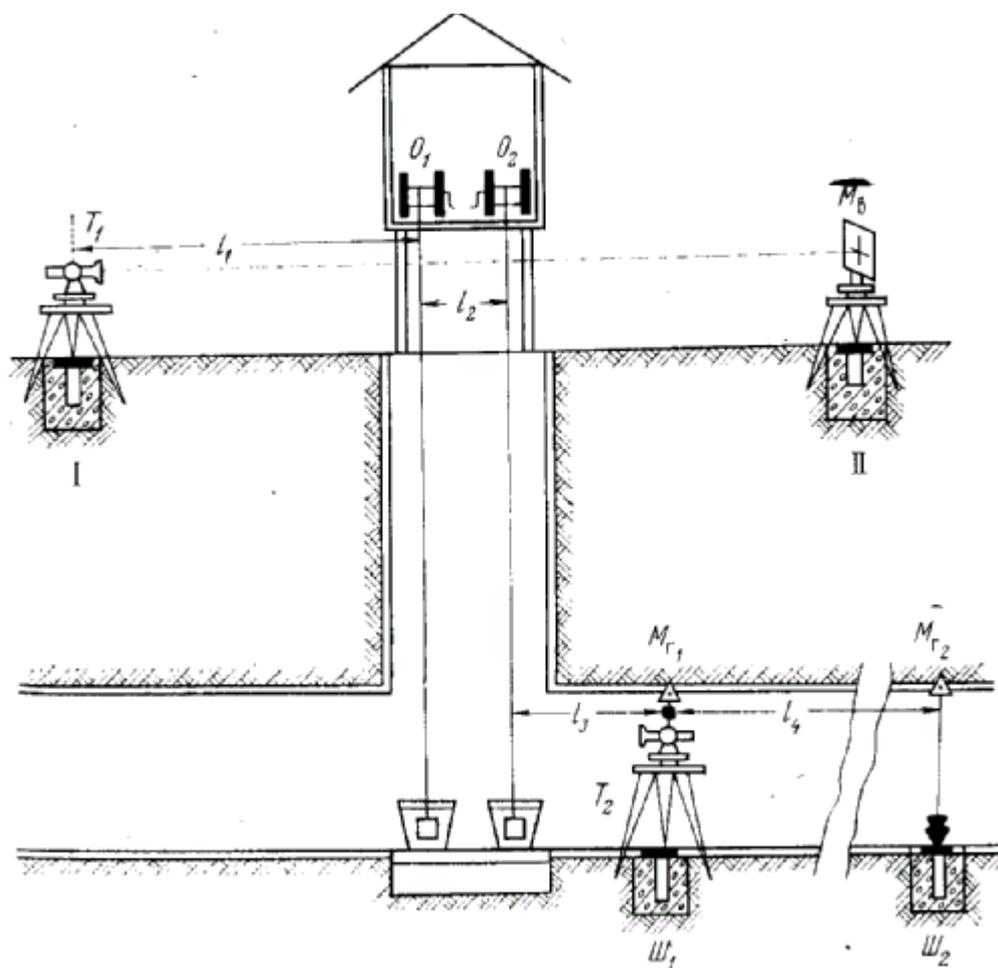


Рис. 2. Ориентирование подземной основы способом створа двух отвесов

Под действием собственных колебаний, колебаний точек подвеса, движения воздуха в стволе и падающих капель эти отвесы немного колеблются даже если грузы помещают в сосуды с водой или маслом. Эти колебания у обоих отвесов имеют различные направления и амплитуды, в результате чего совместить визирный луч теодолита точно со створом отвесов невозможно. Поэтому получить $m_0 < 30''$ не удастся.

Способ применяется на начальной стадии проходки, при удалении забоя от ствола на расстояние до 70 м. При большем удалении требуются более точные способы ориентирования.

3.9.1.3. Усовершенствованный способ створа двух отвесов

Для ослабления влияния ошибок, вызванных качанием отвесов, в данном способе производят предварительное определение и фиксацию положения отвесов в их спокойном состоянии (Рис.1).

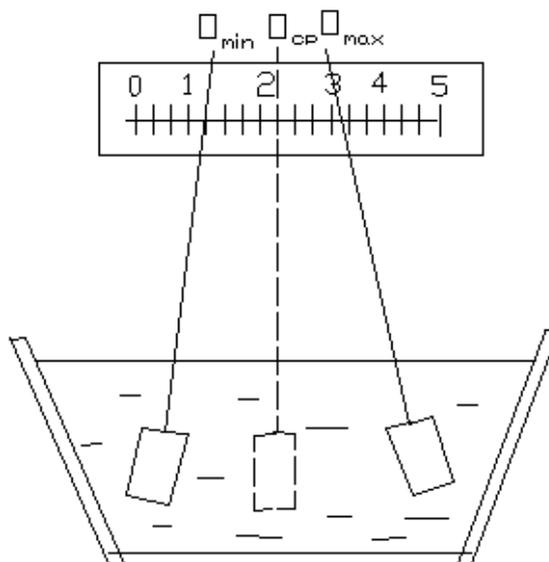


Рисунок 1-Вывод отвеса в спокойное состояние

Для этого сзади каждого отвеса на расстоянии от них в 1-2 см устанавливают горизонтальные рейки с прикрепленными шкалами.

В теодолит, устанавливаемый на расстоянии 5-10 м от ближайшего отвеса, наблюдают амплитуду качания каждого отвеса. Для этого берут по шкалам максимальный и минимальный отчеты 0_{min} и 0_{max} . Средний из них должен соответствовать положению отвеса в состоянии покоя. Его фиксируют специальными метками. При ориентировании теодолит в шахте устанавливают так, чтобы визирный луч совпадал со створом установленных меток.

3.9.1.4. Способ шкалового примыкания к отвесам

На поверхности около ствола закрепляют точки A и B . Дирекционный угол линии AB определяют от стороны триангуляции или основной полигонометрии. В ствол опускают два отвеса O_1 и O_2 (рис.3).

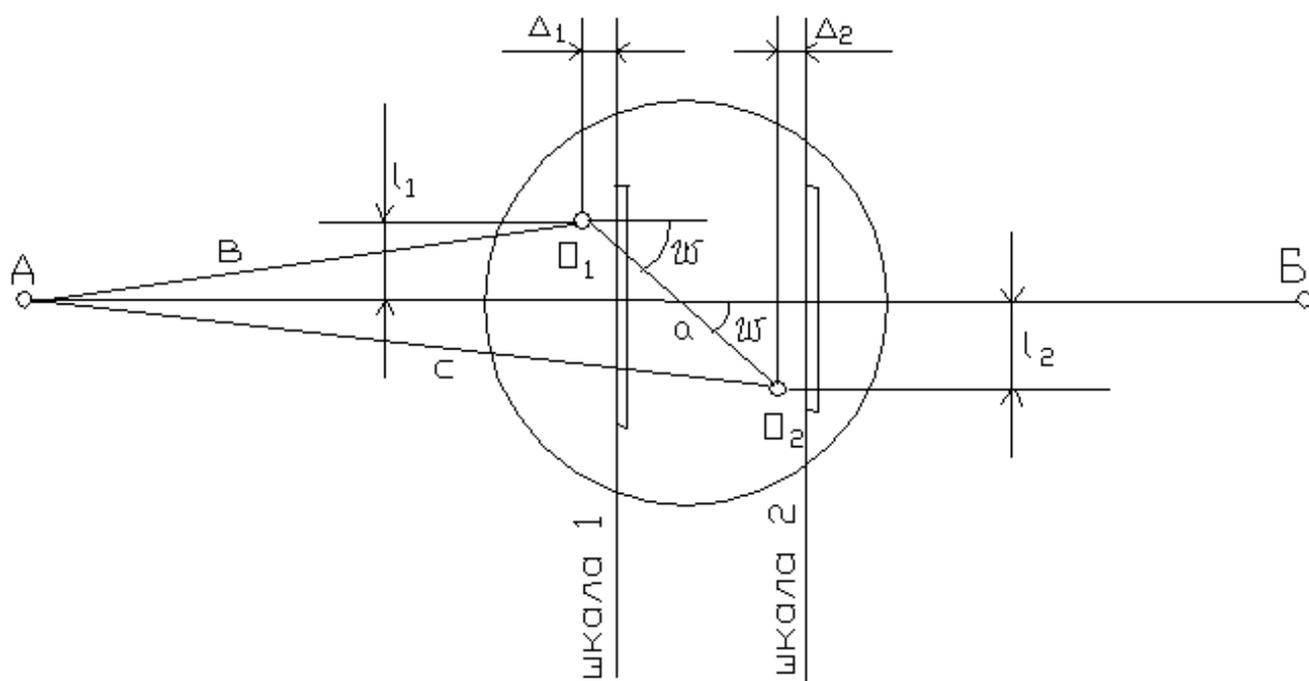


Рисунок 3.

В точке A устанавливают теодолит. За отвесами на высоте теодолита в т. A укрепляют шкалы перпендикулярно линии AB .

Наводят трубу на точку A и берут отчеты по шкалам 1 и 2 , соответствующие положению визирной оси - q_{AB}' и q_{AB}''

Наводят визирную ось сначала на отвес O_1 и берут отсчет по шкале 1 - q_{O1} , а затем на отвес O_2 и берут отсчет по шкале 2 - q_{O2} .

Отклонения отвесов O_1 и O_2 относительно створа AB вычисляют по формулам:

$$l_1 = (q_{AB}' - q_{O1}) * (1 - \Delta_1 / b)$$

$$l_2 = (q_{AB}'' - q_{O2}) * (1 - \Delta_2 / c)$$

где Δl и $\Delta 2$ - расстояния между плоскостью шкал и отвесами; b , c - расстояния от инструмента до отвесов O_1 и O_2 .

Угол между линией $O_1 O_2$ - соединяющей отвесы и линией AB вычисляют по формуле:

$$\sin \omega = l_1 + l_2 / a$$

$$\omega = l_1 + l_2 / a$$

где a - расстояние между отвесами.

Определяют дирекционный угол линии $O_1 O_2$: $\alpha_{O_1 O_2} = \alpha_{AB} + \omega$

В подземных выработках передача дирекционного угла с линии отвесов на линию подземной полигонометрии производят также.

Точность способа зависит от точности определения отрезков l_1 и l_2 и характеризуется ошибкой до 25". Поэтому способ не получил широкого применения.

3.9.1.5. Способ оптического клина

Основан на применении специального прибора, содержащего специальную насадку с бипризмой и коллиматор. Прибор называется проектор направлений. Он основан на принципе двойных изображений, широко используемых в оптических приборах.

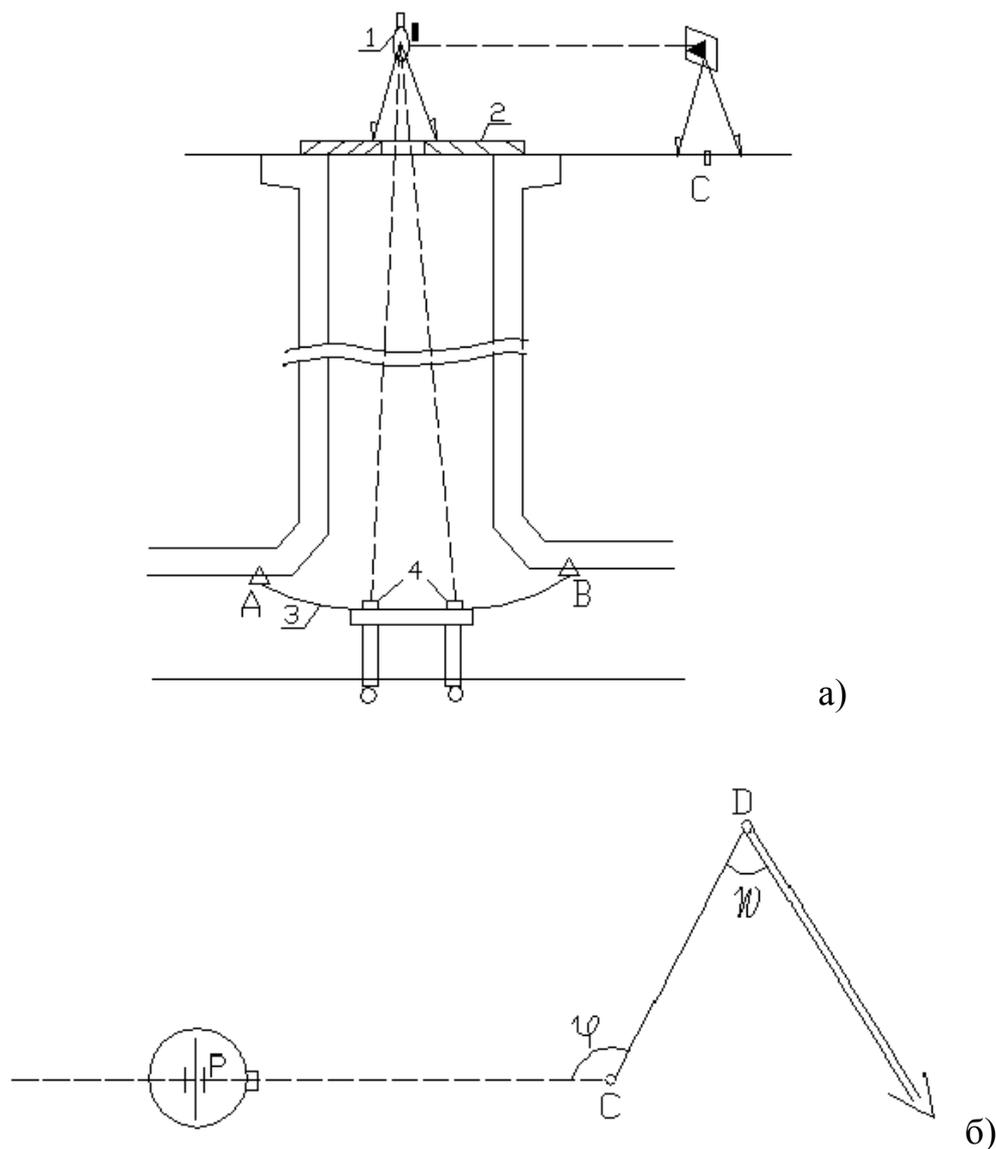


Рисунок 3.

Прибор 1 (рис. 3, а) устанавливают на прочное перекрытие шахты 2 . В подземной выработке натягивают тонкую проволоку 3 между двумя точками полигонометрии. На этой проволоке укрепляют рейку или специальные шкалы 4 На шкалах нанесены штрихи (на одной одинарный, на второй двойной). Вращая трубу вокруг вертикальной оси добиваются совмещения штрихов шкал.

Таким образом ось коллиматора устанавливается II стороне АВ. Затем определяют дирекционный угол оси коллиматора РС. Для этого по оси коллиматора выставляют точку С и измеряют углы φ и ω (рис.3, б).

Величина средней квадратической ошибки передачи дирекционного угла $\pm(10 - 12'')$ при благоприятных условиях. Однако наличие в стволах воздушных потоков и неоднородной плотности воздуха создает рефракционное влияние. Определенные трудности вызывает необходимость обеспечения видимости на рейку.

3.9.1.6. Способ поляризации светового потока

Способ поляризации светового потока требует специального оборудования с поляризаторами.

При распространении волн светового потока происходят колебания во всех направлениях. При помощи поляризаторов можно добиться того, что колебания световых волн будут происходить в одной плоскости, называемой плоскостью поляризации. Если взять 2 поляроида, поставить один за другим, установив взаимно перпендикулярно к их плоскости поляризации, то свет через них не пройдет. Если плоскости поляризации поляроидов совпадают, то световой поток через них проходит беспрепятственно.

На этом способе основано ориентирования способом поляризации светового потока.

1) В шахте устанавливают поляризатор, на котором отмечено направление плоскости поляризации световых волн.

2) Над стволом шахты устанавливают второй поляризатор - анализатор.

3) Вращая анализатор, добиваются минимума прохождения света через 2 поляризатора. Это происходит в том положении, когда направления распространения волн в поляризаторе и анализаторе взаимно перпендикулярны.

4) От геодезического обоснования на поверхности определяют дирекционный угол установленного направления световых волн анализатора α_a .

Тогда

$$\alpha_n = \alpha_a \pm 90^\circ$$

3.9.1.7. Автоколлимационный способ

Автоколлимационный способ имеет следующую геометрическую схему (рис.4).

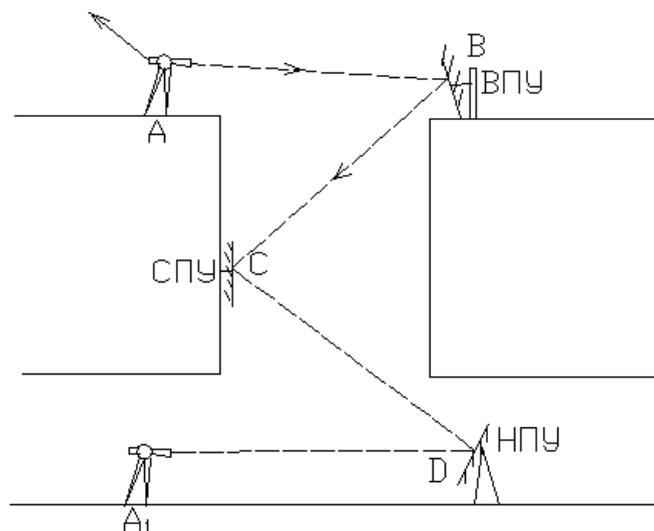


Рисунок 4

На поверхности у ствола (т. А) устанавливают высокоточный теодолит с автоколлимационным окуляром.

В т. В устанавливают верхнее поворотное устройство ВПУ с плоским зеркалом, вращающимся вокруг горизонтальной оси.

В т. С и Д устанавливают поворотное устройство СПУ и нижнее поворотное устройство НПУ. Основания ПУ имеют приспособление для плавного поворота зеркала по азимуту.

Если визирные лучи АВ, ВС, СД, ДА₁ лежат в одной вертикальной плоскости, то отсчет по горизонтальному кругу теодолита (в т. А) дает направление нормали к этой плоскости. Таким образом, дирекционный угол АТ с поверхности можно передать на сторону ДА₁, расположенную в подземных выработках.

Для выполнения этого условия необходимо, чтобы плоскость зеркал ПУ были параллельны горизонтальным осям вращения, а оси вращения ПУ горизонтальны.

Теодолит и все зеркала должны быть установлены в одной вертикальной плоскости с точностью 10-20".

3.9.1.8. Гироскопическое ориентирование

Автоколлимационный способ самый прогрессивный способ ориентирования. Применяются приборы, называемые гиротеодолитами или гирокомпасами.

Преимущества способа:

1) позволяет определить дирекционный угол любой стороны подземной полигонометрии (все рассмотренные выше способы позволяют определить дирекционный угол приствольной стороны)

2) в процессе ориентирования не требуется остановки работы ствола и прекращения горнопроходческих или строительных работ

3) за счет ориентирования нескольких сторон подземной сети могут быть понижены требования к точности подземной полигонометрии.

Устройство и принцип работы гиротеодолита рассматривались в курсе АГИ. Мы рассмотрим только методические вопросы

Ориентирование стороны подземной полигонометрии гиротеодолитом включают:

1) определение поправки гиротеодолита на стороне с известным дирекционным углом

2) определение дирекционного угла стороны $\alpha_{(A-B)}$;

3) определение дирекционного угла обратного направления той же стороны $\alpha_{(B-A)}$;

4) повторное определение поправки

Определение постоянной поправки гиротеодолита производится на стороне длиной не менее 100м. В каждом определении выполняют не менее двух пусков. Между пусками рекомендуется выключать гиросмотор до полного охлаждения.

Постоянная поправка гиротеодолита вычисляется по формуле:

$$\Delta = \alpha_{исх} - \alpha_{Г} + \gamma_U - \delta_U$$

где $\alpha_{исх}$ - дирекционный угол исходного направления; $\alpha_{Г}$ - дирекционный угол этого же направления определенный гиротеодолитом (еще его называют гироскопический азимут); γ_u - сближение меридианов для начального направления; δ_u - поправка за уклонение отвесных линий в исходное направление.

Сближение меридианов можно вычислить:

$$\gamma = l * \sin \varphi$$

где l - разность долгот осевого меридиана и точки стояния; φ - широта точки стояния

Поправка за уклонения отвеса вводится, если угол наклона направлений больше 8° .

$$\delta = -\eta * \operatorname{tg} \varphi + (\eta * \cos \alpha - \xi * \sin \alpha) / \operatorname{tg} Z$$

(уравнение Лапласа)

ξ, η - составляющие отвеса в плоскости меридиана и первого вертикала

Z - зенитное расстояние наблюдаемого направления

В практике поправку гиротеодолита стараются определять на поверхности над тем местом, где под землей будут выполняться определения. В этом случае поправка за уклонение отвесной линии целиком войдет в постоянную поправку гиротеодолита.

Расхождение двух определений поправки (до и после пуска в шахте) допускается до 30" (ГТ GI - B1).

В подземных выработках определение дирекционного угла выполняют на сторонах, длина которых не менее 30м. Производят два пуска с поочередной установкой гиротеодолита на обоих концах линии (расхождение в определении не должно превышать 20" для Gi-B1)

Дирекционный угол ориентируемого направления вычисляют по формуле

$$\alpha = \alpha_r + \Delta - \gamma + \delta_u$$

При гироскопическом ориентировании координаты пунктов подземной сети передают через 1 отвес, опускаемый с поверхности в шахту

3.9.1.9. Ориентирование через два шахтных ствола (через ствол и скважину)

Сущность способа состоит в следующем. На дневной поверхности от пунктов обоснования определяют координаты отвесов O_1 и O_2 , опущенных в шахтные стволы. В подземных условиях от пунктов подземной полигонометрии, координаты которых вычислены по результатам ориентировки через ствол A (B), определяют координаты тех же отвесов.

По вычисленным координатам отвесов определяют расстояния между отвесами и дирекционный угол створа отвесов на поверхности и в шахте.

$$tg\alpha_n = \frac{y_2^n - y_1^n}{x_2^n - x_1^n} \quad L_{II} = \frac{\Delta Y_{II}}{\sin \alpha_{II}} = \frac{\Delta X_{II}}{\cos \alpha_n}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{ш} = \frac{y_2^{ш} - y_1^{ш}}{x_2^{ш} - x_1^{ш}} L_{ш} = \frac{\Delta Y_{ш}}{\sin \alpha_{ш}} = \frac{\Delta X_{ш}}{\cos \alpha_{ш}}$$

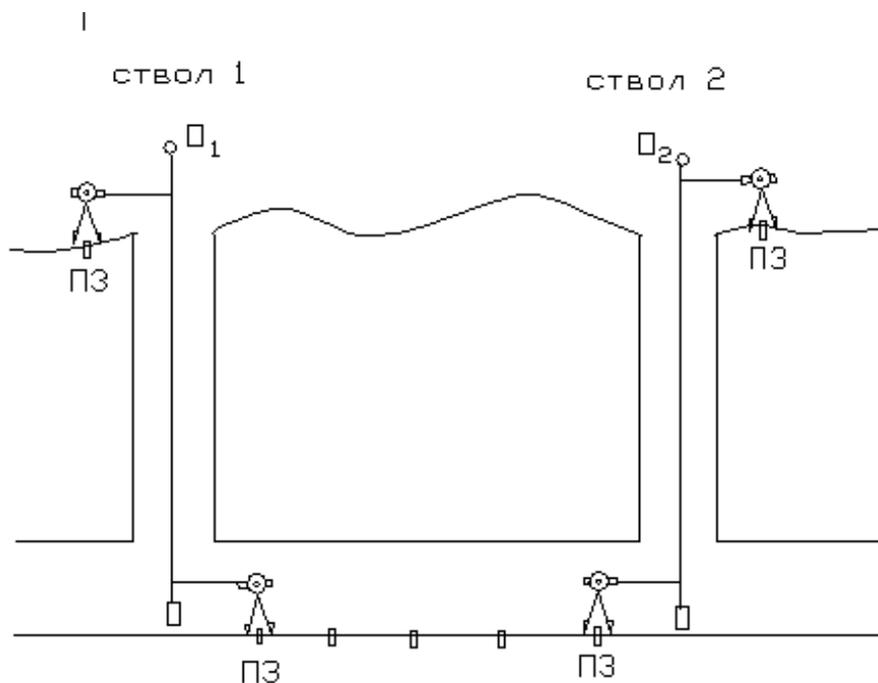


Рис. 5

Вообще говоря подземная система координат может быть принята произвольно. Расстояние $L_{ш}$ и $L_{п}$ должны быть равны между собой, а разность дирекционных углов равна повороту осей координат подземной системы координат.

Угол $\theta = \alpha_{ш} - \alpha_{п}$ используется для уточнения дирекционных углов сторон подземного полигонометрического хода.

Необходимо отметить, что ошибки измерения углов и линий в подземной полигонометрии, действующие в направлении перпендикулярно линии $O_1 O_2$ целиком входят в определение угла θ .

Данный способ ориентирования выгодно отличается от остальных. Он позволяет получить дирекционный угол линии подземной полигонометрии непосредственно у забоя с ошибкой порядка 8". Все остальные способы, кроме гироскопического, ориентируют только первую линию хода.

3.9.1.10. Ориентирование способом соединительного треугольника

3.9.1.10.1. Геометрическая схема ориентирования

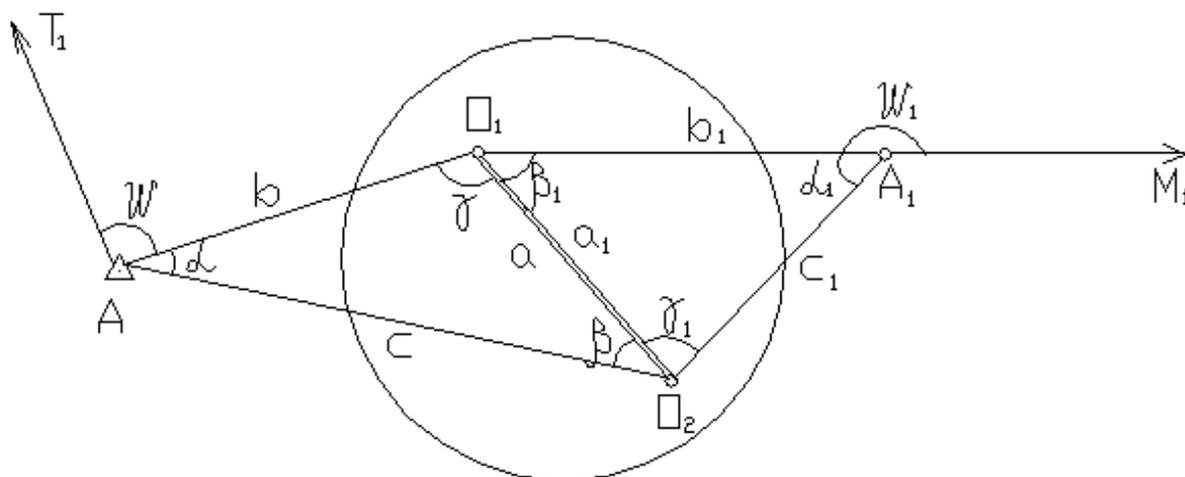


Рисунок 1

В ствол опускают два отвеса O_1 и O_2 . В точке A с известными координатами, расположенной около ствола, измеряют:

- угол α между направлениями на отвесы;
- примычный угол ω .

Кроме того рулеткой измеряют расстояния :

- от теодолита до отвеса b и c ;
- расстояние между отвесами a .

Таким образом на поверхности получают треугольник AO_1O_2 , в котором измерены три стороны и один угол.

Этот горизонтальный треугольник называют соединительным треугольником.

По результатам измерений могут быть вычислены значения двух остальных углов β и γ . Зная дирекционный угол направления AT , значение

примычного угла ω и углы соединительного треугольника, можно получить дирекционный угол створа отвесов O_1O_2 :

$$\alpha_{01-02} = \alpha_{AT1} + \omega + \alpha + \beta \pm 180^\circ \quad (1)$$

Пользуясь элементами соединительного треугольника и координатами точки A , находят координаты отвесов $X_{01}, Y_{01}; X_{02}, Y_{02}$.

В подземных выработках на ориентируемом горизонте около ствола закрепляют точку A_1 . В этой точке измеряют углы α_1 и ω_1 , а также стороны a_1, b_1, c_1 подземного соединительного треугольника.

Считаем, что дирекционный угол створа отвесов под землей равен дирекционному углу на поверхности. При помощи углов подземного соединительного треугольника и примычного угла вычисляют дирекционный угол приствольной линии A_1M_1 подземной полигонометрии.

Координаты точки A_1 определяют по элементам подземного соединительного треугольника, принимая в качестве исходных координаты отвесов, полученные на поверхности.

3.9.1.10.2. Оптимальная форма соединительного треугольника

Форма соединительного треугольника оказывает влияние на точность вычисления углов β и γ , а следовательно на точность вычисления дирекционного угла створа отвесов (формула 1).

Угол вычисляется по формуле

$$\sin \beta = \frac{b \cdot \sin \alpha}{a} \quad (2)$$

Продифференцируем формулу (2) по измеренным величинам α, a, b :

$$\cos \beta \cdot d\beta = \frac{\sin \alpha}{a} \cdot \rho \cdot db - \frac{b \cdot \sin \alpha}{a^2} \cdot \rho \cdot da + \frac{b}{a} \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha$$

Перейдем к средним квадратическим ошибкам:

$$\cos^2 \beta \cdot m_\beta^2 = \left(\frac{\sin \alpha}{a} \cdot \rho\right)^2 \cdot m_b^2 + \left(\frac{b \cdot \sin \alpha}{a^2} \cdot \rho\right)^2 \cdot m_a^2 + \left(\frac{b}{a} \cdot \cos \alpha\right)^2 \cdot m_\alpha^2$$

Т.к. длины сторон треугольника лежат в пределах одной рулетки, то можно принять

$$m_b = m_a = m_c = m_l$$

Тогда

$$m_\beta^2 = \frac{\sin.^2 \alpha}{a^2 * \cos.^2 \beta} * \rho^2 * m_l^2 + \frac{b^2 * \sin.^2 \alpha}{a^2 * \cos.^2 \beta} * \rho^2 * m_l^2 + \frac{b^2 * \cos.^2 \alpha}{a^2 * \cos.^2 \beta} * m_\alpha^2 \quad (3)$$

Исходя из формулы (2),

$$\sin \alpha = \frac{a * \sin \beta}{b} \quad (4)$$

Подставим выражение (4) в формулу (3):

$$m \left[\begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right]$$

Приведем подобные члены и выполним преобразования:

$$m_\beta^2 = \operatorname{tg}^2 \beta * \left(\frac{1}{b^2} + \frac{1}{a^2} \right) * \rho^2 * m_l^2 + \frac{b^2 * \cos.^2 \alpha}{a^2 * \cos.^2 \beta} * m_\alpha^2$$

Первый член правой части формулы (5) выражает влияние на точность определения угла β ошибок линейных измерений, а второй - влияние ошибки измерения угла α . Рассмотрим эти влияния отдельно.

$$m_{\beta l} = \operatorname{tg} \beta \sqrt{\frac{a^2 + b^2}{a^2 * b^2}} * \rho * m_l \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что чем меньше угол β , тем меньше будет ошибка его определения.

Путем соответствующего выбора точек прикрепления отвесов можно добиться такой формы соединительного треугольника, при которой углы α и β будут достаточно малыми.

Для малых углов отношения синусов (формула 2) можно заменить отношение тангенсов, то есть:

$$\operatorname{tg} \left[\begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right] \quad (7)$$

Подставим значение $\operatorname{tg} \beta$ в (6):

$$m_{\beta l} = \frac{b}{a} m_{\alpha}$$

$$m_{\beta l} = \text{tg} \cdot \frac{b}{a} m_{\alpha}$$

$$m_{\beta l} = \frac{\text{tg} \cdot \alpha}{a} * \rho * m_{\alpha} \sqrt{1 + \left(\frac{b}{a}\right)^2} \quad (8)$$

Формула (8) показывает, что чем больше сторона a (расстояние между отвесами) , тем ошибки линейных измерений m_l оказывают меньшее влияние.

Влияние ошибки измерение угла α на точность угла β определяется вторым членом правой части формулы (5)

$$m_{\beta\alpha}^2 = \frac{b^2 * \cos.^2 \alpha}{a^2 * \cos.^2 \beta} m_{\alpha}^2$$

При малых углах для расчета ошибок можно принять $\cos \alpha \approx \cos \beta \approx 1$. Тогда

$$m_{\beta\alpha} = \frac{b}{a} * m_{\alpha}$$

То есть ошибка определения угла β , при данном значении m_{α} возрастает пропорционально отношению сторон $\frac{b}{a}$.

Если принять $m_{\alpha}=4''$, то

$$m_{\beta\alpha}=4'' \quad \text{при } b/a=1$$

$$m_{\beta\alpha}=6'' \quad \text{при } b/a=1.5$$

$$m_{\beta\alpha}=8'' \quad \text{при } b/a=2$$

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы о наиболее выгоднейшей форме соединительного треугольника :

1) треугольник должен быть вытянутым, угол α должен быть близок к нулю не более 3°

2) величина v/a должна быть по возможности меньше.

Но следует иметь в виду, что приближение инструмента к отвесу у вызывает необходимость в резком изменении фокусировки трубы, что снижает точность измерения угла α . Поэтому наиболее благоприятным значением величины v/a следует считать 1,5

3) расстояние между отвесами должно быть по возможности больше. Это расстояние зависит от габарита ствола и при диаметре круглых стволов 6 м держится в пределах 4 - 5.5 м.

Это требование вытекает не только из соображений по форме треугольника, но из условий уменьшения влияния ошибки проектирования.

3.9.1.10.3. Точность ориентирования способом соединительного треугольника

Дирекционный угол подземной ориентируемой стороны вычисляется по формуле:

$$\alpha_{AIM} = \alpha_{TA} + \omega + \alpha + \beta - \beta_1 + \omega_1 - 4 \cdot 180^\circ$$

Запишем формулу для вычисления ошибки:

$$m_{AIM}^2 = m_{\alpha_{TA}}^2 + m_{\omega}^2 + m_{\alpha}^2 + m_{\beta\xi}^2 + m_{\beta_1}^2 + m_{\omega_1}^2$$

Углы α, ω, ω_1 измеряются непосредственно теодолитом, поэтому можем записать:

$$m_{\alpha} = m_{\omega} = m_{\omega_1} = m$$

При сравнительно одинаковых формах треугольников можно принять $m_{\beta} = m_{\beta_1}$.

С учетом принятых обозначений, а также ошибки проектирования $m_{пр}$, получим следующую формулу:

$$m^2_{AIM} = m^2_{\alpha TA} = 3m^2 = 2m^2_{\beta} = m^2_{IP} \quad (9)$$

Ошибка $m_{\alpha TA}$ определяется из оценки туннельной триангуляции для стороны, от которой передается в подземные выработки. Эта ошибка обычно не превышает 3".

Ошибка m_{β} определяется по формуле (5); m_{β} в этой формуле = 0.8мм (на основании опытных данных).

Ошибка проектирования при расстояниях между отвесами 4 - 5 м и глубине ствола около 80 м составляет 8", причем систематическая часть в пределах 6", а случайная - в пределах 5".

При $m = 4-5"$, $a = 4.5$; $v/a = 1.5$ величина m_{AIM} находится в пределах 8" при выполнении ориентирования при 3-х положениях отвесов.

3.9.1.10.4. Процесс ориентирования

На период выполнения ориентирования все горно-строительные работы в стволе и в выработках прекращаются. Поэтому все измерения должны быть выполняться быстро, с надежным контролем.

Работы выполняют в следующей последовательности:

1. На поверхности над стволом сооружают помост, на котором надежно закрепляют 2 лебедки с шахтными отвесами. Точки подвеса отвесов располагают с учетом наиболее выгодной формы соединительного треугольника.

2. К концу отвесов прикрепляют небольшой груз и производят медленный спуск отвесов. После опускания отвесы нагружают грузом от 15 до 25 кг, которые опускают в сосуды с успокоителями (вода, масло).

3. Убеждаются, что отвесы висят свободно, т.е. не касаются армировки ствола или предметов оборудования. Это проверяется посылкой "почты".

4. Производят измерения расстояний между отвесами, для чего предварительно на каждом отвесе отмечают высоту теодолита.

Измерения как наверху, так и внизу выполняют стальными рулетками при натяжении 10 кг. Натяжение осуществляется при помощи блочных штативов гири или динамометром. Измерения расстояния производят при 3-х положениях рулетки. Расхождения не должны превышать 2 мм.

Разность расстояний между отвесами на поверхности и в шахте, с учетом поправок за температуру не должна превышать также 2 мм.

5. Измеряют расстояния от теодолита до отвесов - *в* и *с*. Измерение линий производят от центрировочного штифта зрительной трубы.

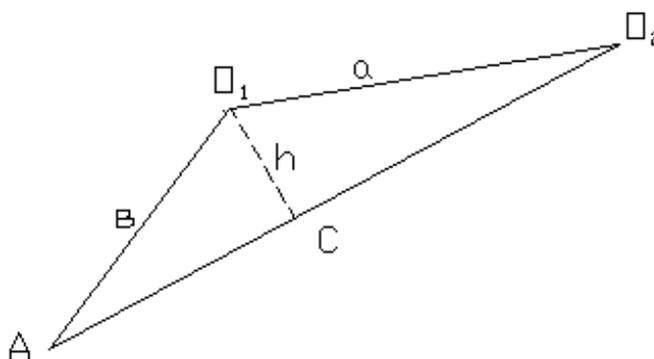


Рисунок 2

Для контроля линейных измерений может быть измерена линейкой высота треугольника *h* (одновременно с измерением стороны *с*).

Тогда, контроль осуществляют по формуле:

$$C_{\text{ВЫЧ}} = a + b - \left[\frac{h^2}{2 * b} + \frac{h^2}{2 * a} \right]$$

Если величина *h* не измерялась, то применяют формулу М.С. Чремисина:

$$C_{\text{ВЫЧ}} = a + b - \frac{b(b + a) * \alpha'^2}{2 * a * \rho''}$$

Расхождение вычисленной и измеренной длины не должно быть больше ±2 мм для треугольников на поверхности и ±3 мм для подземных треугольников.

6. Производят угловые измерения теодолитами типа Т2 четырьмя приемами. За начальное направление на поверхности принимают направление на пункт триангуляции, а в подземных выработках - хорошо видимый пункт подземной полигонометрии.

Указанные действия составляют один прием. Для увеличения точности и надежности, ориентирование выполняют при трех положениях отвесов. После каждого приема перемещают с помощью специального устройства точки подвеса отвесов точно на 15мм. Причем перемещения осуществляют по перпендикуляру к визирному лучу из точек А и А₁ на отвесы.

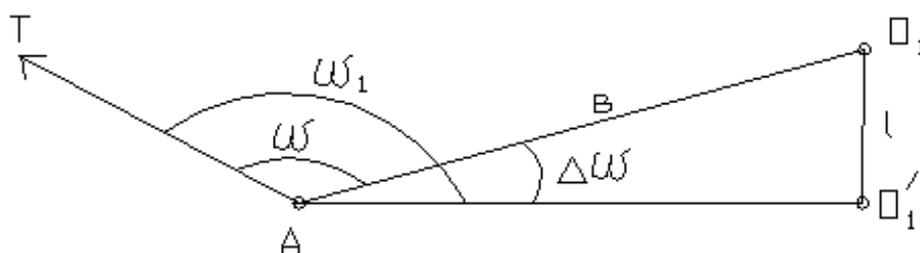


Рисунок 3

Если точно известно перемещение l , то можно вычислить теоретическое значение $\Delta\omega$, на которое должен измениться примычный угол ω :

$$\Delta\omega = \frac{l * \rho}{b}$$

Сходимость разности измеренных углов в подземных выработках в допустимых пределах является контролем не только правильности измерения углов, но и правильности проектирования отвесов.

Помимо контроля можно осуществить контроль и углов α , α_1 :

$$\Delta\alpha'' = \frac{l}{c} * \rho'' - \frac{l}{b} \rho''$$

$$\Delta\alpha''_1 = \frac{l}{c_1} * \rho'' - \frac{l}{b_1} * \rho''$$

Вычисленные значения $\Delta\alpha$ и $\Delta\alpha_1$ сравнивают с фактическими при измерениях. Расхождения не должны превышать:

- поверхность 12" (в, с ~ 4 - 6 м) 8" (в, с > 6 м)
- шахта 15" -" - 10" -" --

3.9.1.10.5. Косвенный способ примыкания к отвесам в подземной выработке

В подземных выработках первая линия подземной полигонометрии бывает короткой. Поэтому существенное влияние на точность ориентирования оказывает ошибки центрирования теодолита в т. A_1 .

Ошибку угла, обусловленную центрированием теодолита можно вычислить по формуле:

$$\delta_{max} = \frac{l}{s} * \rho''$$

l - линейная ошибка центрирования

s - расстояния до точки

Примем $l = 1 \text{ мм}$; $s = 25 \text{ м}$; $\delta_{max} \approx 8''$

Для уменьшения влияния ошибки центрирования применяют косвенный способ примыкания к отвесам.

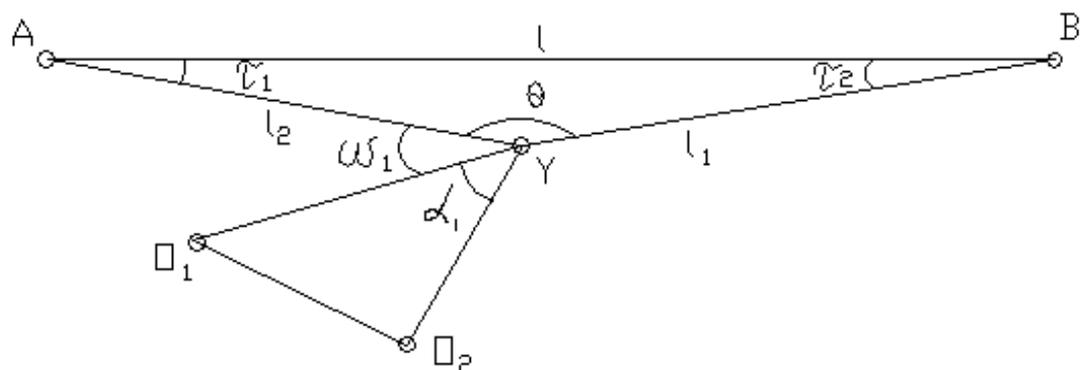


Рисунок 4

Теодолит устанавливают в произвольной точке U и дополнительно измеряют угол θ и расстояния l, l_1, l_2 . Треугольник A_1UB_1 решается по такому же принципу, как и соединительный.

3.9.1.10.6. Уравнивание соединительного треугольника

В соединительном треугольнике измерены 3 стороны a, b, c и один угол α , т.е. одно измерение - избыточное. Следовательно можно составить одно условное уравнение. Обычно это уравнение суммы углов:

$$(\alpha) + (\beta) + (\gamma) + f_\beta = 0$$

Уравнивание треугольника выполняют упрощенным способом в следующей последовательности:

1. По измеренным сторонам и углу α вычисляют значение угла β

$$\sin\beta = \frac{b \cdot \sin\alpha}{a}$$

2. Вычисляют длину стороны c

$$C_{\text{ВЫЧ}} = b \cdot \cos\alpha + a \cdot \cos\beta$$

3. Вычисляют невязку

$$f_l = C_{\text{ВЫЧ}} - C_{\text{ИЗМ}}$$

4. Определяют поправки в измеренные стороны

$$(a) = -f_l/3; \quad (b) = -f_l/3; \quad (c) = +f_l/3$$

5. По исправленным длинам вычисляют углы β и γ . Контролем правильности вычислений служит формула:

$$\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$$

3.10. Передача отметки с поверхности в подземные выработки

Исходными для передачи отметок в подземные выработки являются реперы нивелирования 3 класса, закрепленные на шахтной площадке.

Передачу высот выполняют стальной компарированной рулеткой или с помощью специального прибора - длинометра (глубиномера). Имеются предложения по передаче высот с использованием светодальномеров.

а) Передача с помощью рулетки (<100 м - глубина)

Рулетку подвешивают к копру нулевым концом вниз. Внизу ее нагружают весом 10кг, т.е. весом, при котором производили компарирование.

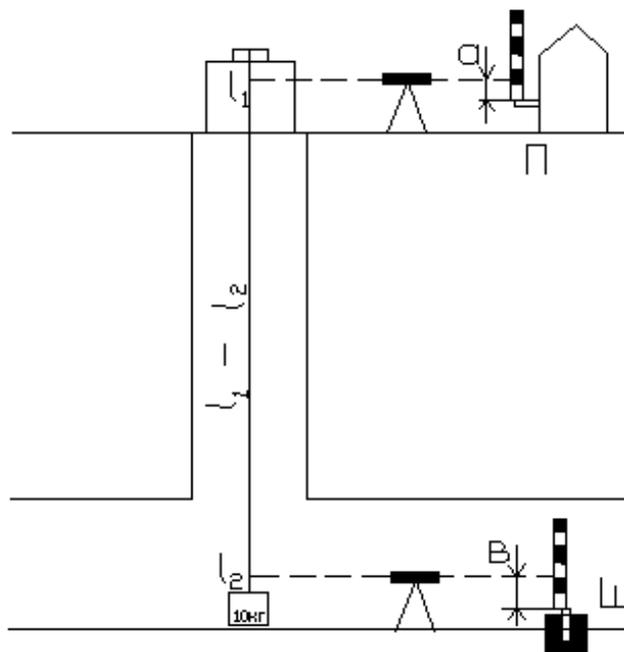


Рисунок 1.

Наверху и в подземных выработках устанавливают нивелиры, как показано на рис. 1.

Одновременно берут отчеты по рулетке l_1 и l_2 , а затем по рейкам, установленным на реперах. Отметку репера, закрепленного в подземных выработках, вычисляют по формуле:

$$H_{III} = H_{II} + a - \{(l_1 - l_2)\} + \Delta_t + \Delta_K + \Delta_l - b$$

H_{II} - отметка исходного репера на поверхности

a - отсчет по рейке на поверхности

b - отсчет по рейке в подземных выработках

l_1 и l_2 - отсчет по рулетке на поверхности и в шахте

Δ_K - поправка в длину рулетки за компарирование

Δ_t - поправка за температуру рулетки

Δ_l - поправка за удлинение рулетки под действием собственной массы.

Поправку за температуру рулетки вычисляют по формуле:

$$\Delta_t = \alpha * (l_1 - l_2) * (t_{cp} - t_o)$$

α - коэффициент линейного расширения стали равен $11.5 * 10^{-6}$

t_{cp} - средняя температура в стволе

t_o - температура, при которой производилось компарирование рулетки

Поправка за удлинение рулетки под действием собственного веса равна

$$\Delta l = \frac{Ql}{EF}$$

Q - половина собственной массы рулетки

l - длина ленты

E - модуль упругости = $2 * 10^6$ кг/см²

F - площадь поперечного сечения рулетки (для стальных рулеток шириной 10 мм и толщиной 0.2 мм $F = 2,0 \text{ мм}^2 = 0.02 \text{ см}^2$)

Принимая удельный вес $\gamma = 8 \text{ г/см}^3$, для рулетки длиной 100 м, получаем массу $m = 0,02 * 10000 * 8 = 1600 \text{ г}$.

Таким образом, $Q = 0.8 \text{ кг}$; $\Delta l = 0.2 \text{ см} = 2 \text{ мм}$ при $l = 100 \text{ м}$

$\Delta l = 0.5 \text{ мм}$ при $l = 50 \text{ м}$

Для повышения точности отметку передают при трех горизонтах инструмента, а чтобы устранить грубые промахи, отметку передают от двух исходных реперов на поверхности и не менее чем на два репера под землей.

Расхождения отметок подземных реперов, полученных при разных горизонтах нивелиров или при разных положениях рулетки, не должны превышать 4 мм, а при одновременных передачах 7 мм.

б) При передаче отметок на глубину более 150 м.

Применяют прибор, который называют длинномер (глубиномер).

Главной частью этого прибора является мерный диск, длина которого равна 1 м, а число оборотов диска указывает счетный механизм рис. 2.

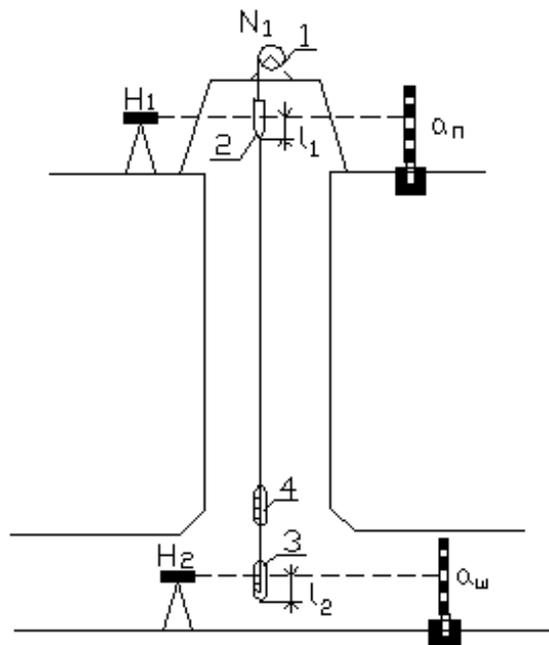


Рисунок 2

Для передачи отметок прибор 1 закрепляют над стволом. К концу проволоки крепится груз - рейка 2. Груз - рейка с сантиметровыми деления опускается до уровня визирного луча нивелира Н. Останавливают спуск проволоки и берут три отсчета:

- а) по счетчику глубиномера N_1
- б) по груз-рейке напротив горизонтальной нити нивелира - l_1
- в) по рейке, установленной на репере - a_n

Груз-рейку 3 опускают до горизонта визирного луча нивелира, установленного в шахте. Берут отчеты по длинномеру N_2 , по груз - рейке l_2 и по нивелирной рейке - a_u .

Значение превышения находят по формуле:

$$h = (N_2 - N_1) - (a_n - l_1) + (a_u - l_2)$$

Для повышения точности отчеты берут и по контрольной рейке (4) которая крепится немного выше груз - рейки (через 1-2 м). Превышение с использованием отсчета по контрольной рейке вычисляется по аналогичной формуле.

Второй раз производят определение отметки при подъеме.

в) передача отметок с использованием светодальномеров

Непосредственно у ствола устанавливается светодальномер D. С объективом приемопередатчика жестко связана насадка с плоским зеркалом P, с помощью которой световой луч поворачивается на 90^0 и направляется вниз. Таким образом измеряется расстояние DPO (S).

Превышение определяется по формуле:

$$h = - (S - l) + (a_n - b_n) - (a_{ш} - b_{ш})$$

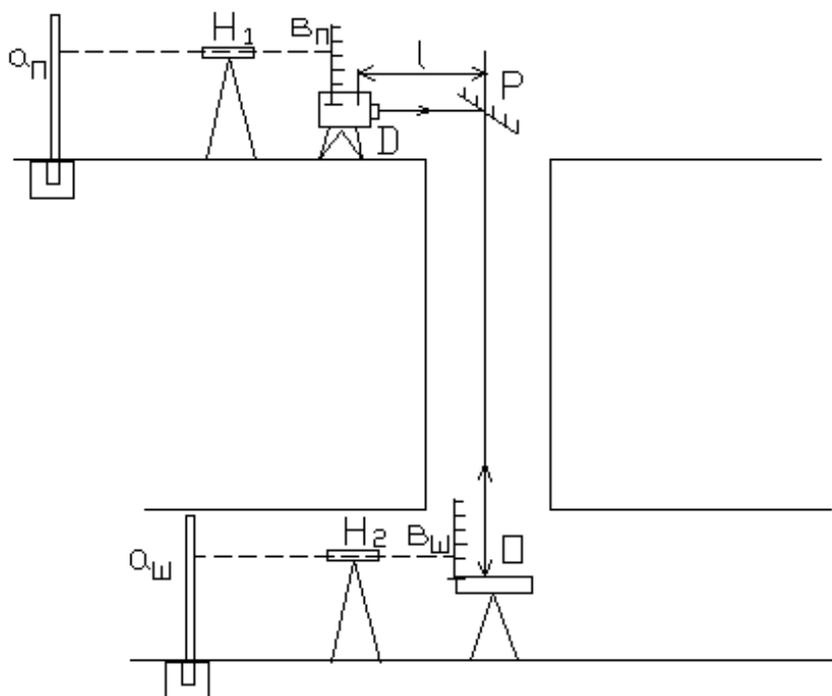


Рисунок 3

Передачу отметок в подземные выработки осуществляют несколько раз.

Первую передачу отметок выполняют при сооружении руддвора, когда появляется возможность закрепить 2-3 репера в его обделке (в своде , на стенах)

Вторую передачу производят после выхода работ на трассу основного тоннеля.

Третий раз - после проходки тоннеля протяженностью до 500 м.

3.11. Геометрическое нивелирование в подземных выработках

От ствола в подземные выработки высоты передают по мере продвижения забоя. Нивелирование выполняют в прямом и обратном направлениях. В качестве рабочих реперов используют закрепленные в выработках полигонометрические знаки. Допустимая невязка в замкнутых ходах подземного нивелирования вычисляется по формуле:

$$f_{h \text{ замк}} = \pm 2\sqrt{n},$$

где n - число станций в полигоне.

Высоту знака, заложенного в кровле, вычисляют по формуле:

$$H_K = H_L + a + b$$

где H_L - высота репера, заложенного в лотке; a - отсчет по рейке в лотке (нуль рейки в низ); b - отсчет по рейке, установленной на знак в кровле (нулем вверх).

3.12. Подземная полигонометрия

Оси и контуры тоннеля и подземных сооружений в процессе строительства разбивают от пунктов подземного полигонометрического хода, прокладываемого в выработках вслед за забоем.

От приствольной стороны, ориентируемой с поверхности, до трассы тоннеля прокладывают подходную подземную полигонометрию.

Она прокладывается по подходным выработкам с небольшими габаритами и с малыми радиусами закругления. Поэтому длины подходной полигонометрии могут быть менее 10 м (рис. 4)

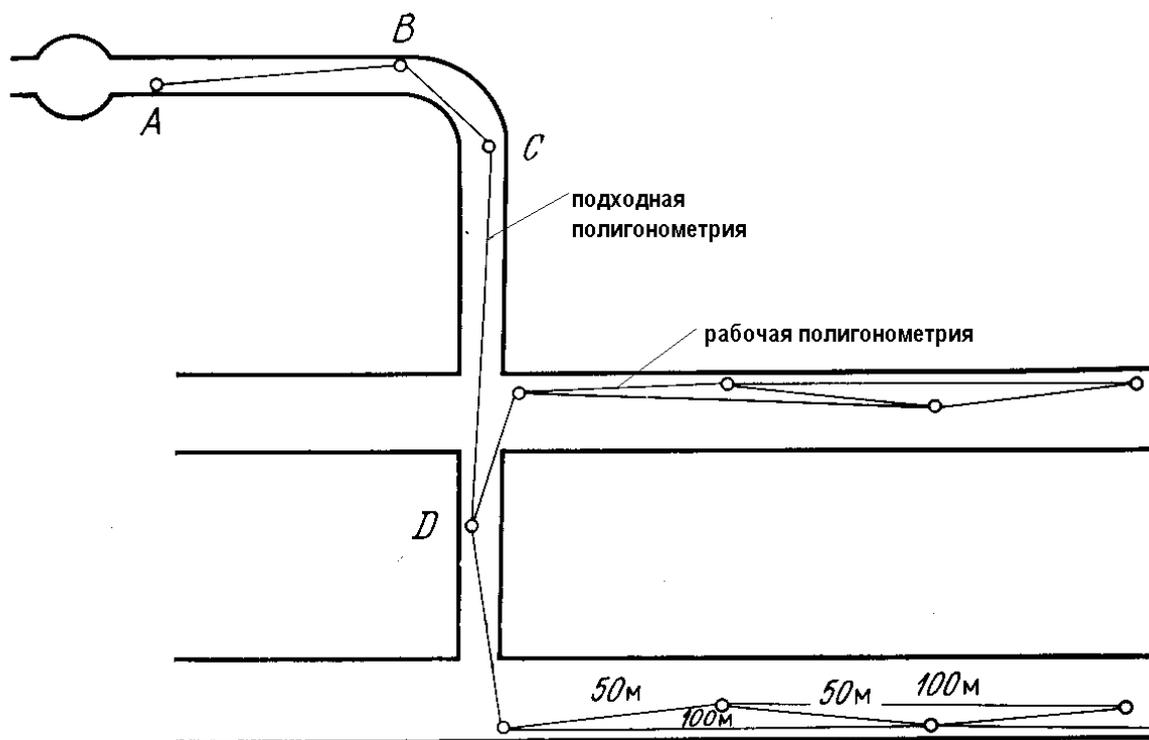


Рисунок 4

Рабочая полигонометрия прокладывается для обеспечения разбивочных работ при продвижении забоя вперед. Длины сторон 25 - 50 м. Она создается в виде цепочек сильно вытянутых треугольников (1 - 2 - 3; 2 - 3 - 4; 3 - 4 - 5 и т.д.). В каждом треугольнике измеряют все углы и стороны. Это дает контроль и возможность передачи дирекционных углов через более длинные стороны.

Ходы основной полигонометрии прокладываются по точкам рабочей полигонометрии через одну. На рис. 4 ход пройдет через точки 1, 3, 5 и т.д., обозначенные двойными кружками. Длины сторон в основной полигонометрии 50-100 м.

Рабочая и основная полигонометрия прокладываются во всех случаях независимо от расстояний между смежными стволами.

Главная полигонометрия создается при длине односторонней проходки более 1000 м. Длина сторон 150-800 м. Точки главной полигонометрии совмещаются с точками основной полигонометрии. Выбор точек,

включаемых в главный ход, зависит от длины односторонней проходки и от геометрической формы тоннеля.

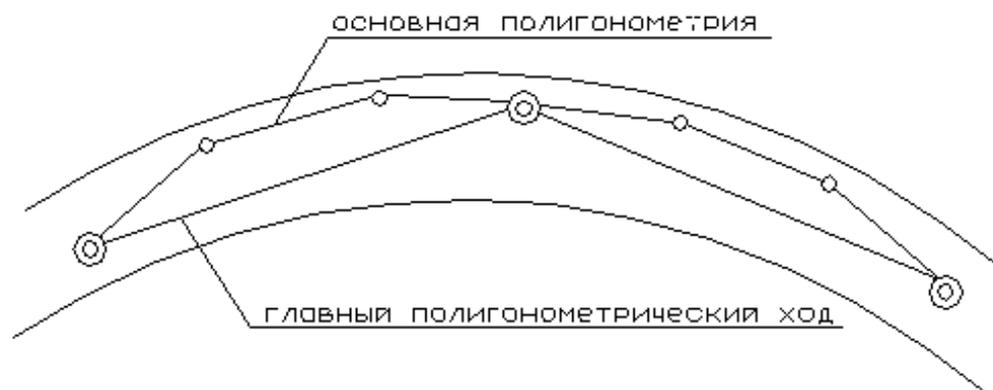


Рисунок 5

3.13. Закрепление знаков подземной полигонометрии

Знаки основной подземной полигонометрии закладывают с той стороны тоннеля, где при дальнейших работах закрепляют путевые реперы для укладки путей, а именно :

- на кривых участках трассы с внешней стороны, т.е. со стороны возвышения рельса ;
- на прямых участках при наличии двух параллельных тоннелей с внешней стороны относительно междупутья;
- на прямых участках одиночных тоннелей - с правой стороны по ходу поезда.

Знаки подземной полигонометрии закрепляются или в подошве выработки, или в бетонных конструкциях, или на тубинговых кольцах.

При проходке штолен без бетонирования стен и сводов, знаки закрепляют в подошве выработки (штольни). Знаки закрепляются бетонными монолитами (рис.1) с металлическими стержнями.

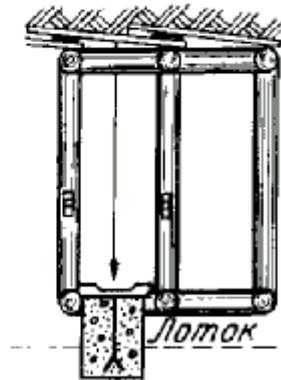


Рисунок 1

После установки знака его центр выносится при помощи отвеса на верхнюю поверхность рамы или специально прибитую доску и закрепляется одним из специальных знаков («Геодезия в тоннелестроении», стр.83, рис. 271).

Отверстия в знаках предназначены для подвешивания отвесов.

В своде тоннелей при скальных породах или бетонной обделке знаки полигонометрии закрепляют специальными штырями (рис. 2).

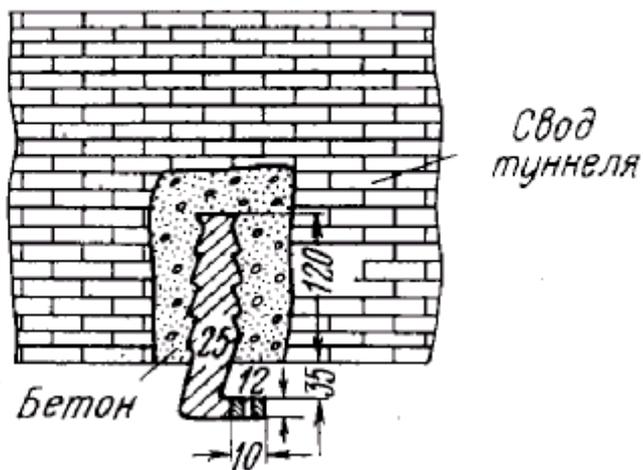


Рисунок 2

Центром пункта является отверстие диаметром 1 мм, просверленное в латунном цилиндрике, запрессованном в железном стержне. Низ этого стержня, обработанный на полусферу, может служить репером .

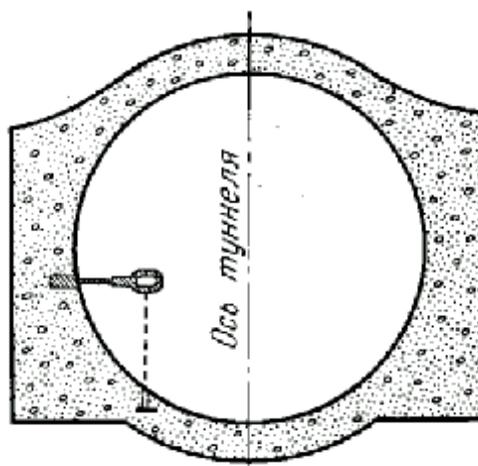


Рисунок 3

В боках туннеля полигонометрический знак закрепляется примерно на уровне головки рельса(примерно на 10 см. выше) (рис. 3).

Одновременно с закладкой такого знака выше него на 0,5 - 1,0 м бетонируют в стене пробку или отрезок водопроводной трубы для укрепления консоли под инструмент.

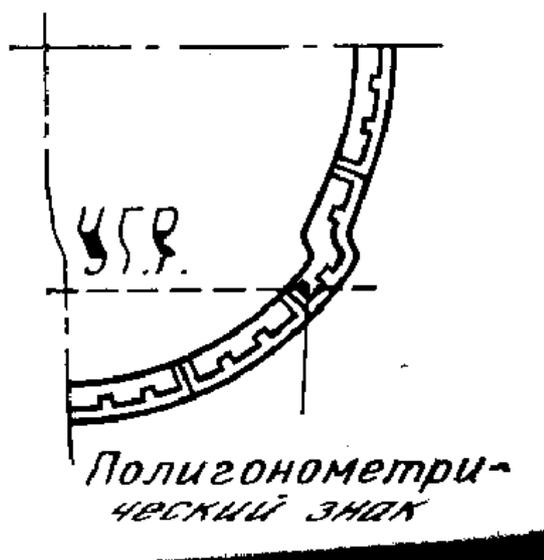


Рисунок 4

В тоннелях с металлической тубинговой обделкой полигонометрические знаки закрепляют на ребрах жесткости обделки (рис.4).

Для закрепления знаков на ребре жесткости зашлифовывают площадку размером 2 - 3 см.и в середине ее просверливают отверстие, которое зачеканивают медью.

На каждый закрепленный знак составляют описание.

3.14. Измерения в подземной полигонометрии .

1) **Линии в подземной полигонометрии** измеряют подвесными стальными компарированными рулетками или проволоками в прямом и обратном направлениях. Отчеты при измерении линий производят по нитям отвесов, подвешенных в створе измеряемой линии через 20 или 24 м. Горизонт измерений на нитях отвесов задается инструментально. Пролеты измеряют при трех положениях рулетки или проволоки. Расхождения между прямым и обратным ходом устанавливается в зависимости от длины линии.

Длина линии	Расхождение
до 25 м	2 мм
25 - 50 м	3 мм
50 - 80 м	4 мм
> 80 м	1 : 20 000

Для измерений проволоками относительную разность допускают не более 1:30 000

При измерении сторон в цепочке вытянутых треугольников осуществляют контроль по формуле:

$$AB = AC * \cos A + BC * \cos B$$

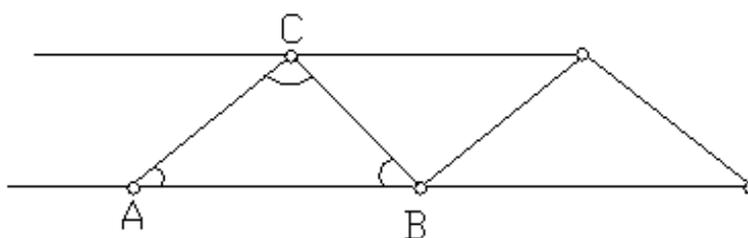


Рис. 6

Стороны основной подземной полигонометрии более 100 м и стороны главной полигонометрии определяют путем проектирования сторон, которые непосредственно измерены мерными приборами .

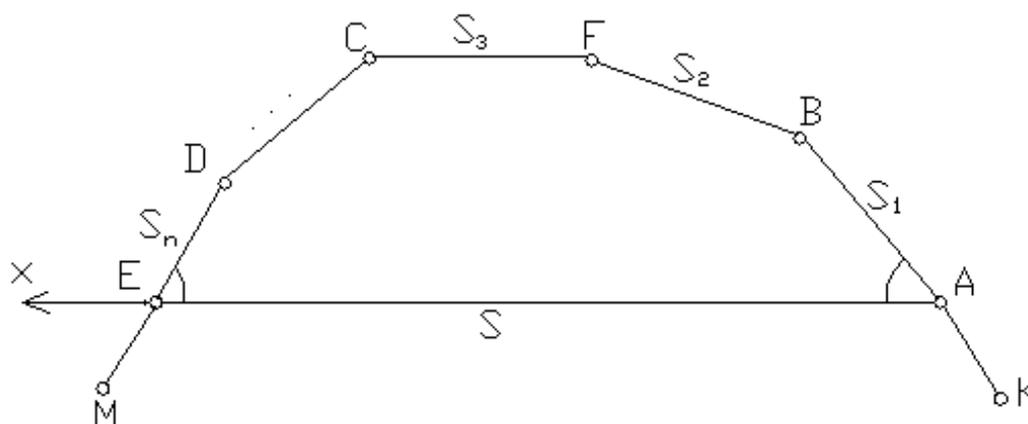


Рис. 7

Для этой цели в т. Е и А дополнительно измеряют углы ЕАВ и ДЕА. Длину замыкающей вычисляют в условной системе координат, принимая за ось X сторону АЕ. Длина АЕ равна:

$$S = S_1 * \cos \alpha + S_2 * \cos \alpha + \dots + S_n * \cos \alpha = \sum_1^n s_i * \cos . \alpha_i$$

$\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ - условные дирекционные углы сторон, вычисленные по измеренным углам основной полигонометрии.

В последнее время для измерения длин сторон широко используют светодальномеры, в частности МСД -1 М.

2) Измерения углов

Углы в ходах рабочей полигонометрии измеряют теодолитами типа Т5 - двумя приемами. В подходной и основной полигонометрии:

- при $S=50$ м - теодолитами Т2 - 3 - 4 приемами;

- при $S = 100$ м. теодолитами Т1 - 4 приемами .

В главной полигонометрии - 6 приемами.

Теодолиты, устанавливаемые под точкой, центрируют либо при помощи двойного оптического центрира или при помощи нитяного отвеса. Центрирование над точкой выполняется оптическим центриром. Для уменьшения ошибок центрирования рекомендуется через 1 - 2 приема заново центрировать теодолит, изменяя установку центрира на 180° . Расхождения между значениями направлений, измеренных при различных центрировках, не более $12''$.

В качестве визирных целей принимаются нити отвесов, отцентрированных над полигонометрическими знаками, а также тонкие шпильки, установленные непосредственно над центрами знаков. Визирные цели подсвечивают матовыми рефлекторами (бумажная калька, матовое стекло, надеваемые на источник света). При наличии коротких сторон для уменьшения ошибок центрирования применяют косвенный метод определения углов. Этот метод получил применение на крестах выработок и при передаче дирекционного угла из штольни в тоннель.

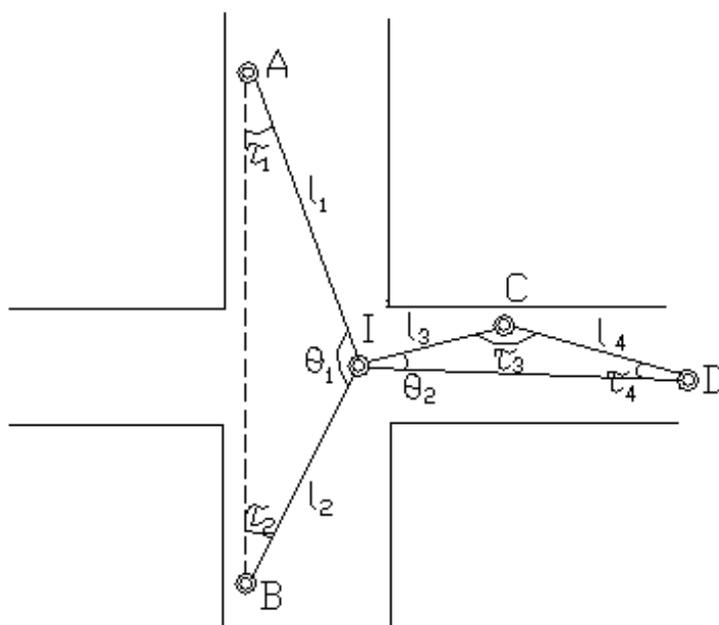


Рис. 8

При этом, в удобном месте устанавливают теодолит У (не над центром знака). Измеряют углы θ_1 и θ_2 и расстояния l_1 . Углы τ вычисляют по теореме синусов.

Угловые невязки в треугольниках основной полигонометрии не должны превышать 6-8 ".

В замкнутых полигонах допустимую невязку подсчитывают по формуле

$$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 6'' \sqrt{n}$$

Относительная невязка в этих полигонах не должна превышать 1:25000, а при периметрах менее 250 м - абсолютная невязка 10 мм.

Координаты пунктов основной полигонометрии вычисляют по мере продвижения забоя вперед. Перед вычислениями координат невязки в треугольниках распределяют поровну на все углы, а линейные измерения уравнивают как в соединительных треугольниках.

После сбойки координаты пункта в месте сбойки вычисляют как средние из двух ходов, а оба хода уравнивают как при ориентировании через два вертикальных ствола.

3.15. Вынесение оси трассы в натуру

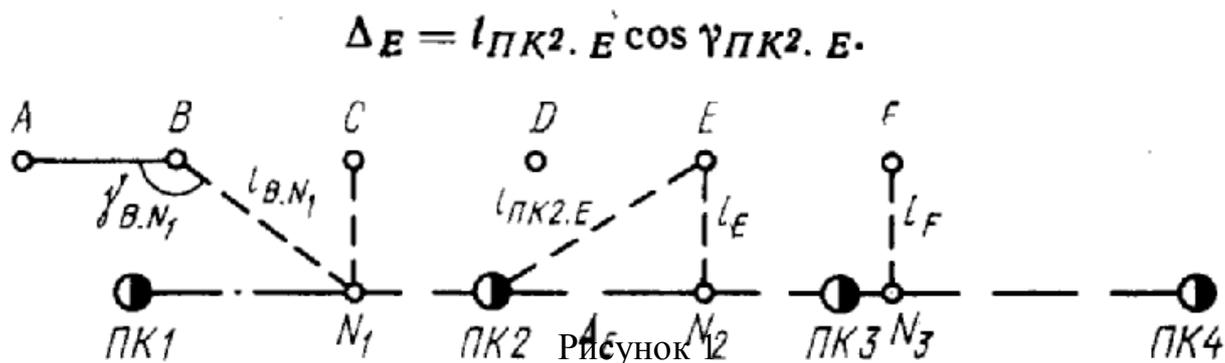
Ось трассы в натуре при сооружении тоннелей разбивают от пунктов подземной полигонометрии .

Исходными данными для выноса оси трассы являются координаты пунктов подземной полигонометрии и проектные координаты точек, расположенных на оси тоннеля .

А) На прямолинейных участках тоннеля может быть примерно 3 способа:

- 1) полярный способ;
- 2) откладывание перпендикуляров от пунктов полигонометрии;
- 3) откладывание перпендикуляров от линии, параллельной оси трассы.

1 способ. Имея проектные координаты точки N, лежащие на оси трассы и координаты пунктов подземной полигонометрии A, B, C от ближайшей из них вычисляют разбивочные элементы γ_{BN_1} и L_{BN_1} . По этим данным точку N_1 выносят в натуре.



2 способ. Разбивку в натуре точек N_2 можно произвести путем откладывания перпендикуляра, опущенного с полигонометрического знака на ось трассы.

Величину перпендикуляра l_D находят из прямоугольного треугольника $\Delta PK2, D, N_2$.

По проектным координатам $PK2$ и фактическим координатам полигонометрического знака D , из решения обратных задач, находят расстояние L_{PK2-D} и дирекционный угол α_{PK2-D} . Вычисляют затем угол γ_{PK2-D} , как разность дирекционных углов оси трассы α_{TP} и α_{PK2-D} :

$$\gamma_{PK2-D} = \alpha_{TP} - \alpha_{TK2-D}$$

Величину перпендикуляра l_D определяют по формуле:

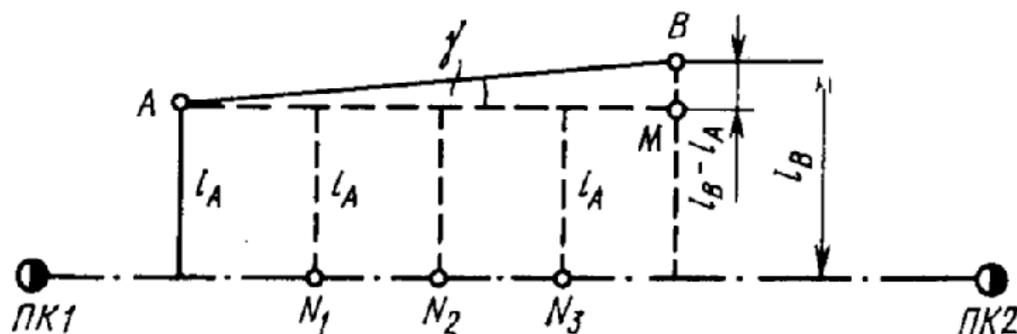
$$l_D = L_{PK2-D} * \sin \gamma_{PK2-D}$$

Пикетажное значение точки N_2 равно:

$$ПKN_2 = PK2 + \Delta_D; \Delta_D = L_{PK2-D} * \cos \gamma_{PK2-D}$$

Откладывание необходимо выполнять не менее, чем от 3 полигонометрических знаков.

3 способ. В этом случае по приведенным выше формулам вычисляют удаление двух смежных пунктов от трассы тоннеля l_A и l_B .



Рис

унок. 2

От полигонометрического знака B откладывают разность $l_B - l_A$ и получают точку M . Линия AM параллельно оси тоннеля. Откладывая от этой

линии величину l_A в натуре, можно получить точки трассы $N_1 \dots N_n$ сколь угодно часто.

Направление линий АМ в натуре можно получить путем откладывания теодолитом, установленном в т. А угла γ , равного разности дирекционных углов линии трассы и линии АВ.

Б) Вынесение оси трассы на круговых кривых

Если точка N_1 расположена в пределах круговой кривой, то величину l_M и пикетаж точки N определяют следующим образом:

1) по координатам точек М и О определяют длину D_{OM} и дирекционный угол α_{OM} .

2) вычисляют величину l_M по формуле:

$$l_M = D_{OM} - \{R - (p + q)\}$$

3) определяют значение угла γ_{N1} как разность дирекционных углов α_{OM} и α_{OPK1}

4) вычисляют длину дуги по разбивочной оси трассы между точками ПК1 и N_1

$$\Delta_M = R * \gamma_{N1} / \rho''$$

R- радиус разбивочной оси

5) определяют пикетажное значение т. N_1

$$ПК_{N1} = ПК1 + \Delta_M$$

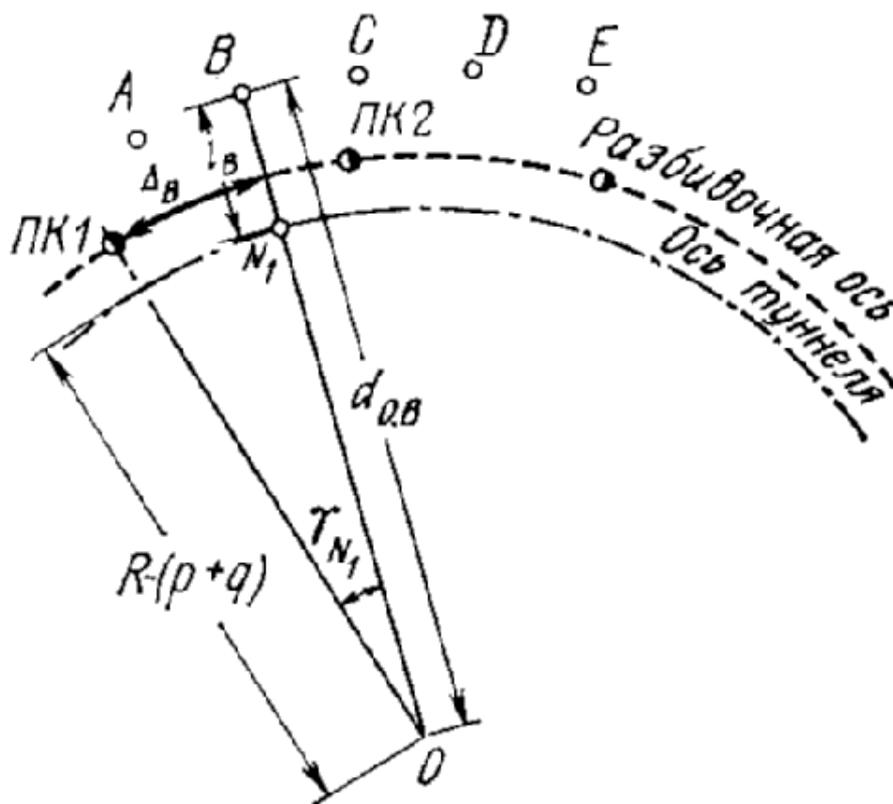


Рисунок 3

В) На участках переходных кривых в натуре указанными методами разбивают направление линии тангенса, проходящей через НПК. От линии тангенсов точки переходной кривой выносят :

1) по прямоугольным координатам

$$x_{II} = l * \left(1 - \frac{l^4}{40 * c^2}\right); Y = \frac{l^3}{6 * c} * \left(1 - \frac{l^4}{56 * c^2}\right)$$

l - длина переходной кривой от начала до текущей точки

$c = L * R$ - параметр переходной кривой

2) от хорды, стягивающей начало и конец переходной кривой.

Эти способы рассматривались нами ранее.

Перенесенные в натуре точки трассы закрепляют в своде, а затем фиксируют ось отвесами, подвешенными к эти точкам.

3.16. Геодезические разбивочные работы при укладке сборной обделке тоннеля

3.16.1. Определение эллиптичности колец

Эллиптичность колец это отклонение фактических диаметров колец от проектных.

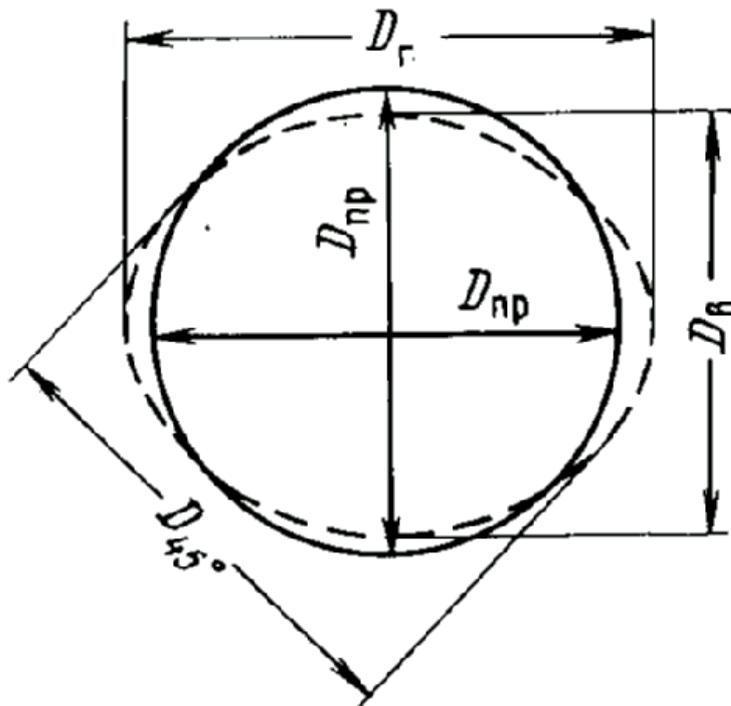


Рисунок 4

Различают :

- горизонтальную эллиптичность

$$D_{\text{пр}} - D_2$$

- вертикальную

$$D_{\text{пр}} - D_b$$

- и косую - под углом 45°

$$D_{\text{пр}} - D_{45}$$

Эллиптичность колец при сборке более 25 мм не допускается.

3.16.2. Определение опережения колец

Опережение колец - отклонение передней плоскости колец от перпендикуляра к оси тоннеля. Определения выполняют через 8-10 колец .

Определение горизонтального опережения:

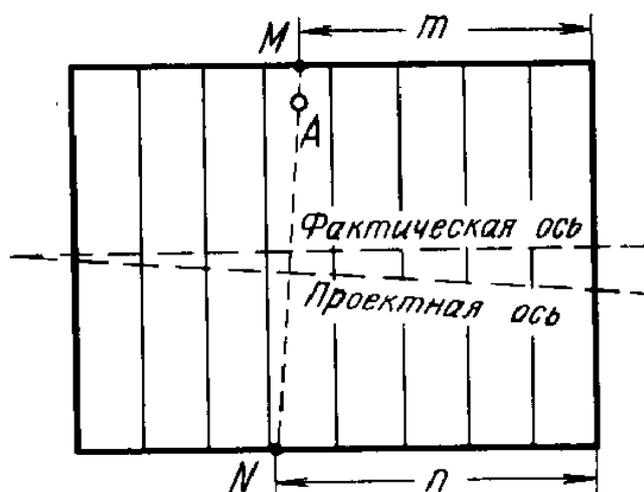


Рисунок. 5

На полигонометрическом знаке А восстанавливают перпендикуляр к оси трассы ("отбивают нормаль"), который отмечают на кольцах на высоте горизонтального диаметра точками М и N. Стальной рулеткой от точек М и N на уровне горизонтального диаметра туннеля измеряют расстояния до передней плоскости последнего кольца. Опережение q равно:

$$q = n - m$$

На прямолинейном участке опережение должно быть равно нулю.

Устраняют опережение вставкой специальных клиновидных колец или прокладок, у которой задняя и передняя плоскости не параллельны. Применяются прокладки с опережением от 40 до 60 мм.

3.16.3. Определение опережения и укладка колец на кривых

а) На криволинейных участках трассы плоскости колец обделки, при точном ведении тоннеля по кривой, должны быть направлены по радиусам.

Обделку на кривых собирают с чередованием нормальных колец с клиновидными или с прокладками.

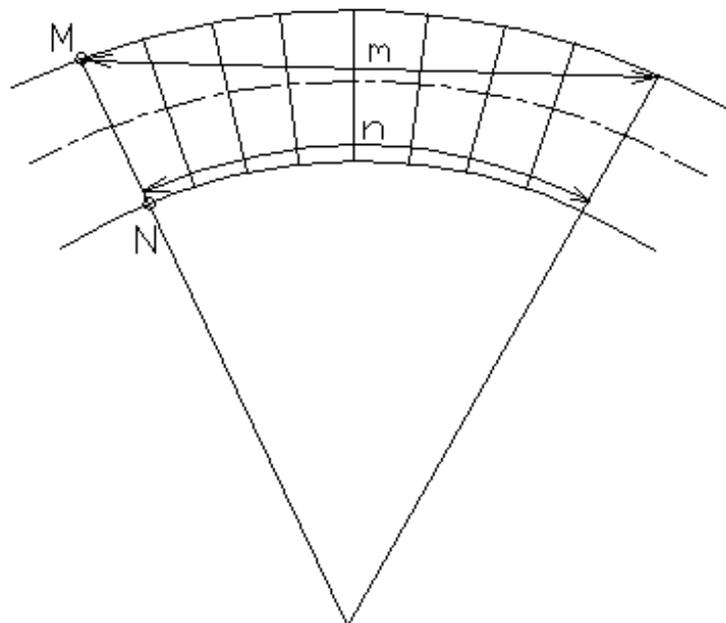


Рисунок 6

Нормальное или проектное опережение колец а плане учитывают и по формуле:

$$q_{\text{ПР}} = \frac{D}{R} * l$$

где D - диаметр кольца; R - радиус круговой кривой; l - длина исследуемого участка.

Фактическое опережение определяют аналогично рассмотренному выше.

Так как расстояние m на круговой кривой измеряют по хорде, затем в это расстояние вводят поправку

$$\Delta_m = + \frac{m^3}{24 * R^2}$$

Измеренные фактические опережения сравнивают с проектными и в случае отклонений, превышающих допуски, выправляют вставкой прокладок или клиновидных колец.

б) в пределах переходной кривой проектное опережение подсчитывают от плоскости, проведенной через начало ПК перпендикулярно линии тангенса, пользуясь формулой:

$$q_{\text{ПР}} = D \cdot \text{tg } \varphi_T$$

$$\text{или } q'_{\text{ПР}} = \frac{D \cdot S^2}{2 \cdot C}$$

где D - диаметр кольца; φ_T - угол поворота переходной кривой, считая от начала до текущей точки; S - длина переходной кривой от начала до текущей точки.

в) Опережение в вертикальной плоскости определяют при помощи отвеса. На горизонтальных участках опережение должно равняться нулю.

Проектное вертикальное опережение зависит от запроектированного уклона оси тоннеля:

$$q_b = D \cdot i$$

где i - проектный угол.

3.16.4. Определение правильности положения колец в плане и в профиле

Эту проверку выполняют не реже чем через пять колец.

Положение колец в плане определяют от оси тоннеля, закрепленной в своде, или от смещенной параллельной оси.

Положение уложенных колец в профиле определяют нивелированием свода и лотка и сравнения полученной отметки с проектной.

При массовом определении положения колец в плане применяют метод бокового нивелирования.

А) прямые участки*

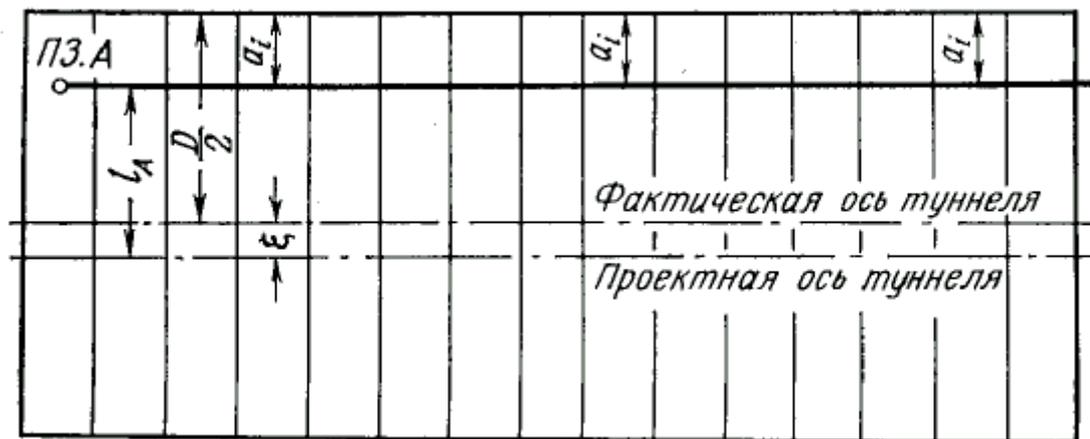


Рисунок 1

На полигонометрическом знаке А, удаленном от проектной оси на величину l_A , (рис. 1) устанавливают теодолит так, чтобы визирная ось трубы была параллельна оси туннеля. Затем по рейке, расположенной по горизонтальному диаметру туннеля, отсчитывают расстояния a_i от определяемого кольца до линии визирования.

Уклонение фактического центра кольца от проекта (эксцентриситет кольца) вычисляют по формулам :

а) при расположении ПЗ слева от оси

$$\varepsilon_i = \frac{D}{2} - (l_A + a_i),$$

где l_A - расстояние от ПЗ до проектной оси.

б) при расположении ПЗ справа от оси

$$\varepsilon_i = (l_A + a_i) - D/2$$

Если величина ε_i получилась со знаком плюс, то туннель отклонен от проекта вправо, а если со знаком минус - туннель имеет отклонение влево.

Б) на участках круговых кривых расстояния a измеряют от визирного луча, направленного по хорде, проходящей через полигонометрический знак, на котором установлен теодолит (рис. 2).

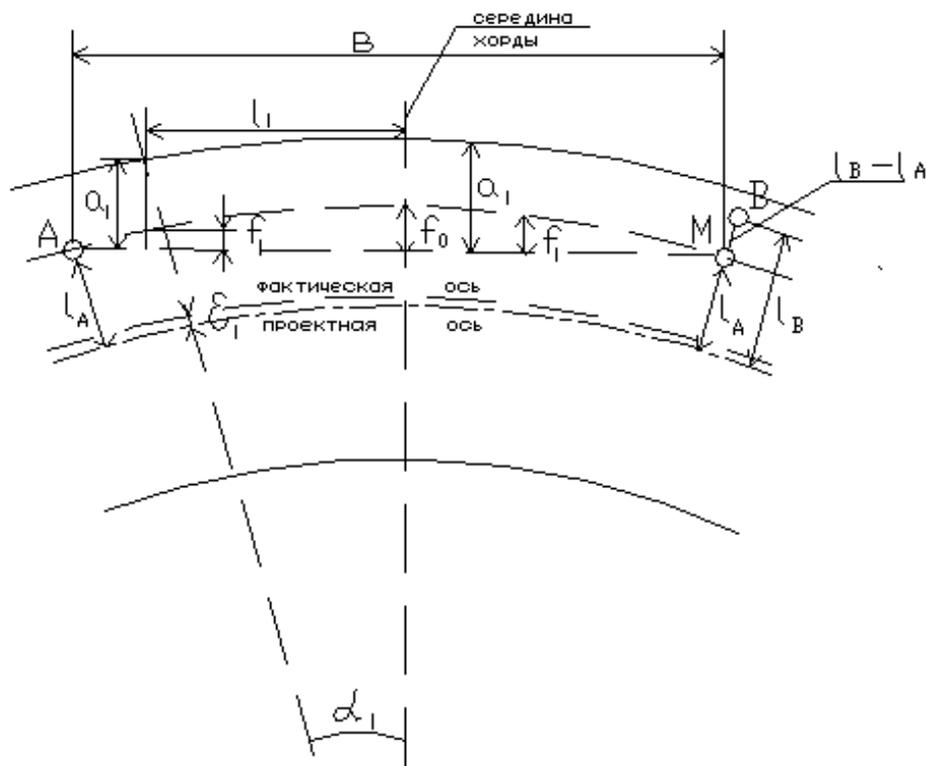


Рисунок 2

Для определения направления хорды от знака полигонометрии В откладывают расстояние $l_B - l_A$ и получают точку М (рис.2). Визирную ось трубы теодолита, установленного на пункте А, наводят на точку М.

От полученного визирного луча при помощи рейки измеряют расстояния a_i на уровне горизонтального диаметра до определяемого кольца.

Уклонение фактического центра кольца от проекта определяют по формуле:

$$\varepsilon_i = D/2 - \left\{ l_A + \frac{a_i - f_i}{\cos \alpha_i} \right\},$$

где D - измеренный фактический диаметр кольца; l_A - удаление полигонометрического знака от проектной оси; f_i - стрелка прогиба в т. i .

$$f_i = f_0 - \frac{l_i^2}{2 * (R - p - q + l_A)}$$

где $f_0 = \frac{b^2}{8 * (R - p - q + l_A)}$ - стрела прогиба в середине хорды;

l_i - расстояние от середины хорды до определяемого кольца ; R - радиус разбивочной круговой кривой ; e - длина хорды АМ .

В) на переходных кривых положение центров колец в плане определяют также, как и на прямых участках, от визирного луча, направленного параллельно диагонали, соединяющей точки НПК и КПК . Дирекционный угол этой диагонали вычисляют по координатам точек НПК и КПК.

Уклонение центра кольца от проекта определяют по формуле:

$$\varepsilon_i = D/2 - \{l_A + a_i - f_{\Pi}\}$$

Расстояния f_{Π} вычисляют по формуле:

$$f_{\Pi} = \frac{l^3}{6 * c} * \left(\frac{L^2}{l^2} - 1\right),$$

где l - длина переходной кривой от начала до текущей точки; L - длина всей переходной кривой; $C = LR$ - проектная величина.

3.17. Геодезические работы при укладке железнодорожных путей в тоннеле

Для укладки железнодорожных путей в тоннелях закрепляют путевые реперы. Он представляет собой болт со сферической головкой, ввинчиваемый в длинную гайку, называемую хвостиком репера. Под сферической головкой болт имеет квадратное сечение, предназначенное для регулирования положения болта по высоте гаечным ключом. В центре сферической головки просверливается отверстие диаметром 1,5 - 2 мм - центр репера.

Хвост репера бетонируется в ячейки тюбинга, после чего сферическая головка репера устанавливается по высоте точно на отметке уровня головки рельсов, и болт приваривается к хвосту.

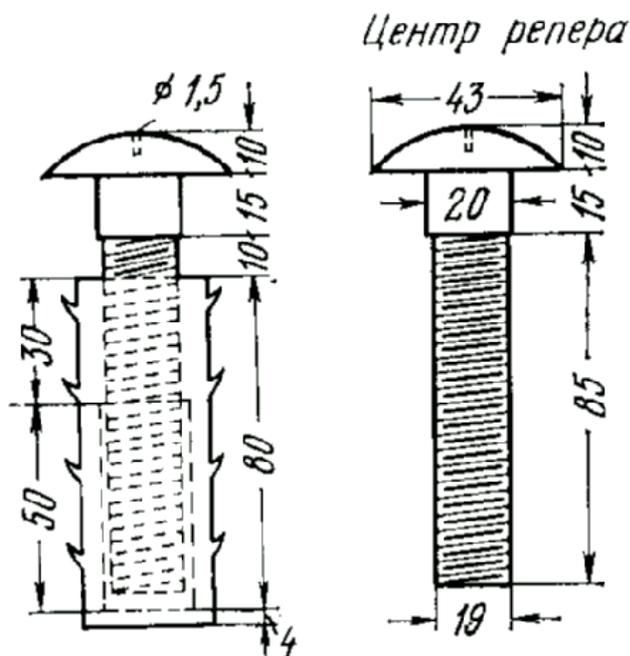


Рисунок 1

Путейские реперы устанавливают:

- на прямых участках через 20 метров с правой стороны по ходу поезда;
- на кривых - через 5 метров с внешней стороны кривой, т.е. со стороны возвышенного рельса.

Путейские реперы устанавливают так же на всех характерных точках профиля и трассы.

Закладку путейских реперов производят в следующей последовательности :

- по пикетажу производят разбивку мест закрепления путейских реперов
- бетонируют "хвосты" реперов
- определяют пикетаж закрепленных реперов от полигонометрических знаков путем измерения расстояния рулеткой; отклонение фактического

пикетажного значения путейских реперов от проектного не допускается более 3 см.

- по фактическому значению пикетажа установленных реперов вычисляют их проектные отметки

- устанавливают сферические головки в проектное положение ввинчиванием или вывинчиванием; отклонение отметок от проектных не более 2 мм.

- определяют расстояние от репера до оси пути r . Эти расстояния определяют, пользуясь урвненными координатами подземной полигонометрии.

Погрешность определения величин r не должна превышать 2 мм.

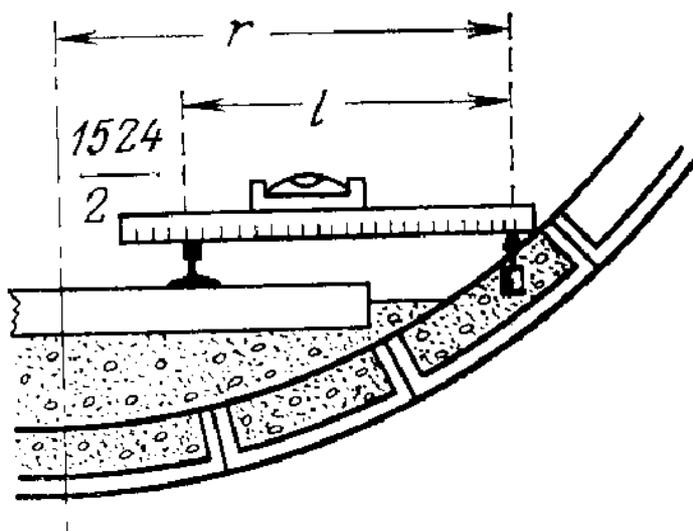


Рисунок 2

Укладку рельсов производят от путейских реперов, пользуясь рейкой и накладным уровнем. После проверки правильности уложенных и раскрепленных путей производят заливку шпал бетоном. В процессе заливки периодически проверяют высотное положение рельсов при помощи нивелира, а их прямолинейность на прямых участках - теодолитом, установленным над гранью рельса.

На круговых участках правильность уложенных рельсов контролируют измерением стрелок прогиба рельсов в середине хорд длиной 10 или 20 м.

Для окончательно отрихтованного пути инструкцией установлены следующие допуски :

а) отклонение от проектного положения рельсов в плане и в профиле не должно превышать 3 мм;

б) уширение колеи относительно проектной величины не должно превышать + 4 мм, а сужение - 2 мм;

в) измеренные величины стрел прогиба не должны отличаться от проектных более 3 мм - для 20 метровых и 2 мм - для 10 метровых хорд. При этом отклонения фактических стрелок прогиба от проектных на соседних хордах не должны иметь разных знаков.

3.18. Наблюдения за деформациями при строительстве и эксплуатации подземных сооружений

Выработки, проводимые под землей, как правило, вызывают осадки земной поверхности. Принято считать, что осадки распространяются на расстояние, равное полуторной глубине заложения. При неблагоприятных условиях осадки могут достигать нескольких дециметров.

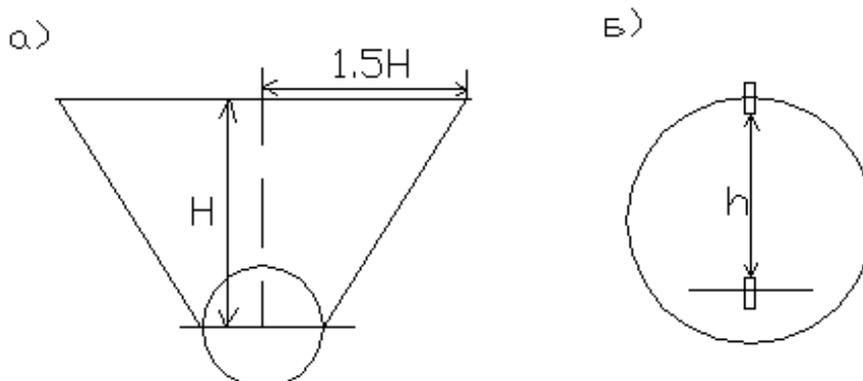


Рисунок 3

В связи с этим при наличии зданий вдоль трассы тоннелей возникает необходимость в организации наблюдений за деформациями и осадками зданий и поверхности .

До начала строительных работ в стены зданий, расположенных в зоне возможных деформаций, закладывают осадочные марки на всех четырех углах зданий или на расстоянии 20 - 25 м, если здание больших размеров.

Отметки марок определяют нивелированием III класса, ходы которого опираются на пункты созданного высотного обоснования.

В подземных выработках, особенно в местах с неблагоприятными геологическими условиями развивается значительное горное давление, в результате которого возможны осадки и деформации креплений и обделки тоннеля.

Для выявления величины осадок и деформаций производят нивелирование специальных точек, закрепленных в своде и лотковой части тоннеля, измеряют диаметры колец в тоннеле т.е. определяют сближение боковых реперов

В местах пересечения вновь сооружаемых тоннелей метрополитенов с действующими линиями производят наблюдения за осадками существующих подземных сооружений. Осадочные марки в таких сооружениях устанавливают на 10 - 15 м одна от другой , охватывая при этом всю зону возможных осадок.

Исходными данными для наблюдений за осадками подземных сооружений служат пункты высотного обоснования.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

- Предмет и задачи курса "Инженерная геодезия"
- Этапы инженерно-геодезических работ в строительстве
- Инженерные изыскания
- Инженерно – геодезическое проектирование
- Разбивочные работы
- Геодезическая выверка конструкций и технологического оборудования
- Литература

1. ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

1.1.ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

- 1.1.1. Крупномасштабные топографические съемки
 - 1.1.1.1.Номенклатура планов
 - 1.1.1.2.Съемочная геодезическая сеть
 - 1.1.1.3.Составление проекта теодолитных ходов
 - 1.1.1.4.Съемка М 1:500 застроенных территорий
- 1.1.2.Городская полигонометрия и инженерно- геодезические сети
 - 1.1.2.1.Общая характеристика сети
 - 1.1.2.2.Полигонометрические знаки
 - 1.1.2.3.Передача координат на полигонометрические знаки
 - 1.1.2.4.Измерение углов и длин при отсутствии видимости между пунктами
 - 1.1.2.5.Метод редукции при линейных измерениях
- 1.1.3.Геодезические опорные разбивочные сети
 - 1.1.3.1.Общие сведения
 - 1.1.3.2.Линейно- угловые сети
 - 1.1.3.3.Геодезическая засечка
 - 1.1.3.4.Четырехугольник без диагоналей
 - 1.1.3.5.Геодезические засечки с параллактическими углами
- 1.1.4.Геодезическая строительная сетка
 - 1.1.4.1.Назначение строительной сетки и ее точность
 - 1.1.4.2.Проектирование строительной сетки
 - 1.1.4.3.Способы детальной разбивки строительной сетки

1.1.4.3.1.Осевой способ

1.1.4.3.2.Способ редукции

- 1.1.4.4.Методы определения координат пунктов строительной сетки
- 1.1.4.5.Оценка точности построения строительной сетки
- 1.1.4.6.Контрольные измерения при создании строительной

сетки

1.1.4.7. Перевычисления координат пунктов строительной сетки

1.1.4.8. Определение высот пунктов строительной сетки

1.1.4.9. Методы построения сетей второго порядка

1.1.4.9.1. Полигонометрия

1.1.4.9.2. Метод четырехугольников

1.1.4.9.3. Микротриангуляция

1.1.4.9.4. Метод угловых геодезических засечек

1.1.4.9.5. Микротрилатерация

1.1.4.9.6. Метод линейных геодезических засечек

1.2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

1.2.1. Общие сведения о проектировании

1.2.1.1. Проект и его содержание

1.2.1.2. Геодезическая подготовка проектов для выноса в натуру красных линий в плане

1.2.1.3. Геодезическая подготовка проекта для выноса зданий от красных линий

1.2.1.4. Основные математические зависимости, используемые для расчета геодезических элементов проекта

1.2.2. Геодезическая подготовка для разбивки зданий способом перпендикуляров

1.2.3. Вынос на местность красных линий по заданным промерам от осей проезда

1.2.4. Вертикальная планировка площадки строительства методом проектных горизонталей

1.2.4.1. Основные математические зависимости при расчете геодезических элементов вертикальной планировки

1.2.4.2. Вертикальная планировка площадки строительства способом проектных горизонталей

1.2.5. Составление проекта вертикальной планировки

1.2.6. Проектирование площадки с соблюдением баланса земляных работ

1.2.7. Подсчет объемов земляных работ

1.2.8. Проектирование наклонной плоскости без соблюдения баланса земляных работ

1.2.9. Условные обозначения, используемые при составлении проекта вертикальной планировки

1.3. РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

1.3.1. Общие сведения о разбивочных работах

1.3.2. Способы разбивочных работ

1.3.2.1. Способ полярных координат

1.3.2.2. Способ створно-линейных координат

1.3.2.3. Способ прямоугольных координат

- 1.3.2.4. Способ полярно-прямоугольных координат
- 1.3.2.5. Способ прямой угловой засечки
- 1.3.2.6. Способ замкнутого треугольника
- 1.3.2.7. Способ линейной засечки
- 1.3.2.8. Способ створной засечки
- 1.3.2.9. Способ обратной угловой засечки
- 1.3.2.10. Способ проектного полигона
- 1.3.2.11. Разбивка точек способом редуцирования

1.3.3. Влияние исходных данных на точность плановой разбивки точек сооружений

1.3.4. Элементы разбивочных работ

- 1.3.4.1. Построение проектного угла
- 1.3.4.2. Построение проектного отрезка
- 1.3.4.3. Перенесение в натуру проектной отметки
- 1.3.4.4. Построение в натуре линий проектного уклона
- 1.3.4.5. Построение створа
- 1.3.4.6. Построение наклонной плоскости
- 1.3.4.7. Построение отвесной плоскости
- 1.3.4.8. Построение отвесного направления

1.3.5. Технология разбивочных работ

- 1.3.5.1. Геодезическая подготовка проекта
- 1.3.5.2. Порядок и точность разбивочных работ
- 1.3.5.3. Основные разбивочные работы на строительной площадке
 - 1.3.5.3.1. Общие сведения*
 - 1.3.5.3.2. Разбивка основных осей и их закрепление*
 - 1.3.5.3.3. Детальные геодезические разбивочные работы*

1.4. РАБОТЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТРОИТЕЛЬСТВА

1.4.1. Подземные коммуникации

- 1.4.1.1. Разбивка коммуникаций на промышленной площадке
- 1.4.1.2. Разбивка подземных трубопроводов

1.4.2. Геодезические работы на нулевом цикле

- 1.4.2.1. Геодезические работы при возведении фундаментов
 - 1.4.2.1.1. Общие сведения*
 - 1.4.2.1.2. Возведение монолитных фундаментов*
 - 1.4.2.1.3. Устройство сборных железобетонных фундаментов*
 - 1.4.2.1.4. Свайные фундаменты*
 - 1.4.2.1.5. Фундаменты под колонны*
 - 1.4.2.1.6. Исполнительная съемка фундаментов*

1.4.3. Геодезические работы при возведении наземной части зданий

- 1.4.3.1. Плановая и высотная разбивочные сети при строительстве наземной части

1.4.3.2.Проектирование разбивочных осей на монтажном горизонте

1.4.3.3.Построение разбивочной сети на монтажном горизонте

1.4.3.4.Создание высотной основы

1.4.3.5.Геодезические работы при подготовке к монтажным работам

1.4.3.5.1.Контроль геометрических параметров сборных конструкций

1.4.3.5.2.Монтаж и выверка колонн, исполнительная съемка колонн

1.4.3.5.3.Монтаж и выверка панелей, исполнительная съемка панелей

1.4.3.5.4.Сборные железобетонные многоэтажные здания

1.4.3.5.5.Крупнопанельные и крупноблочные здания

1.4.3.5.6.Каркасно-панельные здания

1.4.4.Геодезические работы при монтаже оборудования

1.4.4.1.Классификация операций выверки геометрии элементов оборудования

1.4.4.2.Выверка прямолинейности

1.4.4.3.Выверка соосности

1.4.4.4.Выверка горизонтальности

1.4.4.5.Выверка вертикальности

1.4.4.6.Выверка наклона

1.4.4.7.Выверка параллельности

1.4.4.8.Выверка перпендикулярности

1.4.4.9.Выверка плоскостности

1.4.4.10.Выверка кривизны

1.4.4.11.Установка и выверка подкрановых балок и рельс

1.5.НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ

1.5.1.Общие сведения о геодезических методах измерения деформаций оснований зданий и сооружений

1.5.2.Классификация деформаций оснований зданий и сооружений

1.5.3.Основные причины деформаций

1.5.4.Геодезические знаки, используемые для измерений осадок сооружений методом геометрического нивелирования

1.5.4.1.Общая классификация знаков

1.5.4.2.Количество и размещение геодезических знаков

1.5.5.Измерение осадок фундаментов зданий и сооружений методом нивелирования III класса

1.5.5.1.Общие сведения

1.5.5.2.Размещение и установка знаков высотной основы

1.5.5.3.Выбор геодезических инструментов

1.5.5.4.Производство нивелирования III класса

1.5.5.5. Упрощенные наблюдения за скоро протекающими процессами

1.5.5.6. Камеральная обработка результатов нивелирования

1.5.5.7. Точность геодезических наблюдений за осадками

1.5.6. Линейно-угловые построения для наблюдения за деформациями

1.5.6.1. Виды специальных сетей и особенности их построения

1.5.6.2. Створные измерения

1.5.6.2.1. Общие сведения

1.5.6.2.2. Методы створных измерений

1.5.6.2.3. Схемы створных измерений

1.5.6.2.4. Общая теория створных измерений

1.5.7. Автоматизация наблюдений за деформациями зданий и сооружений

1.5.8. Особенности наблюдений за деформациями высотных зданий и сооружений

2. ЛИНЕЙНЫЕ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

2.1. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

2.1.1. Полевое трассирование

2.1.1.1. Вынесение проекта трассы в натуру

2.1.1.2. Угловые и линейные измерения

2.1.1.3. Разбивка пикетажа

2.1.1.4. Разбивка поперечников

2.1.1.5. Переходные кривые

2.1.1.6. Вертикальные кривые

2.1.1.7. Детальная разбивка кривых

2.1.1.8. Камеральная обработка материалов трассирования

2.1.1.9. Разбивка поперечных профилей (строительных поперечников)

2.1.2. Геодезическое обеспечение проектирования и строительства автомобильных и железных дорог

2.1.2.1. Дорожные изыскания

2.1.2.2. Восстановление дорожной трассы

2.1.2.3. Разбивка земляного полотна

2.1.2.4. Камеральное трассирование

2.1.3. Виражи на автомобильных дорогах

2.1.3.1. Элементы виража

2.1.3.2. Разбивка виража

2.1.4. Серпантины

2.1.4.1. Основные элементы серпантины

2.1.4.2. Расчет серпантины

2.1.4.3. Разбивка серпантины

2.1.4.4. Расчет пикетажа

2.1.4.5. Расчет ширины участка в самом узком месте серпантины

2.1.4.5. Построение продольного профиля и поперечников серпантины

2.1.5. Разбивка примыканий и пересечений автомобильных

дорог

2.1.5.1. Примыкание в одном уровне

2.1.5.2. Пересечение в разных уровнях

2.1.6. Железные дороги

2.1.6.1. Классификация железных дорог

2.1.6.2. Разбивка соединений и парковок железнодорожных путей

2.1.7. Съёмка железнодорожных путей

2.1.7.1. Основные формулы

2.1.7.2. Способы съёмки кривых

2.1.7.3. Автоматизация разбивочных работ в дорожном строительстве

2.1.8. Геодезические работы при гидротехнических изысканиях

2.1.8.1. Гидротехнические сооружения

2.1.8.2. Составление продольного профиля реки

2.1.8.2.1. Общие сведения

2.1.8.2.2. Схема способа

2.1.8.2.3 Требования к точности определения уклонов реки

2.1.8.2.4. Нивелирование уровней воды в реке

2.1.8.2.5. Приведение к срезочному уровню

2.1.8.2.6. Составление продольного профиля реки

2.1.9. Топографо-геодезические работы на водохранилищах

2.1.9.1. Общие сведения

2.1.9.2. Определение на местности проектного контура водохранилища

2.1.10. Русловые съёмки

2.1.10.1. Обоснование и масштабы съёмок

2.1.10.2. Промерные работы

2.1.10.3. Плановая привязка промерных точек

2.1.10.4. Обработка материалов

3. ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

3.1. НАЗНАЧЕНИЕ И СПОСОБЫ ВОЗВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

3.2. ПОНЯТИЕ О ГАБАРИТЕ И ФОРМЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СЕЧЕНИЙ

3.3. НАЗНАЧЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ТУННЕЛЕЙ

3.4. АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРАССЫ ТУННЕЛЯ

3.4.1. Основные элементы трассы в плане и профиле

3.4.2. Расчет координат пикетов трассы

3.4.3. Вычисление координат концов переходных кривых

3.5. ВЫЧИСЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫНЕСЕНИЯ В НАТУРУ КРУГОВЫХ КРИВЫХ

3.5.1. Вынесение по хордам. Выбор длины хорды

3.5.2. Вынесение по секущим

3.5.3. Вынесение переходных кривых

- 3.5.4. Вынесение вертикальных кривых**
- 3.6. СХЕМА ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ ТОННЕЛЯ**
 - 3.6.1. Плановое геодезическое обоснование**
 - 3.6.1.1. Геодезическое обоснование на поверхности
 - 3.6.1.2. Подземное плановое геодезическое обоснование
 - 3.6.2. Высотное геодезическое обоснование**
 - 3.6.3. Построение геодезического обоснования на поверхности**
 - 3.6.3.1. Тоннельная триангуляция
 - 3.6.3.2. Туннельная светодальномерная полигонометрия
- 3.7. СБОЙКА ВСТРЕЧНЫХ ВЫРАБОТОК**
 - 3.7.1. Виды несбоек и их допустимые величины**
 - 3.7.2. Расчет ошибок отдельных видов геодезических работ на точность несбойки**
 - 3.7.2.1. Сбойка через порталы
 - 3.7.2.2. Сбойка через портал и ствол
- 3.8. РАСЧЕТ НЕОБХОДИМОЙ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ**
 - 3.8.1. Туннельная триангуляция**
 - 3.8.2. Основная полигонометрии**
 - 3.8.3. Точность ориентирования подземной основы**
 - 3.8.4. Точность подземной полигонометрии**
 - 3.8.5. Точность высотного обоснования**
- 3.9. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ**
 - 3.9.1. Способы ориентирование
 - 3.9.1.1. Магнитный способ
 - 3.9.1.2. Способ створа двух отвесов
 - 3.9.1.3. Усовершенствованный способ створа двух отвесов
 - 3.9.1.4. Способ шкалового примыкания к отвесам
 - 3.9.1.5. Способ оптического клина
 - 3.9.1.6. Способ поляризации светового потока
 - 3.9.1.7. Автоколлимационный способ
 - 3.9.1.8. Гирскопическое ориентирование
 - 3.9.1.9. Ориентирование через два шахтных ствола (через ствол и скважину)
 - 3.9.1.10. Ориентирование способом соединительного треугольника
 - 3.9.1.10.1. Геометрическая схема ориентирования*
 - 3.9.1.10.2. Оптимальная форма соединительного треугольника*
 - 3.9.1.10.3. Точность ориентирования способом соединительного треугольника*
 - 3.9.1.10.4. Процесс ориентирования*
 - 3.9.1.10.5. Косвенный способ примыкания к отвесам в подземной выработке*
 - 3.9.1.10.6. Уравнивание соединительного треугольника*

- 3.10. ПЕРЕДАЧА ОТМЕТКИ С ПОВЕРХНОСТИ В ПОДЗЕМНЫЕ
ВЫРАБОТКИ
- 3.11. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ В ПОДЗЕМНЫХ
ВЫРАБОТКАХ
- 3.12. ПОДЗЕМНАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ
- 3.13. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗНАКОВ ПОДЗЕМНОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ
- 3.14. ИЗМЕРЕНИЯ В ПОДЗЕМНОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ
- 3.15. ВЫНЕСЕНИЕ ОСИ ТРАССЫ В НАТУРУ
- 3.16. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ
УКЛАДКЕ СБОРНОЙ ОБДЕЛКЕ ТОННЕЛЯ
 - 3.16.1. Определение эллиптичности колец**
 - 3.16.2. Определение опережения колец**
 - 3.16.3. Определение опережения и укладка колец на кривых**
 - 3.16.4. Определение правильности положения колец в плане
и в профиле**
- 3.17. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ УКЛАДКЕ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ В ТОННЕЛЕ
- 3.18. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ