

## **Глава 8. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ**

### **8.1. Общие сведения об объектах строительства**

#### **8.1.1. Сооружения перекачивающих и насосных станций**

В состав магистральных нефтегазопроводов входят: линейные сооружения, головные и промежуточные перекачивающие (компрессорные или насосные) станции, которые предназначены для поддержания рабочего давления продукта в трубопроводе в целях обеспечения его расчетной пропускной способности. В свою очередь линейные сооружения, согласно СНиП 2.05.06-85, включают кроме трубопровода: переходы через естественные и искусственные препятствия; узлы пуска и приёма очистных устройств, земляные амбары для аварийного выпуска нефти; здания и сооружения линейной службы эксплуатации трубопровода; дороги и вертолётные площадки [32].

Головная компрессорная станция (ГКС) предназначена для приема газа с источников, очистки его от пыли и сероводорода, осушки, охлаждения и компримирования – сжатия до рабочего давления.

Промежуточная компрессорная станция (КС) используется для очистки газа от пыли и его компримирования. В комплекс сооружений промежуточных КС входят следующие объекты (см. рис. 8.1).

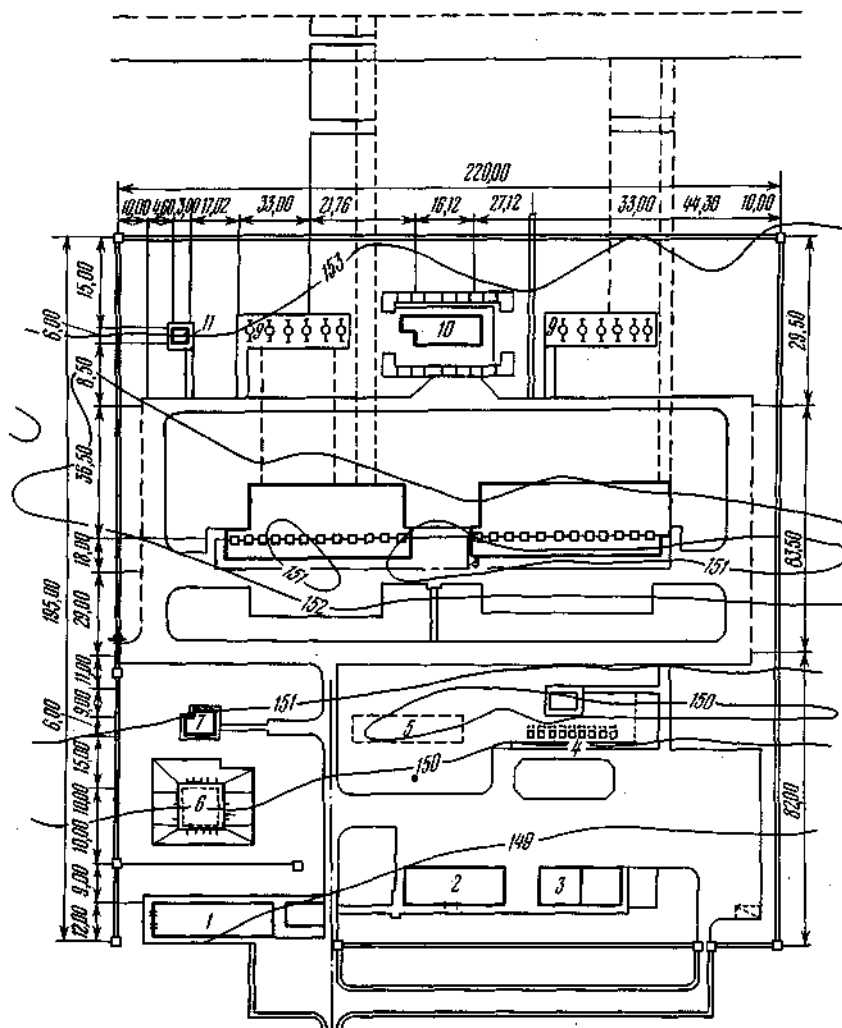


Рис. 8.1. Схема генерального плана промежуточной компрессорной станции: 1 – ремонтно-эксплуатационный блок (РЭБ) с котельной и механической мастерской; 2 – служебно-эксплуатационный блок (СЭБ); 3 – материальный склад; 4 – насосная горюче-смазочных материалов (ГСМ); 5 – место для склада комплектования; 6 – резервуар для воды; 7 – циркуляционная насосная обратного водоснабжения; 8 – компрессорный цех; 9 – цех очистки газа; 10 – насосная второго подъема и градирня; 11 – контрольно-распределительный пункт (КРП) для редуцирования газа на нужды КС [31]

Головная насосная станция предназначается как для приема нефти с промыслов и нефтепродуктов от нефтеперерабатывающих заводов, так и для перекачки их по трубопроводу до следующей промежуточной станции. Для выполнения этих операций головная станция в своем составе имеет следующие объекты: насосную; резервуарный парк, емкость которого равна пропускной способности трубопровода за 2–3 суток; камеру фильтров и минифольную (камеру переключений задвижек); камеру пуска и приема скребка; понизительную подстанцию; административный блок с проходной и узлом связи.

Промежуточные насосные станции (рис. 1.10). Комплекс сооружений на промежуточных станциях такой же, что и на головных, но резервуарный парк их обычно значительно меньше (2–4 резервуара емкостью до 5 тыс. м<sup>3</sup>). Если промежуточная станция используется для отпуска нефти или

нефтепродуктов по железной дороге, к ней подводят железнодорожный тупик и устанавливают наливную эстакаду [31].

### **8.1.2. Геодезические приборы для строительно-монтажных работ**

Геодезическое обеспечение монтажных работ, а также эксплуатационного периода требует применения разнообразных по конструкции приборов и вспомогательного оборудования (рис. 8.2). В каждой группе имеются приборы прецизионные, точные и технические. Наряду с теодолитами, нивелирами, мерными приборами разных классов точности используют специальные приборы для выверки прямолинейности, кренов малого порядка, перекосов, задания линии визирования и т.п.

В каждой группе имеются приборы прецизионные, точные и технические. Наиболее многочисленны и разнообразны по конструкции приборы для измерения расстояний. Они могут быть автономными (лазерные дальномеры, проволоки, ленты, рулетки), либо иметь вид насадок на другие стандартные геодезические приборы (светодальномерные насадки). В качестве объектов наблюдений для мерных приборов служат марки, рейки, отражатели. Для измерения углов в настоящее время используют электронные тахеометры различных марок [14].



**Лазерный дальномер для измерения расстояний (Bosch GLM 80 Professional 7,2 тыс руб. [8])**



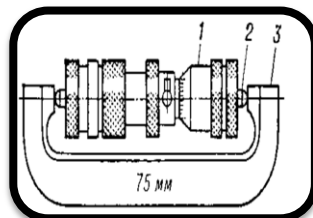
**Теодолит-тахеометр для измерения углов (УОМЗ ЗТ2КП 61000 руб. [22])**



**Цифровой нивелир для измерения превышений (Leica sprinter 250m 115605 руб.) [36]**



**Построители плоскостей и направлений (Leica Lino L2 8.99 тыс руб.) [9]**



**Приборы специального назначения (штихмас)**

*Рис. 8.2. Геодезические приборы, используемые для монтажа конструкций и оборудования<sup>1</sup>*

## **8.2. Геодезические работы по установке конструктивных строительных элементов и монтажу технологического оборудования**

Особое место при строительстве сооружений, кроме разбивочных работ, занимают геодезические работы по установке и контролю установки конструктивных строительных элементов зданий и монтажу технологического оборудования.

### **8.2.1. Принципы геодезического обеспечения монтажа технологического оборудования и строительных конструкций**

Монтаж строительных конструкций и оборудования предусматривает последовательную установку в проектное положение несущих элементов зданий, конструкций и оборудования (рис. 8.3).

<sup>1</sup> *Штихмас* – инструмент для измерения внутреннего диаметра или расстояния между двумя поверхностями; состоит из стального стержня с шаровыми поверхностями на концах и отсчетного устройства со шкалой; Микрометрический нутромер: 1 – микрометрическая головка; 2 – измерительный наконечник; 3 – установочная скоба [11].



*Рис. 8.3. Монтаж строительных конструкций и оборудования*

Несмотря на различие видов сооружений, условий и точностных требований, общие принципы геодезического обеспечения монтажа конструкций и оборудования следующие [6]:

- установка и выверка конструкций и оборудования производится от закрепленных в натуре разбивочных и технологических осей или их параллелей;
- условия монтажа (загруженность площадки, удобство подходов, метеоусловия, видимость и т. п.) должны обеспечивать применение различных способов измерений с заданной точностью;
- применяемые способы измерений должны соответствовать решаемой задаче и заданной точности;
- для объекта монтажа должны быть определены его геометрические или технологические оси, а обработка его поверхности должна соответствовать требованиям точности монтажа;
- при точных, а особенно высокоточных работах установку и выверку рекомендуется проводить в два этапа: предварительно – с приближенной точностью и окончательно – с заданной проектной точностью; это позволяет уменьшить диапазон работы приборов на окончательном этапе, увеличивая их точность, и существенно улучшить организацию работ;
- для выполнения геодезических работ следует, по возможности, применять серийные приборы и оборудование.

Требования к точности геодезического обеспечения монтажных работ определяются в основном проектными и нормативными документами. Нормы точности на монтаж строительных конструкций задаются государственными нормативными документами (СНиПы и ГОСТы). Точностные характеристики на выверку технологического оборудования в основном определяются проектными требованиями, исходя из эксплуатационных параметров [6].

Несмотря на многообразие точностных требований к геодезическому обеспечению монтажных работ, их можно охарактеризовать обобщенными средними квадратическими ошибками [6]:

- при монтаже строительных конструкций – 1–5 мм;

- при установке заводского технологического оборудования – 0,5–1,0 мм;
- при высокоточной установке оборудования уникальных сооружений – 0,05–0,2 мм.

Перед началом монтажа оборудования и конструкций на их грани, плоскости и сферические поверхности наносят установочные риски, фиксирующие геометрические оси, высоты и центры симметрий [6].

Маркирование геометрических и технологических осей на конструкциях и оборудовании производят путем открасок или закрепления специальных знаков. Знаки, как правило, закрепляют на технологическом оборудовании, которое необходимо установить с высокой точностью [6].

Способы геодезических измерений, используемые при монтаже конструкций и оборудования, можно разделить на четыре основные группы (рис. 8.4).

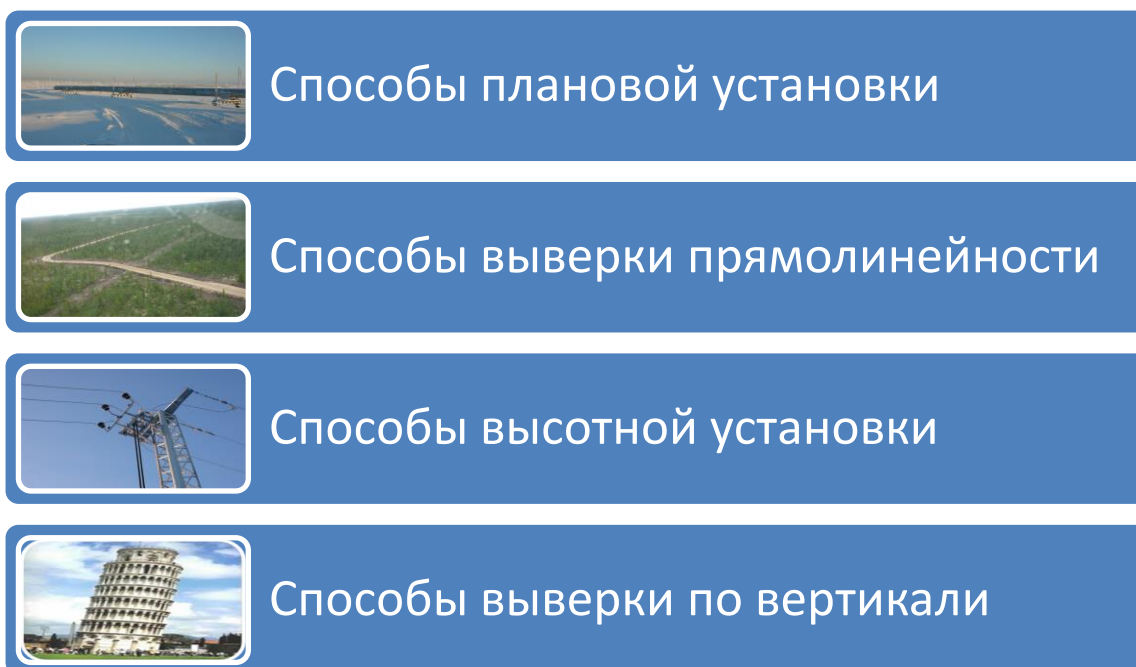


Рис. 8.4. Способы геодезических работ, используемые при монтаже конструкций и оборудования

### 8.2.2. Плановая установка

При всех способах плановой установки конструкций и оборудования положение устанавливаемого элемента определяется от заданной в натуре монтажной (разбивочной или технологической) оси, а положение устанавливаемого элемента – линейными промерами. Положение монтажной оси может быть задано струной либо оптическим (лазерным) прибором. В соответствии с заданием монтажной оси различают способы: струнный, струнно-оптический, способ оптического визирования.

В *струнном способе* по рискам, соответствующим главным разбивочным осям фундамента (рис. 8.5), натягивают струну, с которой

опускают отвесы на точки, расположенные на осях оборудования, и проверяют совпадение осей фундамента и агрегата.

По данным [6] ошибка этого способа при работе в закрытых помещениях составляет 2–3 мм на 100 м длины створа.

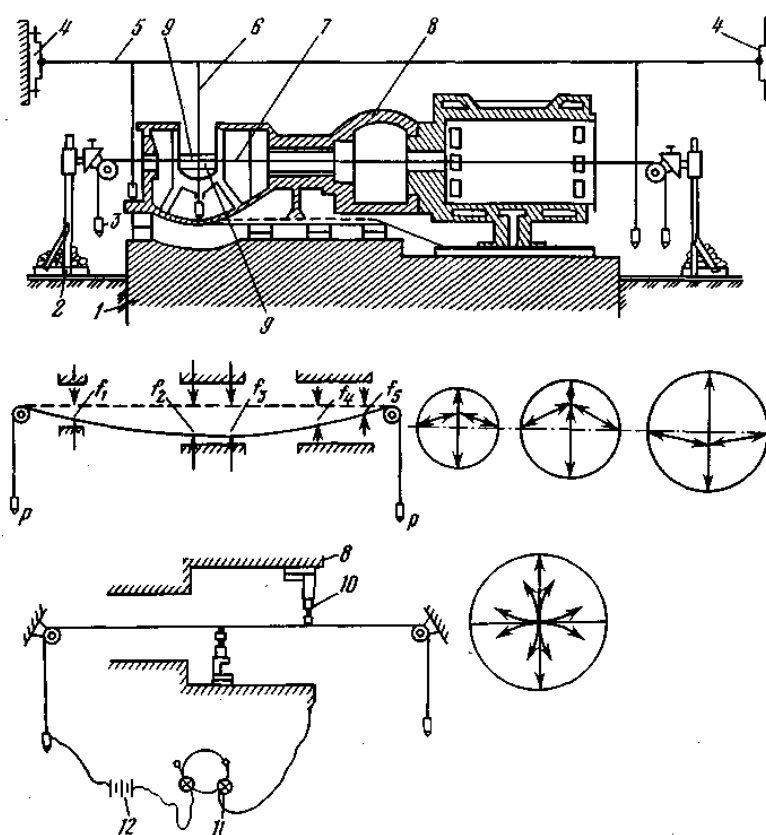


Рис. 8.5. Схема выверки положения главных осей оборудования ГКС при помощи струны: 1 – фундамент, 2 – подставка, 3 – груз, 4 – скоба, 5 и 7 – струны, 6 – отвес, 8 – рама, 9 – деревянные плашки, 10 – штихмас, 11 – сигнальная лампа, 12 – источник питания [31]

В струнно-оптическом способе положение монтажной оси также задается натянутой струной. С помощью теодолитов или приборов вертикального проектирования монтажную ось переносят на точки монтируемых элементов конструкций и оборудования (рис. 8.6) [6]. Если установку выполняют с помощью теодолита, то оборудование перемещают таким образом, чтобы точки а, б, в, г технологической оси оборудования попали в створ ориентированного по точке а', б', в', г' визирного луча теодолита. При работе с приборами вертикального проектирования их устанавливают и центрируют на точках а, б, в, г оборудования, которое затем перемещают до совпадения вертикальных лучей приборов с соответствующими точками а', б', в', г' струны. Одновременно производят установку оборудования по высоте.

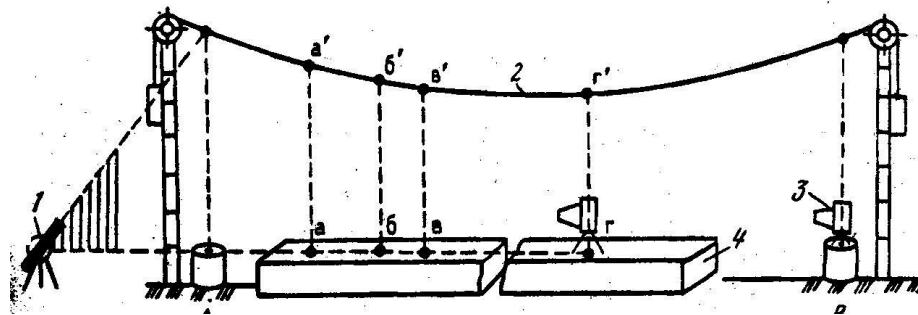


Рис. 8.6. Схема струнно-оптического способа установки конструкций: 1 – теодолит; 2 – струна; 3 – прибор вертикального проектирования; 4 – оборудование [6]

Наиболее простым и распространенным является способ оптического визирования. В этом способе монтаж конструкции и оборудования производится при помощи зрительной трубы и визирных марок. Монтажной осью служит линия визирования, задаваемая оптическим прибором – алиниомером<sup>2</sup>. Оптический створ может быть задан прямым визированием или визированием по частям.

В первом случае в начальной точке закреплённой монтажной оси устанавливают алиниомер (теодолит) и наводят на опорную визирную марку, установленную в конечной точке монтажной оси. В створ линии последовательно вводят марки, перемещая вместе с ними оборудование, либо сначала только измеряют отклонение технологической оси от монтажной. Ошибка визирования в линейной мере возрастает с увеличением расстояния от алиниомера до устанавливаемой точки.

При визировании по частям створ между опорными пунктами делят примерно на равные части и оборудование устанавливают независимо на каждом участке.

Для контроля установки оборудования начало и конец монтажной оси меняют местами и проверяют установку оборудования обратным ходом.

### 8.2.3. Способы выверки прямолинейности

Прямолинейность поверхностей проверяют предварительно выверенной линейкой (рис. 8.7), которую накладывают на поверхность, измеряя при этом зазор. Допустимая величина зазора составляет 0,02–0,04 мм на 1 м поверхности [31].

<sup>2</sup> Алиниомер – прибор для задания линии визирования. В качестве алиниомера применяют теодолиты, нивелиры и специальные оптические приборы, снабженные зрительной трубой большого увеличения и отсчетным устройством в виде окулярного микрометра или микроскопа [29].





Рис. 8.7. Проверка прямолинейности поверхности

При проверке прямолинейности плоскостей больших размеров применяют струну и *штихмас*. Струну (обычно диаметром 0,1– 0,2 мм) натягивают строго параллельно проверяемой плоскости (натяжение не должно превышать  $1/3$  предела прочности струны) и в нескольких точках штихмасом измеряют расстояние от струны до плоскости. Точность измерений должна быть не более  $0,02 \text{ мм}^3$  [31].

Кроме струнного и оптического способов выверки прямолинейности существуют и другие способы: коллиматорный, автоколлимационный, дифракционный, лучевой [6].

При лучевом способе опорная прямая задается с помощью лазерного нивелира или указателя направлений в виде узкого лазерного пучка. Положение контролируемых точек определяется с помощью фотоэлектронных регистрирующих устройств [6].

Проверка соосности. При монтаже поршневых компрессоров и двигателей внутреннего сгорания возникает необходимость проверить соосность отверстий (например, когда вал покоится на трех или более подшипниках). Для этого используют струны или световой луч (лазер). В первом случае по оси центрируемых отверстий натягивают струну (рис. 8.8). Одно из отверстий принимают за базу, остальные центрируют к нему, используя натянутую струну и штихмас. В каждом из отверстий замеры штихмасом производят в нескольких точках в двух взаимно перпендикулярных направлениях нормально к струне. Необходимо добиваться, чтобы для каждого отверстия  $a_1 = a_2 = a_3 \dots$  и  $b_1 = b_2 = b_3$  [31].

---

<sup>3</sup> Иногда точность обычных штихмасов (0,02 мм) бывает недостаточной, тогда применяют электро-штихмас. В момент соприкосновения штихмаса со струной электрическая цепь замыкается и загорается сигнальная лампа. Точность электроштихмаса 0,01 мм.

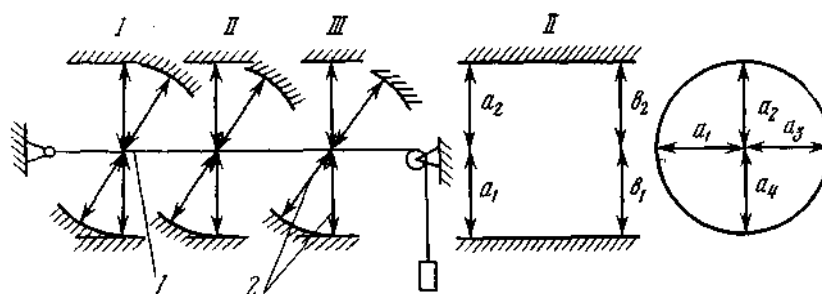


Рис. 8.8. Схема проверки соосности отверстий по струне: I – базовое отверстие; II и III – центрируемые отверстия: 1 – струна, 2 – замеры штихмасом [31]

Световым лучом (лазером) соосность отверстий проверяют следующим образом (рис. 8.9). В центрируемые отверстия вставляют металлические диски с передвижными мишенями. В мишенях имеются отверстия диаметром 0,7–1,0 мм для прохождения света. За крайним диском устраивают источник света. Перемещая мишени всех дисков, добиваются, чтобы световой луч проходил через все отверстия мишеней. Так как оси отверстий мишеней могут не совпадать с центровыми рисками дисков на  $l_1$  по горизонтали и  $l_2$  по вертикали, то вначале выверяют ось каждого отверстия, перемещая центрируемые детали, а затем повторяют проверку соосности [31].

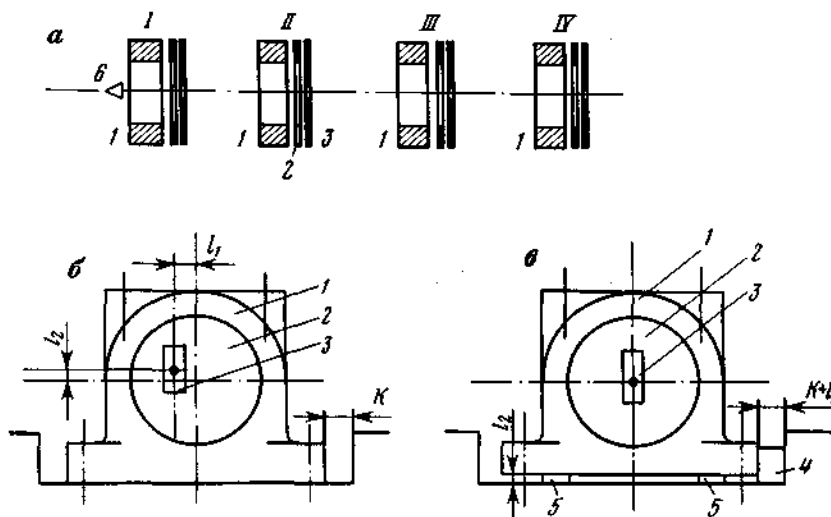


Рис. 8.9. Схема проверки оборудования световым лучом «лазером»: а – схема центрирования: I – базовый подшипник, II, III, IV – центрируемые подшипники; б – положение мишени относительно центра отверстия при прохождении светового луча через все мишени (отверстия мишени и центр отверстия подшипника не совпадают); в – положение мишени относительно центра отверстия после центрирования (отверстие мишени совпадает с центром отверстия подшипника); 1 – подшипник, 2 – щиток, 3 – мишень, 4 – клин, 5 – подкладка, б – источник света (лазер) [31]

#### 8.2.4. Способы геодезического контроля установки строительных конструкций и оборудования по высоте

Для высотной установки и выверки конструкций и оборудования применяют различные способы (рис. 8.10).

## Высотная установка конструкций и оборудования

Геометрическое нивелирование

Микронивелирование

Гидронивелирование

Индикаторный способ

Использование уровней (ватерпасов)

Рис.8.10. Способы высотной установки конструкций и оборудования

Способ геометрического нивелирования является самым распространенным для определения в натуре проектных высот. В зависимости от требуемой точности и выбранной схемы измерений применяют нивелирование различных классов [6].

При установке строительных конструкций, как правило, требуется сравнительно невысокая точность, соответствующая нивелированию III и IV классов. При этом используют нивелиры средней точности типа Н-3 и стандартные шашечные рейки. Отметки на конструкции переносят в виде карандашных рисок или открасок [6].

При выполнении строительно-монтажных работ наиболее высокие требования предъявляются к установке по высоте металлических конструкций и закладных деталей. Применяя те же методы нивелирования более высокой точности (порядка 1 мм) добиваются путем уменьшения расстояний от нивелира до реек (длин плеч) [6].

Для производства геометрического нивелирования при монтаже технологического оборудования применяют наиболее точные приборы и методику нивелирования. Используют прецизионные нивелиры типа Н-05, штриховые рейки с инварной полосой, специальные малогабаритные реечки или точные металлические линейки с миллиметровыми делениями. В этом случае способом геометрического нивелирования можно определять разности высот точек, расположенных на расстоянии 5–15 м, со средней квадратической ошибкой 0,02–0,05 мм и на несколько сотен метров – с ошибкой до 0,2 мм [6].

*Микронивелирование* используют для приведения в горизонтальное положение опорных плоскостей и точек строительных конструкций и технологического оборудования. Выполняется оно при помощи монтажного уровня или специального микронивелира [6].

Микронивелир (рис. 8.11) состоит из подставки 1 с двумя опорами – подвижной 5 и неподвижной 6, с помощью которых он устанавливается на выверяемые точки. Перемещение подвижной опоры по высоте определяется при помощи часового индикатора 3 с ценой деления 0,01 мм. Расстояние

между опорами является базой микронивелира, обычно не превышающей 1,5 м. К подставке жестко крепится цилиндрический уровень 2 с ценой деления 5–8". Приведение пузырька уровня в нуль-пункт осуществляется при помощи подъемного винта 4 [6].

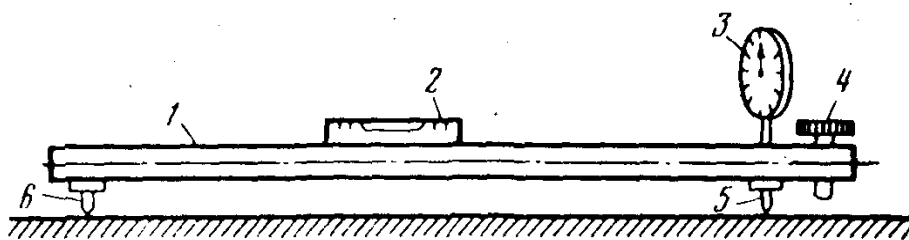


Рис. 8.11. Конструктивная схема микронивелира [6]

Микронивелирование выполняют следующим образом. Установив микронивелир на выверяемые точки, подъемным винтом приводят пузырек уровня в нуль-пункт и берут отсчет по индикатору. Переставив прибор в тех же точках на  $180^\circ$  и приведя вновь пузырек уровня на середину, берут второй отсчет по индикатору. Превышение на станции равно полуразности этих отсчетов [6].

Приборная точность микронивелира характеризуется средней квадратической ошибкой определения превышения, равной 0,01 мм. При помощи микронивелира можно определять превышения последовательно от одной точки выверяемой поверхности к другой, т. е. прокладывать микронивелирный ход [6].

Ошибку передачи отметки в микронивелирном ходе (в мм) длиной  $L$  и базой прибора  $b$  можно подсчитать по формуле [6]

$$m_{\text{п}} = 0,01 \sqrt{\frac{L}{b}}. \quad (8.1)$$

Приняв  $b = 1,0$  м,  $L = 100$  м, получим  $m_{\text{п}} = 0,1$  мм.

*Гидронивелирование* применяют для выверки по высоте опорных плоскостей строительных конструкций и технологического оборудования в условиях, когда выполнение геометрического нивелирования затруднено [6].

Различают гидромеханическое, гидродинамическое и гидростатическое нивелирование. Из всех способов гидронивелирования гидростатический является наиболее распространенным и пригодным для геодезических измерений при выполнении монтажных работ [6].

В основе способа гидростатического нивелирования лежит свойство жидкости устанавливаться в сообщающихся сосудах на одном горизонтальном уровне. Так в сообщающихся сосудах 1 и 2 (рис. 8.12), установленных на выверяемых точках А и В, между которыми определяется превышение  $h$ , жидкость находится в состоянии гидродинамического равновесия и определяет положение уровенной поверхности. Если сосуды одинаково оцифровать от нижних опорных точек, например, через миллиметры, то, измерив высоты столбов жидкости  $d_1$  и  $d_2$ , можно вычислить

превышение  $h = d_1 - d_2$ . Такой способ недостаточно точен и используется лишь в строительных гидростатических уровнях [6].

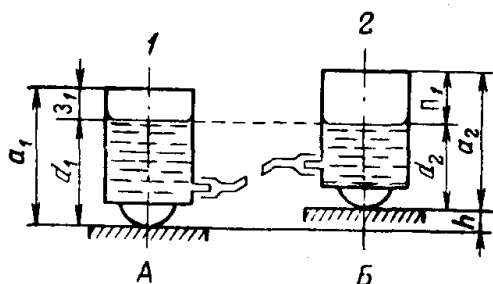


Рис. 8.12. Схема определения превышения при помощи гидростатической системы [6]

Регистрация уровня жидкости в точных гидростатических системах осуществляется визуальным, электроконтактным, фотоэлектрическим и другими способами. К визуальным системам относятся широко распространенные приборы УГС модели 114 и 115 и прибор Мейссера (ФРГ) (рис. 8.13), которые являются приборами переносного типа. Прибор УГС состоит из двух измерительных сосудов, соединенных между собой водяным и воздушным гибкими прозрачными шлангами. Каждый измерительный сосуд имеет микрометрический винт с острием [6].

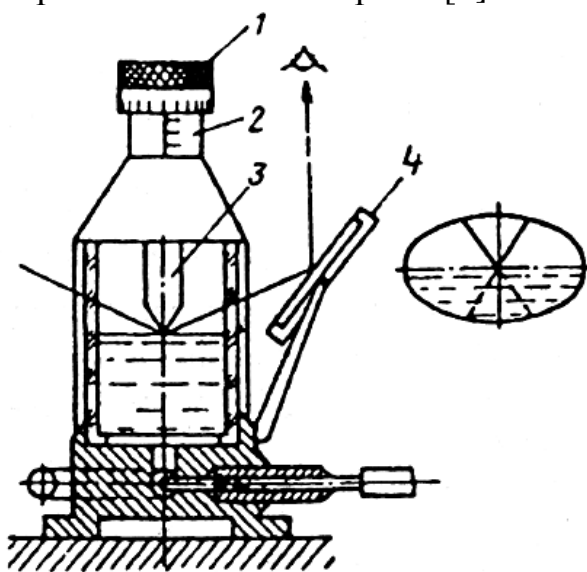


Рис. 8.13. Контактно-визуальный гидростатический нивелир<sup>4</sup> [4]

<sup>4</sup> В контактно-визуальных гидростатических **нивелирах** определяют момент касания острием измерительного штока 3 уровня жидкости. В зеркале 4 при вращении микрометрического винта 1 наблюдают сближение острием действительного и отраженного штока. Отсчитывают по шкале 2 микрометрического винта. На этом принципе основаны конструкции гидростатических нивелиров. В них при превышениях 25–100 мм средняя квадратическая ошибка измерений равна 0,01–0,02 мм. Стационарные автоматизированные системы с дистанционным съемом информации используют для наблюдения за осадками сооружений. В них положение уровня жидкости в сосудах определяют автоматически с помощью электрических или оптико-электронных датчиков [4].

На нивелируемые поверхности сосуды устанавливают плоскими пятнами. При измерении отсчеты берут по шкале винта до 0,01 мм в момент контакта острия с уровнем жидкости. Диапазон измеряемых превышений 25 мм (в приборе Мейссера – до 100 мм), приборная точность характеризуется средней квадратической ошибкой 0,02– 0,05 мм [6].

На точность гидростатического нивелирования существенное влияние оказывают внешние условия (главным образом, из-за разности температур в сосудах и водяном шланге). Для уменьшения этого влияния гидростатическую систему располагают вдали от сильных источников нагрева, а шланги стараются укладывать горизонтально [6].

*Индикаторный способ* применяют для окончательной установки выверяемых точек на проектную отметку, если из предварительных измерений известны точные фактические отметки этих точек [6].

Над выверяемыми точками оборудования, например, А и В (рис. 8.14), устанавливают индикаторное устройство, состоящее из подставки со стойкой, передвижного мостика с уровнем и часового индикатора. Если к отсчету по индикатору при его опирании на выверяемую точку прибавить разность между проектной и фактической отметками, то получится отсчет, до величины которого надо поднять или опустить оборудование, чтобы его фиксированная точка находилась на проектной отметке [6].

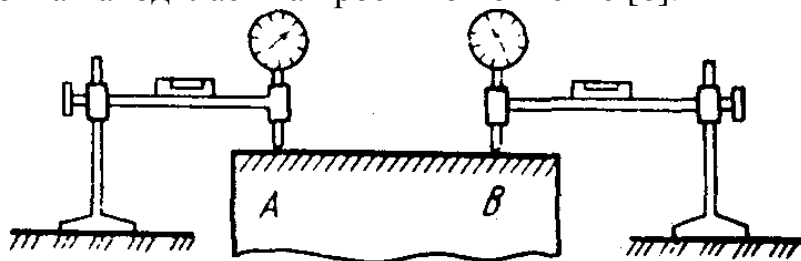


Рис. 8.14. Схема индикаторного способа выверки конструкций и оборудования [6]

В вертикальной плоскости оборудование выверяют, чтобы установить его строго горизонтально, не меняя положения относительно главных осей. Выверку горизонтальной плоскости выполняют [31]:

- на специальных домкратах, устанавливаемых на фундамент; после затвердения подливки их убирают;
- на нивелировочных (регулируемых) встроенных болтах, опирающихся нижним закругленным концом на металлическую подкладку; после затвердения подливки их отпускают;
- на специальных клиновых подкладках; клинья изготовляют из стали с уклоном от 1:30 до 1:40 так, чтобы при любом взаимном расположении пары клиньев сохранялась параллельность поверхностей, контактирующих с фундаментом и рамой агрегата;

- на плоскопараллельных металлических подкладках различной толщины, чтобы можно было подобрать необходимую высоту [31].

Установку оборудования в вертикальной плоскости проверяют при помощи нивелиров и слесарных уровней, у которых цена деления в  $1^\circ$  соответствует уклону 0,1 мм/м [31].

Слесарный уровень представляет собой металлический корпус длиной 200–300 мм, внутри которого помещена стеклянная трубка, заполненная эфиром или этиловым спиртом. При установке уровня на плоскость, положение которой отклонено от горизонтального, пузырёк смещается (рис. 8.15).

Рамный уровень служит для определения отклонений от горизонтального и вертикального положений различных поверхностей. Размеры уровня 200x300 и 300x300 мм. Состоит из корпуса 1, основной (продольной) 2 и установочной (поперечной) 3 ампул (рис. 8.15). По основной шкале определяют величину и направление отклонения [33].

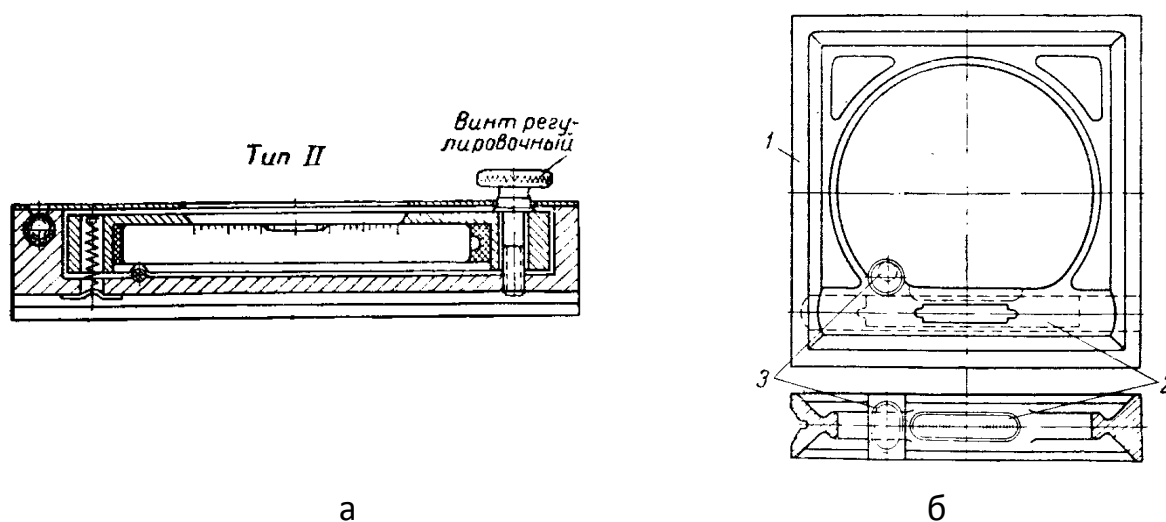


Рис. 8.15. Уровни: а – слесарный, б – рамный; [33]

### 8.2.5. Способы геодезического контроля установки конструкций и оборудования по вертикали

Установку конструкций и оборудования в вертикальное положение производят различными способами в зависимости от требуемой точности (рис. 8.16).

## Установка конструкций и оборудования по вертикали

Проектирование  
наклонным  
лучом

Боковое  
нивелирование

Автоколлимация

Способ  
оптической  
вертикали

Способ  
отвесов

Рис. 8.16. Способы установки и выверки конструкций и оборудования по вертикали

*Способ отвесов* применяется в основном для предварительной установки и при работах сравнительно невысокой точности. Обычно используют тяжелые отвесы, погруженные в жидкость (в воду или в масло) для уменьшения их колебаний. Ошибка этого способа характеризуется величиной  $0,001h$ , где  $h$  – высота конструкции [6].

Для автоматизации и повышения точности измерений применяют электронный центрир, в котором вертикаль задается стальной струной, а отклонение от нее выверяемой конструкции измеряется при помощи индуктивного датчика, жестко связанного с этой конструкцией [6].

*Способ проектирования наклонным лучом* применяют при установке строительных конструкций. Выполняют его при помощи теодолита. Рассмотрим его на примере самого распространенного случая – вертикальной установки колонн здания. Пусть колонну, установленную в проектное положение в нижнем сечении (рис. 8.17), необходимо установить по вертикали. Перед установкой колонны выполнена ее разметка, определяющая положение геометрической оси. По направлению, перпендикулярному одной из плоскостей колонны, устанавливают и нивелируют теодолит. Вертикальный штрих сетки нитей теодолита совмещают с риской в нижнем сечении колонны. Трубу теодолита поднимают до уровня верхней метки. Наклоняя колонну, добиваются совмещения верхней риски с вертикальным штрихом сетки. Совмещение верхней и нижней меток с этим штрихом свидетельствует о вертикальности колонны. Аналогичные действия выполняют по другому направлению, перпендикулярному первому [6].



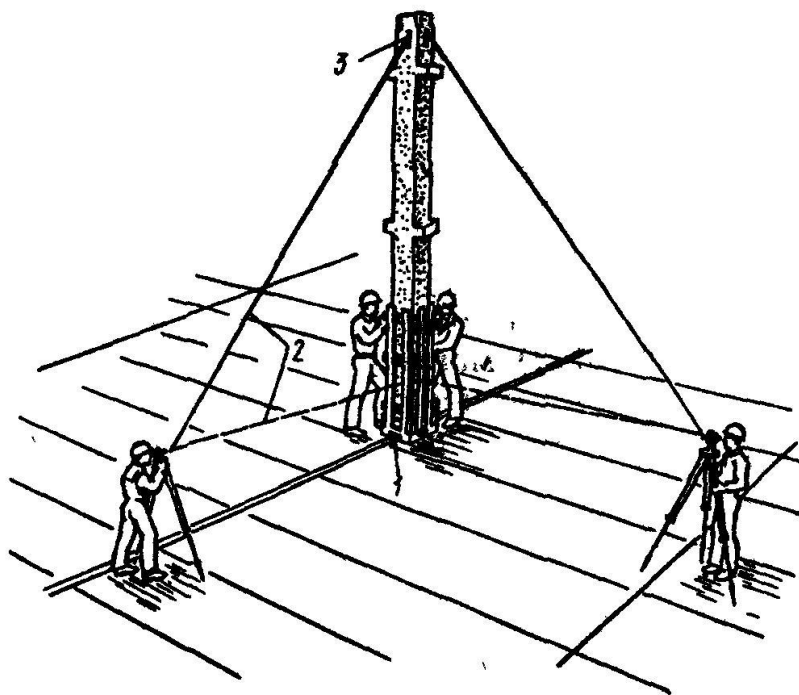


Рис. 8.17. Установка колонн по вертикали: 1 – ориентирная риска, 2 – визирный луч, 3 – установочная риска [35]

К числу основных источников ошибок способа можно отнести: наклон вертикальной оси вращения теодолита; влияние ошибки визирования и нестворность установки теодолита [6].

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

$$m_\tau = \frac{0,5\tau''h}{\rho''}, \quad (8.2)$$

где  $\tau$  – цена деления уровня на алидаде горизонтального круга теодолита;  $h$  – высота конструкции. Приняв  $h = 10$  м,  $\tau = 20''$ , для теодолита 2Т2 получим  $m_\tau = 0,5$  мм, что для монтажа строительных конструкций вполне допустимо. Однако эта ошибка возрастает с увеличением высоты [6]. Ошибка визирования подсчитывается так же, как и в створных построениях [6].

Влияние нестворности установки теодолита зависит от плана расположения осевых меток. Если они находятся на одной вертикали, то нестворность установки теодолита не имеет существенного значения. В противном случае допустимая нестворность  $\Delta_n$  установки теодолита, зависящая от несовпадения проекций верхней и нижней осевых меток  $r$  и расстояния  $S$  от теодолита до конструкции, может быть вычислена по формуле [6]

$$\Delta_n = \frac{\Delta_r S}{r}, \quad (8.3)$$

где  $\Delta_r$  – допустимая величина ошибки неперпендикулярности конструкции. Приняв  $\Delta_r = 1$  мм,  $S = 20$  м и  $r = 50$  мм, получим  $\Delta_n = 0,4$  м. Полученная величина указывает на необходимость довольно точной установки теодолита в створе [6].

*Способ оптической вертикали* предусматривает применение различного рода оптических проектирующих приборов с уровнем или компенсатором [6].

Основными ошибками способа оптической вертикали являются: центрирования прибора над исходным пунктом; приведения линии визирования в вертикальное положение; визирования на марку или отсчета по штрихам палетки; фиксирования точки; влияние внешних условий [6].

Из опыта установлено, что инструментальная точность приборов вертикального проектирования с компенсатором характеризуется средней квадратической ошибкой 0,5...1 мм на 100 м высоты [6].

*Способ бокового нивелирования* для разметки колонн был описан ранее (см. п. 6.2). Для установки колонны по вертикали рейка устанавливается еще и в верхнем сечении (см. рис. 6.15). Колонну можно считать установленной по вертикали в случае совпадения отсчетов по рейкам в нижнем и верхнем сечениях. Очевидно, что для установки колонны в направлении, перпендикулярном створу оси  $AB$ , необходимо переставить теодолиты на  $90^\circ$  и выполнить аналогичные действия [6].

Точность установки колонны по вертикали способом бокового нивелирования будет в основном зависеть от ошибки неперпендикулярности рейки к направлению визирования теодолитом, ошибки отсчета по рейке и ошибки за наклон вертикальной оси теодолита [6].

Первая из ошибок может быть подсчитана по формуле [6]

$$m_H = \frac{lv^2}{2\rho^2}, \quad (8.4)$$

где  $l$  – отсчёт по рейке,  $v$  – угол отклонения рейки от перпендикулярного направления. Приняв  $l = 1500$  мм и  $v = 2^\circ$ , получим  $m_H = 0,8$  мм.

Ошибку отсчёта по рейке можно вычислить по формуле

$$m_0 = 0,03t + 0,2 \frac{S}{\Gamma^x}, \quad (8.5)$$

где  $t$  – цена деления рейки,  $S$  – расстояние от теодолита до рейки, м. При  $t = 10$  мм,  $S = 50$  м и  $\Gamma = 25^x$  будем иметь  $m_0 = 0,7$  мм [6].

Ошибка за наклон вертикальной оси теодолита подсчитывается по формуле (8.2). Приняв  $h = 10$  м и  $\tau = 20''$ , получим  $m_\tau = 0,5$  мм.

Для приведенных данных суммарная ошибка вертикальной установки колонны в одном направлении будет равна [6]

$$m = \sqrt{(0,8)^2 + (0,7)^2 + (0,5)^2} = 1,2 \text{ мм.}$$

В *способе автоколлимации* к устанавливаемой в вертикальное положение конструкции 1 крепится хорошо шлифованное плоское зеркало 2

(рис. 8.18). На некотором расстоянии от зеркала устанавливают и приводят в горизонтальное положение нивелир 3, снабженный автоколлимационным окуляром<sup>5</sup>. Выверяемую конструкцию вместе с зеркалом наклоняют до тех пор, пока в поле зрения трубы нивелира не совпадут прямое и отраженное от зеркала изображения светового горизонтального индекса [6].

Для исключения ошибки за непараллельность плоскости зеркала выверяемой плоскости конструкции зеркало поворачивают на 180° так, чтобы его опорные поверхности поменялись местами. После этого выверку вертикальности повторяют вновь [6].

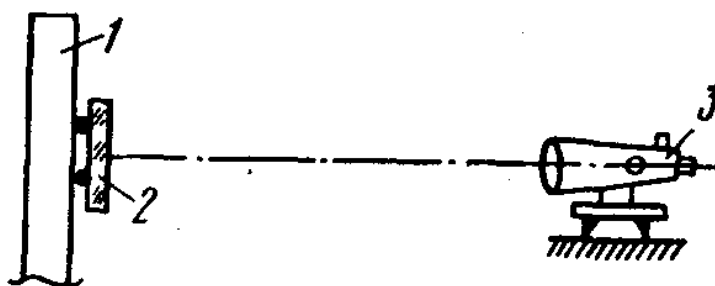


Рис. 8.18. Схема установки конструкции по вертикали автоколлимационным способом [6]

### 8.3. Особые случаи геодезических разбивочных работ

#### 8.3.1. Разбивка и выверка подкрановых путей

На многих предприятиях для подъёма грузов сооружают мостовые краны, состоящие из металлического моста на ходовых колёсах, перемещающегося по рельсам, лежащим на подкрановых балках высоко над землёй.

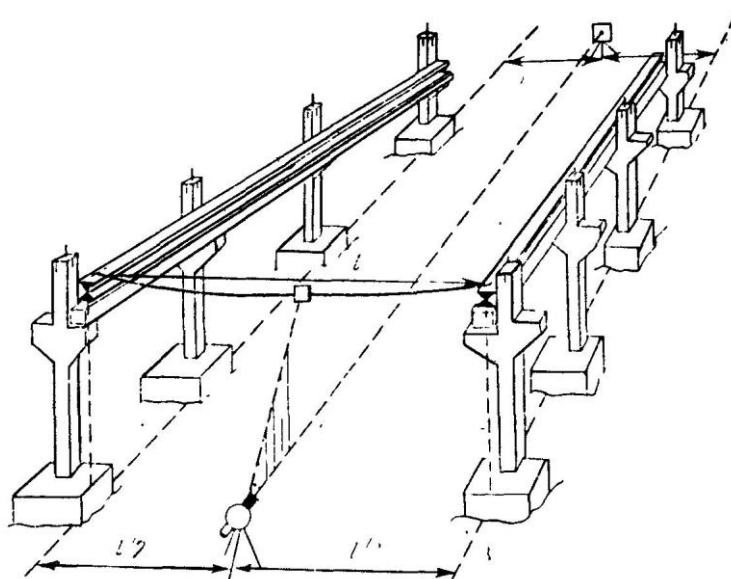
При монтаже оси рельсов разбивают от основных осей сооружений (оси колонн или оси пролёта – продольной оси симметрии подкрановых путей) и выносят на боковую поверхность колонн или на специальные кронштейны над балками. На рис. 8.19 показана схема разбивки осей рельсов внизу от оси пролёта. Перпендикулярно от оси пролёта откладывают проектное расстояние  $l/2$  между осью рельса и осью пролёта. Разбивку точек оси проводят равномерно вдоль подкранового пути, не реже чем через 50-60 м. Точки полученной оси закрепляют и выносят на монтажный горизонт, где закрепляют на колоннах или на кронштейнах. Приведённый вариант разбивки возможен в случае, если ширина колеи не превышает длину мерного прибора.

---

<sup>5</sup> Автоколлимационный окуляр *коллиматора* – имеет в фокальной плоскости крест нитей, который после отражения лучей зеркалом 15 будет изображаться, при определенных условиях, в фокальной плоскости того же окуляра. Поворотом задней бабки в двух плоскостях изображение креста нитей может быть совмещено с самим крестом [1].

В некоторых случаях положение разбивочных осей обоих ниток рельсов определяют относительно оси пролёта с помощью теодолита и рулетки (рис. 8.19). На рис. изображена схема разбивки для случая, когда длина мерного прибора больше ширины колеи. При этом положение разбивочных осей обеих ниток рельсов определяют относительно оси пролёта. Теодолит устанавливают на точке оси и визируют на дальнюю марку. Далее вычисляют угол наклона, соответствующий положению оси между рельсами, фиксируют положение оси пролета (маркой на рулетке) и положение обеих осей рельсов на колоннах или на кронштейнах. Разбивку выполняют при двух положениях вертикального круга.

В процессе эксплуатации мостовых кранов контролируют геометрические параметры подкрановых путей, так как из-за силовых нагрузок возможны деформации подкрановых балок, осадка колонн и др.



*Рис. 8.19. Схема разбивки осей рельсов подкранового пути [6]*

В процессе контроля за монтажом и состоянием подкрановых путей проводят следующие геодезические работы (рис. 8.20).

Геодезические работы			
Контроль расстояния между рельсами	Определение прямолинейности	Определение разности отметок между головками двух рельсов в поперечном сечении	Определение разности отметок рельса на соседних колоннах
10 мм при укладке	15 мм при укладке	15 мм при укладке	10 мм при укладке
15 мм при эксплуатации	20 мм при эксплуатации	20 мм при эксплуатации	15 мм при эксплуатации

Рис. 8.20. Основные требования к параметрам подкранового пути, контролируемым геодезическими методами

Расстояние между рельсами чаще определяют непосредственно, с помощью компарированной рулетки с учетом поправок за температуру и провис ленты. Существуют и другие способы измерения расстояний между рельсами, например, основанные на построении линейно-угловых геодезических систем (прямой угловой засечки в сочетании с линейной засечкой либо раздельно каждой из них). В этом случае на полу в пролёте разбивают базис, относительно которого прямой угловой засечкой определяют положение рельсов.

Для определения высотного положения рельсов чаще всего используют метод *геометрического нивелирования* (рис. 8.21, а). Нивелир устанавливают на кране или на полу, а на конструкциях мостового крана подвешивают отвес с прикрепленной к нему шкалой с миллиметровыми делениями (в одной или двух точках). При прокатке крана берут отсчеты и составляют профили, по которым судят о высотном положении головок рельсов. В некоторых случаях используют *тригонометрическое нивелирование* (рис. 8.21, б) – если установить нивелир невозможно и когда определяют плановое положение рельсов методов угловой засечки. На каждой станции вертикальные и горизонтальные углы определяют одновременно.

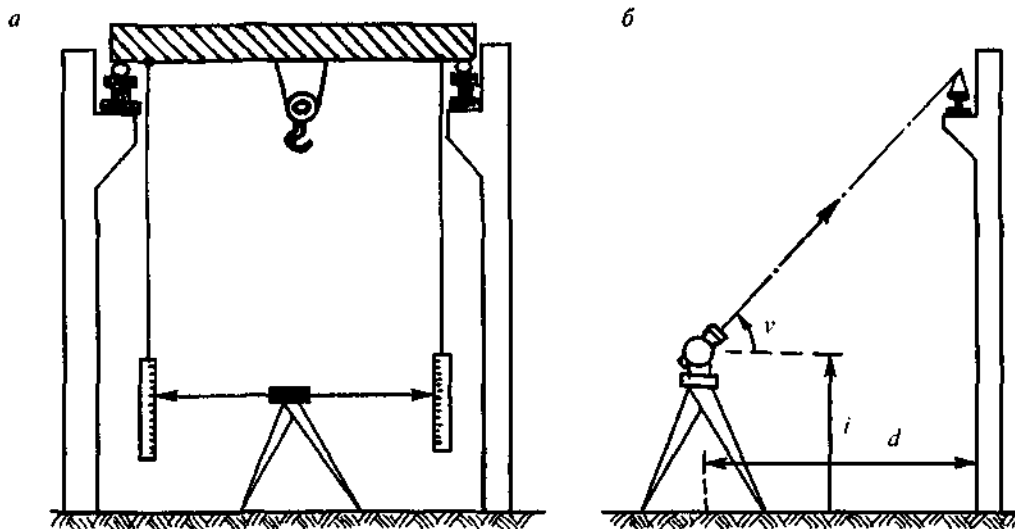


Рис. 8.21. Нивелирование подкрановых путей: а – геометрическое нивелирование; б – тригонометрическое нивелирование [17]

В настоящее время проверку прямолинейности рельсов производят с помощью лазерных приборов (метод оптического створа или оптической струны). Лазер устанавливают на одном из концов рельсового пути и наводят световое пятно на центр экрана с делениями, установленного на другом конце. При прокатке экрана отклонение рельса в горизонтальном направлении фиксируется непосредственно на экране [17].

Лазерный пучок, направленный на некоторой высоте вдоль оси подкранового рельса, является базисной линией, относительно которой с помощью экрана-марки определяется правильность монтажа и деформации головки рельса как в плане, так и по высоте.

### 8.3.2. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа

Сооружения башенного типа – это различные объекты, имеющие большую высоту при сравнительно малой опорной площади (рис. 8.22).



Градирня (160 м)



Водонапорная башня



Дымовая труба (до 320-400 м)



Рис. 8.22. Виды сооружений башенного типа

*Гради́рня* – сооружение, предназначенное для охлаждения воды. *Копер* сооружают над стволом шахты; он служит для подъема на поверхность и спуска в шахту механизмов и оборудования, руды и породы, людей [17]. К сооружениям башенного типа можно отнести и резервуары для нефти.

Строительство сооружений башенного типа требует выполнения специальных геодезических работ согласно схеме на рис. 8.23.

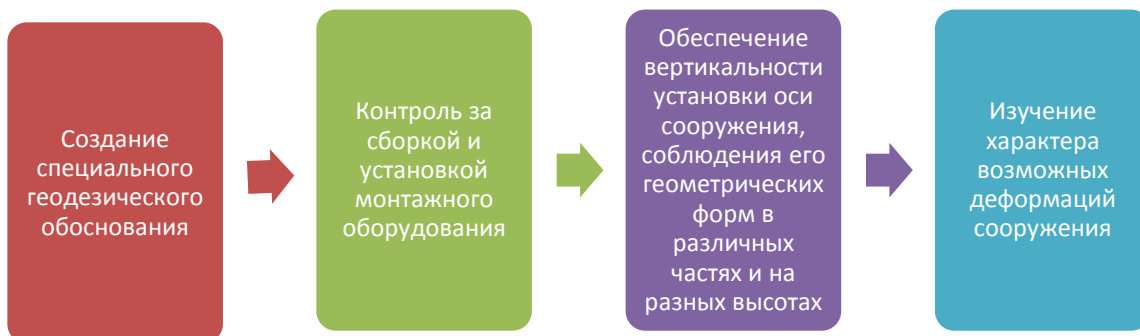
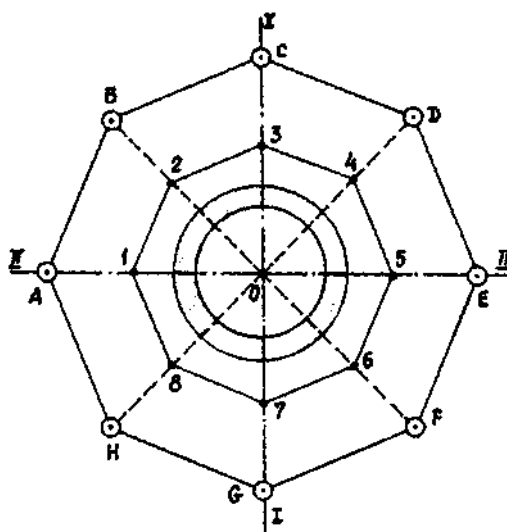


Рис. 8.23. Виды геодезических работ при строительстве сооружений башенного типа

Для высоких и конструктивно сложных башенных сооружений опорная сеть создается на окружностях различных радиусов – опорная внешняя сеть (A, B, C, D, E, F, G, H) и рабочая технологическая основа (1,2, 3,4, 5,6,7,8) (рис. 8.24) [17].

Для сравнительно невысоких башенных сооружений строится только внешняя опорная сеть. Для этого от пунктов геодезической основы строительной площадки выносят центр сооружения, относительно которого разбивают главные оси. На осях разбивают положение опорных пунктов, закрепляют их знаками.



*Рис. 8.24. Геодезическая разбивочная основа для строительства башенных сооружений [17]*

Для создания высотной основы вблизи сооружения закладывают не менее трех грунтовых реперов, исходные высоты которых используют для строительномонтажных работ, а также при наблюдениях за деформациями [17].

При строительстве сооружений башенного типа используются известные приёмы геодезических работ. Способом вертикального проектирования переносят вертикальные оси с горизонта на горизонт, контролируют отклонение сооружений от вертикали. Передают высоту с одного монтажного горизонта на другой способом геометрического нивелирования.

### **8.3.3. Особенности геодезических разбивочных работ при переходе через водные преграды**

Для перехода через водные преграды на линейной части магистральных трубопроводов строят подводные (подземные) и надводные (надземные) переходы.

#### **8.3.3.1. Особенности геодезических разбивочных работ при строительстве надводных переходов**

Для надземных переходов трубопроводов через препятствия в большинстве случаев применяют балочные, довольно редко арочные, а в последние годы все чаще – висячие системы различных типов. Аналогичные решения (кроме арочных) используют и на прямых участках магистральных линий, а также на отводах и разводках внутри препятствий (технологические трубопроводы) [31].

Применяющиеся в настоящее время системы висячих трубопроводных переходов можно разбить на четыре основные группы [31] (рис. 8.25):



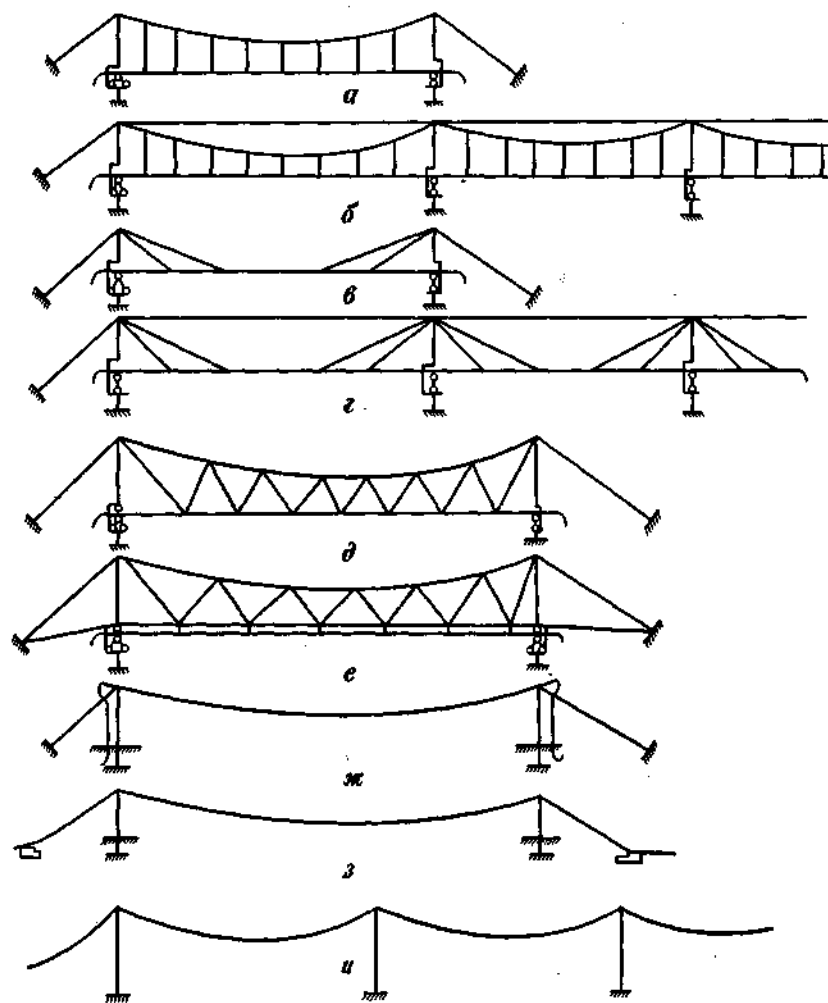


Рис. 8.25. Схемы висячих переходов: а, б – переходы с одноцепными висячими фермами; в, г – с Байтовыми фермами радиальной системы; д, е – с Байтовыми фермами и треугольной решеткой; ж – и – переходы в виде провисящей нити [31]

Плановую разбивочную сеть создают методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии (традиционные методы), либо линейно-угловыми измерениями.

В обоих случаях измерения в разбивочных сетях имеют особенности, обусловленные местными условиями: необходимость измерений над водной поверхностью и, как правило, отсутствие видимости вдоль берегов из-за застройки или залесенности поймы [31].

Не только линейные, но и угловые измерения через водные преграды имеют ряд особенностей. Дело в том, что при коротких (по сравнению с государственными геодезическими сетями) длинах сторон требуемая точность угловых измерений может быть сравнительно высока ( $m = 5''$  и менее). Углы приходится измерять при неблагоприятных внешних условиях – в неоднородном поле рефракции, поскольку луч визирования проходит частью над сушей, частью над водной поверхностью. Для уменьшения боковой рефракции нужно стремиться измерять углы в пасмурные дни с легким ветром, чередуя утренние и вечерние наблюдения. Повышение

точности достигается также многократными измерениями с повторным центрированием прибора и визирных целей [31].

Традиционная схема разбивочной сети включает ось висячего перехода трубопровода, как одну из сторон сети, и еще, как минимум, две стороны, пересекающие реку и служащие базисами разбивки (базисы засечек при разбивке центров пилонов). В силу специфики висячего перехода (вытянутое узкое сооружение, примерно перпендикулярное к руслу) базисы разбивки, как правило, приблизительно параллельны оси перехода. Пункты, закрепляющие ось перехода и базисы разбивки, и составляют разбивочную сеть [31].

На схеме (рис. 8.26, а) базисом разбивки служит сторона СД, контроль обеспечивается визированием по оси перехода АВ. На схеме (рис. 8.26, б) стороны СД и ЕГ служат базисами разбивки, а ось моста АВ привязана к его пунктам дополнительными угловыми построениями [31].

Поскольку положение пунктов разбивочных сетей может изменяться как в силу естественных условий (оползни, паводки, морозное пучение и т. п.), так и в результате строительных работ, необходимы контрольные измерения. Если между построением сети и началом разбивочных работ существует значительный разрыв во времени, то перед началом последних выполняют повторные измерения сети. Кроме того, сохранность и незыблемость опорных пунктов должна контролироваться не реже двух раз в год строительной организацией. Для рек с низкой поймой и большой шириной разлива этот контроль целесообразно производить после каждого большого паводка. Одновременно с контрольными измерениями определяют дополнительные или восстанавливают утраченные пункты, включают в сеть или определяют засечками центры уже построенных пилонов. Если в разбивочной сети не обеспечивается видимость с земли, то при повторных измерениях заново определяют элементы приведения [31].

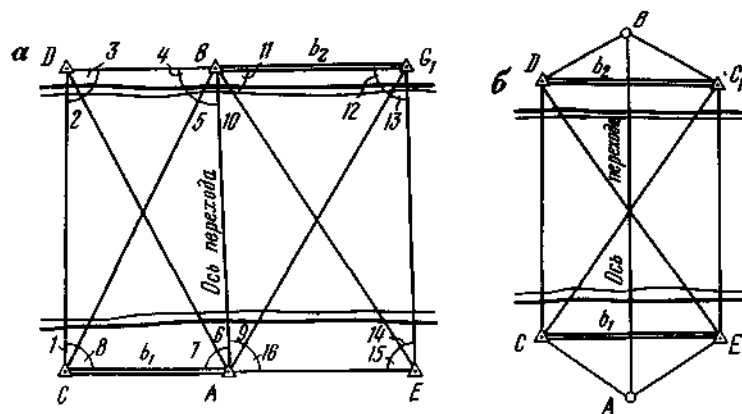


Рис. 8.26. Схема триангуляции для висячего перехода трубопровода [31]

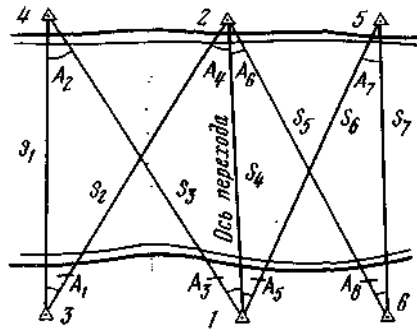


Рис. 8.27. Схема линейно угловой сети через водные преграды [31]

Для водных переходов создан новый метод построения разбивочных сетей, представленный на рис. 8.27, в которых рационально сочетаются угловые и линейные измерения, создавая благоприятные условия работ на переходе [31].

Основной фигурой сети служит базовый треугольник 1–2–3–4, в котором измеряют углы  $A_1, A_2, A_3, A_4$  и стороны  $S_1, S_2, S_3, S_4$ ; измерения вдоль берегов не ведутся. Основные достоинства таких сетей состоят в том, что [31]:

- обеспечивается точность при сравнительно небольшом объеме угловых и линейных измерений;
- точность определения длин и дирекционных углов базисов разбивки практически не зависит от формы сети;
- отсутствие коротких направлений вдоль берегов повышает точность угловых измерений и позволяет выполнять все угловые наблюдения при приблизительно однородном поле рефракции;
- отпадает необходимость в строительстве дорогостоящих наружных знаков, так как видимость через реку обеспечивается с земли;
- появляются большие возможности выбора расположения базисов разбивки опор, так как отпадает необходимость в видимости вдоль берегов, что значительно упрощает построение сети.

Основной схемой здесь служит сеть из двух базовых треугольников, включающая ось моста 1–2, в этом построении два базиса разбивки 3–4 и 5–6. В ряде случаев возможны и более сложные сети [31].

Высотная геодезическая основа создается для обеспечения отметками топографических съемок, гидрогеологических и геологических изысканий, разбивочных работ и контрольных наблюдений, выполняемых при строительстве и эксплуатации висячего перехода трубопровода [31].

Постоянные реперы закладывают на обоих берегах. Реперы, расположенные вне зоны строительных работ, служат главным образом для контроля за положением заложенных вблизи висячих переходов. Помимо постоянных на строительной площадке устанавливают сеть рабочих реперов, от которых передают проектные отметки на все возводимые сооружения висячего перехода [31].

Строительство вантовых и висячих мостов связано с возведением пилонов высотой до 50 – 150 м. Геодезическое обеспечение возведения таких высотных сооружений на водной поверхности требует применения специальных приборов и методов [31].

Использование лазерных приборов вертикального проецирования позволяет передавать проектные оси на монтажные горизонты и контролировать установку опалубки, не нарушая технологического процесса [31].

### 8.3.3.2. Особенности геодезических работ при строительстве подводных переходов

Подводный переход является наиболее ответственным гидротехническим сооружением, ибо выпуск продукта в водоток или водоем может привести к загрязнению окружающей среды, нанести невосполнимый ущерб флоре и фауне, вызвать пожары, нарушение нормальной работы промышленных предприятий, оставить на определенное время населенные пункты и целые города без топлива и энергии. К тому же продукты, транспортируемые по трубопроводам, обладают токсическими свойствами [31].

Подводный переход магистрального трубопровода сооружают обычно на прямолинейном плесовом участке реки, не имеющем рукавов, с устойчивым руслом. Ось его располагают по нормали к прямолинейному участку водной преграды, в наиболее узком месте, без крутых берегов, оползневых склонов, а также берегов, склонных к подмыву, на малых глубинах и т. д. [31].

Срок службы трубопровода рассчитывается на 100 лет. За такой продолжительный срок в природе водной преграды могут произойти существенные изменения. Поэтому отечественная и зарубежная практика подтвердила необходимость прокладки через водные преграды, кроме основной нитки трубопровода, двух резервных и более [31].

Имея резервные нитки, с помощью запорной аппаратуры, установленной на концах подводного перехода (на правом и левом берегах водной преграды), в случае необходимости перекрывают основную и переключают транспортируемый продукт в один или несколько резервных трубопроводов. Резервные нитки прокладывают при ширине водных преград более 50 м, а также при ширине заливаемой поймы более 500 м и продолжительности подтопления паводковыми водами более 20 дней (по году 10 %-ной обеспеченности) (рис. 8.30). Расстояние между основной и резервной нитками должно быть не менее 30–50 м [31].

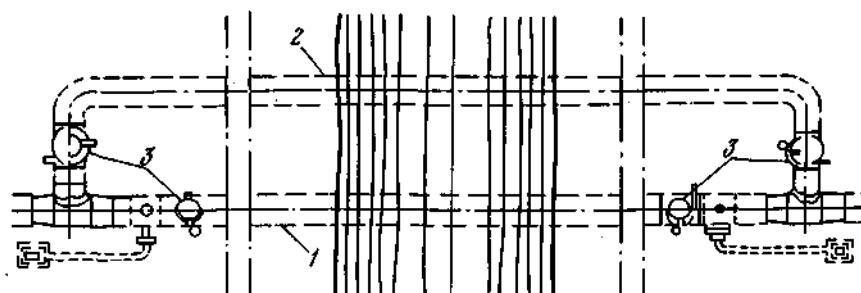


Рис. 8.30. Подводный переход с основной и резервной нитками: 1– основная нить, 2– резервная нить, 3– запорная арматура [31]

### Промеры глубин

Особенностью топографо-геодезических работ на стадии изысканий для строительства подводных переходов является составление профилей по створам переходов (*поперечных профилей дна реки*). Их составляют на основании промерных работ по поперечникам. Глубину воды измеряют по вертикали от поверхности до дна. Эти места, где проводят измерения, называются *промерными вертикалями* [12].

На небольших переходах (шириной до 50 м и глубиной до 5 м) глубину реки измеряют наметкой или лотом. *Наметка* – деревянный шест диаметром 40–60 мм, длиной не более 5–7 м с дециметровыми делениями, выкрашенными поочередно двумя цветами красок (рис. 8.28). Деления нечётных метров окрашивают белым и чёрным цветом, чётных метров – белым и красным цветом. Порядковые номера делений подписывают [12]. Погрешность при измерении глубин наметкой может составлять 30–50 мм в зависимости от характера дна.

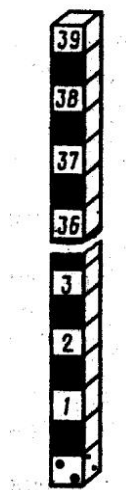


Рис. 8.28. Намётка для промера глубин [35]

*Лот* представляет собой трос<sup>6</sup> (стальной диаметром 2–5 мм, пеньковый или капроновый диаметром 6–8 мм), разделенный марками-разметками на метры и дециметры, с подвешенным внизу грузом – чугунной болванкой – от 3 до 10 кг [31, 12]. Применяют при глубинах от 6 до 20 м и скорости течения не более 1 м/с [12]. Лот маркируют от нижней плоскости груза по стальной рулетке. Отчёт по ближайшей марке лота берут в момент. Когда лотлинь занимает вертикальное положение. Лотлинь надо ежедневно компарировать стальной рулеткой, поскольку в процессе промеров он растягивается, а после сушки укорачивается. Если лотлинь растянут, то поправки за компарирование вводят со знаком плюс, если укорочен – со знаком минус [12].

<sup>6</sup> Тросс лота называется *лотлинь* [12].

На переходах через широкие и глубокие водоёмы используют *эхолоты*, в которых глубины проверяют с помощью ультразвука. Измеряют время прохождения ультразвукового импульса от излучателя до дна реки и обратно к приёмнику. Зная скорость распространения ультразвуковых колебаний (в пресной воде  $v = 1462$  м/с) и время прохождения импульса  $t$ , можно определить глубину:

$$h = H + a = \sqrt{\left(\frac{vt}{2}\right)^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2} + a, \quad (8.6)$$

где  $a$  – расстояние от излучателя до поверхности воды;  $l$  – расстояние между излучателем и приёмником [12].

Эхолот отличается большой производительностью работ. В настоящее время применяются эхолоты ПЭЛ-2 (промерный эхолот) с диапазоном измерений от 3 до 20 м и его аналог «Кубань»; ПЭЛ-3 с диапазоном от 3 до 200 м; ИРЭЛ (инженерно-разведывательный эхолот), «Язь», «Сибирь». Диапазон ИРЭС – от 0,2 до 20 м, «Язи» – от 0,6 до 160 м [12].

В целом эхолоты при определении глубин водных преград дают значительные погрешности. Опыт показывает, что в самых благоприятных условиях при глубинах преград до 5,0 м погрешность составляет 0,1 м и 2% при глубинах, превышающих 5 м [31].

Наиболее точно, хотя и крайне медленно выполняются промеры глубин зимой со льда через лунки, расположенные в створе. Летом промеры глубин выполняют во время движения промерного судна [12].

Плановое положение *промерочных точек*<sup>7</sup> определяют следующими способами: дальномером теодолита, промером со льда, прямой угловой засечкой. Координирование даёт возможность нанести точки промеров на план или профиль [12].

Если ширина водной преграды не превышает 300 м и течение спокойное, то расстояние до промерочных точек можно определять с помощью нитяного дальномера теодолита, установленного в створе перехода. При более широких водных преградах промерные точки засечки обычно делают с помощью двух теодолитов (рис. 8.29), устанавливаемых на пунктах постоянного или временного планового обоснования. При этом углы засечек должны быть 30–150°, а сами засечки выполняться синхронно по сигналу с судна. Это основной способ [31,12]. Другие способы: прямые засечки с берега одним прибором, когда судно движется по закреплённому створу; вертикальные угловые засечки с одновременными отсчётами по горизонтальному кругу; обратные засечки с промерного судна двумя *секстантами*<sup>8</sup> или одним секстантом, если судно движется строго по закреплённому створу [12].

---

<sup>7</sup> Определение планового положения промерочных точек называют одним словом – *координирование*.

<sup>8</sup> *Секстант* – угломерно-отражательный прибор, основанный на принципе одновременного визирования по двум направлениям, которые образуют измеряемый угол.

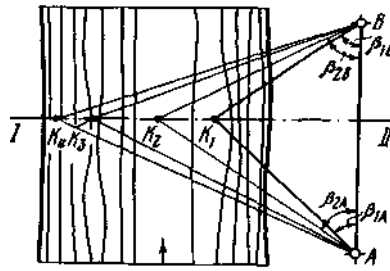


Рис. 8.29. Засечки промерных точек (положение в плане):  $K_1, K_2, K_3, K_4$  – промерные точки, I – II – ось трубопровода, A и B – точки установки теодолита [31]

Определение высоты уровня воды производится путем геометрического нивелирования от пунктов высотного обоснования, закрепленных на берегу [31].

#### **Поправки в измеренные глубины**

Уровень воды в реке не остаётся постоянным, он меняется в результате многих причин. Например, при быстром подъёме уровня воды в реке в её середине образуется выпуклость, так как в средней части русла скорость потока увеличивается быстрее [12].

Вследствие действия силы Кориолиса для рек, текущих в меридиональном направлении, масса воды отклоняется к правому берегу, отсюда и уровень воды у правого берега всегда выше на

$$\Delta h_1 = (2\omega/g) \sin \varphi v B, \quad (8.7)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения Земли,  $7,29 \times 10^{-5} \text{ с}^{-1}$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $\varphi$  – широта географическая точки в градусах;  $v$  – скорость течения реки, м/с;  $B$  – ширина реки в сотнях метров [12].

Эта же формула в рабочем виде имеет вид:

$$\Delta h_1 = 1,49 \sin \varphi v B, \quad (8.8)$$

На этом же принципе основан закон Карла Макса Бэра, сформулированный им ещё в 1867 году – реки, текущие в меридиональном направлении, в северном полушарии подмывают правый берег [12] (рис. 8.31).



Рис. 8.31. Река Томь в районе Лагерного сада

Рассчитаем поправку для реки, если  $\varphi = 55^\circ$ ,  $v = 2$  м/с,  $B = 800$  м:

$$\Delta h_1 = 1,49 \sin 55 \cdot 2 \cdot 8 = 19,5 \text{ мм.}$$

Состав геодезических работ на стадии строительства подводного перехода зависит от способа прокладки.

## 8.4. Исполнительные съёмки

### 8.4.1. Назначение и методы исполнительных съёмок

Комплекс геодезических работ, выполняемых с целью определения фактического положения в плане и по высоте возводимых сооружений и их отдельных элементов, называется *исполнительной съёмкой*. Различают два вида исполнительных съёмок – текущие и окончательные [31].

*Текущая исполнительная съёмка* ведётся по мере возведения объекта, в процессе всего строительства. Ею заканчиваются отдельные этапы строительно-монтажных работ – строительство котлована и траншеи, забивка свай и установка колонн, монтаж стенки резервуара, укладка трубы в траншею и т.д. По результатам текущих исполнительных съёмок составляют исполнительные чертежи, по которым можно судить о качестве строительно-монтажных работ, подсчитать их объёмы, провести корректировку (рис. 7.48).

Текущая исполнительная съёмка планового положения конструкций выполняется с пунктов разбивочной сети, знаков и створов закрепления



разбивочных осей сооружений или параллельных им линий, установочных рисок на конструкциях [31].

*Окончательная исполнительная съёмка* проводится по завершении строительства различных объектов, в том числе для сооружений линейного типа, различных промышленных сооружений, после вертикальной планировки рельефа и т.д. При этом используют материалы текущих съёмок. После обработки результатов съёмки составляется исполнительный генеральный план для всего объекта в целом, который служит для решения задач по эксплуатации, реконструкции и дальнейшего развития всего сооружения [31].

Геодезическим обоснованием окончательной геодезической съёмки служат пункты геодезической основы – государственных, опорных сетей, разбивочных сетей (строительных сеток), теодолитных ходов, реперы ходов геометрического нивелирования.

Методы измерений при исполнительной съёмке используются те же, что и при съёмочных и разбивочных работах. Плановое положение характерных точек объектов определяют способами: полярным, створов, линейных и угловых засечек, перпендикуляров. Высотная съёмка проводится геометрическим нивелированием. Отклонение конструкций от вертикали проверяется приборами вертикального проектирования, теодолитами, тяжёлыми отвесами [31].

#### **8.4.2. Исполнительная съёмка нефтегазопроводов**

Топографической съёмке подлежат следующие сооружения: магистральные нефтегазопроводы и расположенные на них линейные сооружения – колодцы, задвижки, станции катодной защиты (СКЗ), необслуживаемые усилительные пункты (НУП), вертолетные площадки и др.; противопожарные сооружения; подземные и наземные коммуникации, идущие параллельно коридору нефтегазопровода в пределах охранной зоны или пересекающие его (высоковольтные линии электропередач, линии связи, кабели, железные и автомобильные дороги и др.); километровые знаки, установленные в коридоре нефтегазопровода; административные здания, технологические и хозяйственно-бытовые сооружения, расположенные в коридоре нефтегазопроводов или в охранной зоне, определяемой в соответствии со СНиП 2–05.06–85\* [31].

В результате топографических съёмок создаются планы площадок НПС (ГКС) в масштабе 1:500 для обеспечения эксплуатационных служб точной и подробной информации о планово-высотном положении зданий, сооружений, наземных и подземных коммуникаций с целью разработки мероприятий по улучшению режима эксплуатации НПС (ГКС) и изучения возможности их дальнейшей модернизации.

Топографическая съёмка может выполняться как наземным, так и аэрофототопографическим методом. Планы масштаба 1:500 получают на основании съёмки в масштабе 1:1000 [31].

Съемки площадок НПС (ГКС) выполняют только на планово-высотном съемочном обосновании, если это не оговаривается особыми требованиями; внешний контур закрепляют на местности постоянными знаками. Средние погрешности в положении на плане зданий и сооружений относительно ближайших точек съемочного обоснования не должны превышать 0,5 мм. Предельные погрешности во взаимном положении ближайших точек зданий и подземных коммуникаций не должны превышать 0,4 мм. Предельная погрешность в высотном положении строительных реперов, установленных на площадке, относительно пунктов государственной нивелирной сети не должна превышать 0,2 м [31].

Максимальная погрешность в определении высот пунктов съемочного обоснования, создаваемого ходами технического нивелирования, не должна превышать величины  $50 \sqrt{L}$ , мм, где  $L$  – число километров в ходе или полигоне. Средняя погрешность определения высот относительно ближайших точек съемочного обоснования не должна превышать 0,15 м [31].

Топографической съемке подлежат: территории НПС в пределах ограждения (съемка рельефа в горизонталях не производится, а заменяется определением отметок поверхности земли, углов зданий, подземных и наземных коммуникаций и т. д.); административные здания, технологические и хозяйственные сооружения, подземные и наземные коммуникации, с указанием их назначения и характеристик (диаметр и наименование трубопроводов, напряжение ВЛ; число проводов, материалы и номера опор; эскиз опор для ВЛ линий связи, назначение и эскиз – для смотровых колодцев; охранная зона НПС (ГКС), размеры которой указываются заказчиком) [31].

Плановая топографическая исполнительная съемка производится с оси трассы построенного объекта, восстановленной от пунктов плановой геодезической сети, созданной в период изысканий, и от знаков закрепления окончательной трассы перед строительством [31].

По восстановленной оси линейных сооружений разбивают эксплуатационный пикетаж. Как правило, он не соответствует разбитому ранее. Выполняют съемку круговых кривых или измеряют горизонтальные углы поворота трассы. Для промеров используют 20-метровые мерные ленты, относительная погрешность между первым и вторым промерами не должна превышать 1:20 000 [31].

Высотную исполнительную съемку выполняют методом геометрического нивелирования пикетов трассы от реперов высотного геодезического обоснования [31].

Результаты исполнительной съемки трассы линейных сооружений представляют в виде продольных профилей.

Практика показала, что сочетание дешифрирования материалов аэрофотосъемки, аэровизуальных наблюдений и наземной инструментальной съемки является наиболее рациональным методом составления исполнительной как уточненной фотосхемы или фотоплана масштаба 1:10000–1:5000 полосы шириной 1 км по трассам трубопроводов, так и

прогнозной карты физико-геологических явлений масштаба 1:25 000–1:10 000. Фотосхемы (карты) и карты физико-геологических явлений могут быть совмещены. Такие материалы необходимы особенно при эксплуатации нефтегазопровода. На составленных картах можно выделить наиболее опасные участки, на которых требуется предусмотреть строительство дренажных или оградительных сооружений [31].

Использование этих материалов позволяет прогнозировать предполагаемые участки развития оврагов, оползней, селей и др. Предупреждение развития подобных гравитационных процессов будет способствовать повышению эксплуатационной надежности трубопроводных систем, а также охране окружающей среды [31].

