

Министерство образования Российской Федерации
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ (МИИГАИК)

С.В. Марфенко

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ
И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ
СООРУЖЕНИЙ**

Учебное пособие



Москва 2004

Министерство образования Российской Федерации
Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

Утверждено методической
комиссией геодезического
факультета МИИГАиК

**ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ
ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Учебное пособие

Для специальности прикладная геодезия

Москва 2004

Марфенко С.В. Геодезические работы при строительстве промышленных сооружений. Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2004, с...., ил.

В учебном пособии рассмотрены инженерно-геодезические работы на различных этапах строительства промышленных сооружений. Показаны особенности инженерно-геодезических изысканий, различные виды геодезической основы на промышленной площадке. Подробно изложена технология детальных разбивок. Особое внимание уделено геодезическим работам по установке и выверке подкрановых путей, технологического оборудования сооружений. Рассмотрен комплекс вопросов геодезического обеспечения возведения высокоточных башенных сооружений.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор Барков В. Н. (МГУЗ)
кандидат технических наук, профессор Михелев Д. Ш. (МИИГАиК)

© Московский государственный университет геодезии и картографии, 2004

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИЯХ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

1. Состав инженерно-геодезических работ при строительстве промышленных сооружений

Промышленное предприятие представляет собой комплекс технологически взаимосвязанных сооружений, обеспечивающих производство и выпуск определенной продукции. Входящие в состав промышленного предприятия сооружения производственного назначения называют промышленными. К ним относятся специализированные здания и сооружения для обеспечения определенного технологического или производственного процесса, а также связанные с ними энергетические, тепловые и другие установки, механизированные склады, подземные и наземные коммуникации и т.д.

Современные промышленные сооружения отличаются разнообразием объемно-планировочных и конструктивных решений и требуют при их проектировании и возведении выполнения различного вида топографо-геодезических и инженерно-геодезических работ.

Для выбора площадки под строительство и разработки предпроектной и проектной документации в комплексе с другими инженерными изысканиями выполняют инженерно-геодезические изыскания, обеспечивающие получение различных геодезических данных для оценки природных и техногенных условий территории строительства. В состав инженерно-геодезических изысканий входят:

- сбор и анализ имеющихся топографических и других планов, а также данных по геодезическим сетям на районы возможного размещения объектов строительства;
- создание геодезической основы (опорных, планово-высотных съемочных и специальных сетей);
- топографические и другие съемки строительных площадок, включая съемку подземных коммуникаций;
- обновление топографических карт и планов;
- геодезическое обеспечение других видов инженерных изысканий;
- геодезические работы по изучению опасных природных и техногенных процессов, деформаций земной поверхности, оснований зданий и сооружений.

На основе собранных материалов составляют ситуационные планы, топографическую характеристику вариантов размещения строительной площадки, являющуюся одним из факторов, влияющих на окончательный выбор местоположения площадки. С использованием созданных или обновленных крупномасштабных топографических и инженерно-топографических планов разрабатывают генеральные планы промышленных предприятий, проектную и рабочую документацию на отдельные здания и сооружения.

Точность и методы определения положения, плотность и закрепление пунктов геодезической основы должны удовлетворять требованиям производства крупномасштабных съемок, выноса проекта в натуру и выполнения специальных инженерно-геодезических работ.

В период строительства промышленных предприятий выполняют большой объем геодезических работ, состав и содержание которых устанавливают в проекте производства геодезических работ (ППГР), являющегося составной частью проекта организации строительства. Эти работы включают:

- создание геодезической разбивочной сети строительной площадки;
- основные и детальные разбивочные работы;
- геодезические работы при монтаже строительных конструкций и технологического оборудования;
- контроль точности геометрических параметров зданий и сооружений;
- исполнительные съемки планового и высотного положения элементов конструкций и частей сооружений;
- геодезические работы по наблюдениям за деформациями оснований зданий и сооружений.

Геодезическая разбивочная сеть промышленной площадки создается для производства основных разбивочных работ и исполнительных съемок.

Выбор метода и схемы построения сети зависит от конкретных условий площадки. Пункты сети располагают с учетом расположения всего комплекса зданий и сооружений так, чтобы они не оказались в зоне производства строительных работ и не были утрачены в процессе строительства.

Задачей основных геодезических разбивочных работ на промышленной площадке является вынос в натуру главных и основных (габаритных) осей зданий, сооружений, инженерных коммуникаций от пунктов разбивочной геодезической основы. При детальной разбивке определяется положение отдельных элементов или конструкций сооружения путем выноса в натуру их осей, называемых промежуточными или детальными, от ранее вынесенных и закрепленных основных осей. К детальным разбивочным работам относится разбивка фундаментов зданий и под оборудование, закладных и опорных частей для монтажа этого оборудования.

Особое место в процессе строительства промышленных зданий и сооружений занимают геодезические работы при монтаже объемных и сложных строительных конструкций, технологического оборудования и агрегатов, обеспечивающих определенный производственный процесс. Методика и точность этих работ зависит от многих факторов, основными из которых являются формы, размеры и конструктивные особенности сооружения, а также геометрические требования к взаимному положению их частей и элементов.

Геодезические исполнительные съемки для определения фактического геометрического положения в плане, по высоте и по вертикали объемно-планировочных и конструктивных элементов возводимых зданий и сооружений выполняется на всех этапах и стадиях строительного производства. Результаты съемки представляют на исполнительном генеральном плане и отдельных исполнительных чертежах.

Наблюдения за деформациями промышленных зданий и сооружений ведутся в течение всего периода строительного производства и продолжают в период их эксплуатации. Они включают геодезические наблюдения за осадкой фундаментов, выполняемые в каждом случае по специальной программе, составленной в

зависимости от типа сооружения, характеристики оснований и величин допустимых осадков. Наблюдательные марки устанавливают в различных точках фундамента, преимущественно там, где ожидаются максимальные осадки. Так, при сооружении промышленных зданий марки закрепляют на несущих колоннах, фундаментах, наиболее ответственных агрегатах, по внешнему и внутреннему периметру здания. При этом обязательно на углах по обеим сторонам осадочных швов, в местах возможных динамических воздействий и по продольным и поперечным осям здания для определения величины крена, прогиба и перекоса на несущих конструкциях.

2. Особенности инженерно-геодезических изысканий на промышленной площадке

Состав инженерно-геодезических изысканий определяется необходимостью обеспечить исходными топографо-геодезическими материалами разработку проектной документации на различных стадиях проектирования.

На стадии разработки предпроектной документации инженерно-геодезические изыскания обеспечивают различные этапы инвестиционно-строительной деятельности.

На этапе определения цели инвестирования строительства для оценки природно-хозяйственных условий возможных вариантов размещения промышленной площадки осуществляется сбор и анализ имеющихся топографических и тематических карт в масштабах 1:500000 — 1:100000, а также материалов аэрокосмических съемок. На их основе составляют обзорную карту, на которой отображают границы площадок под строительство, данные земельного, лесного и других кадастров, магистральные инженерные коммуникации, районы развития опасных природных и техногенных процессов, зоны с повышенным уровнем загрязнения природной среды и др.

На этапе подготовки ходатайств (деклараций) о намерениях инвестирования в строительство инженерно-геодезические изыскания включают сбор и анализ топографических карт, материалов аэро- и космосъемок, землеустроительных и лесоустроительных планов в масштабах 1:100000 — 1:25000. На основе этих материалов разрабатывают схему ситуационного плана объектов строительства с размещением внеплощадных инженерных коммуникаций, сооружений инженерной защиты и природоохранительными мероприятиями.

Изыскания для обоснования инвестиций в строительство должны обеспечивать разработку ситуационного плана в масштабах 1:25000 — 1:10000 и схемы генерального плана предприятия в масштабах 1:5000 — 1:2000 с размещением основных зданий и сооружений, зон подсобного и обслуживающего назначения, объектов транспортного хозяйства и др. По каждому согласованному варианту размещения промышленной площадки производят сбор топографических и специальных планов в масштабах 1:5000 — 1:2000 с оценкой их полноты и достоверности. Если они не соответствуют современному состоянию ситуации, рельефа и подземных коммуникаций, выполняют их обновление. При их отсутствии

производят топографическую съемку. Для этой цели выполняют сгущение государственной опорной сети и создают плано-высотное съемочное обоснование.

На последнем этапе разработки предпроектной документации выполняют геодезические работы по изучению опасных природных и техноприродных процессов и наблюдению за деформациями оснований зданий и сооружений.

В состав инженерно-геодезических изысканий для разработки проекта и рабочей документации входят те же виды геодезических работ, что и для предпроектной документации, но по своим точностным и другим техническим характеристикам они должны обеспечивать создание топографических планов в масштабах 1:5000-1:500 с высотой сечения рельефа через 1-0,5м. На участках со сложными природными и техноприродными процессами, существующих промышленных предприятий с густой сетью подземных и надземных сооружений и коммуникаций выполняют топографическую съемку в масштабе 1:200.

На указанных планах разрабатывают основные проектные документы, такие как генеральный план промышленного предприятия, проект инженерной подготовки строительной площадки, проект вертикальной планировки территории и др. На генеральном плане определяется взаимное расположение всех зданий и сооружений в увязке с рельефом местности и планировочными решениями на площадке с учетом требований производственно-технологических процессов предприятия. Генеральный план разрабатывается на всех стадиях проектирования, но с различной степенью детализации. Его окончательная доработка с уточнениями и детализацией проектных решений выполняется на стадии разработки рабочей документации. Утвержденный генеральный план является основным документом для выноса в натуру всех сооружений промышленного предприятия при строительстве.

Опорные геодезические сети, создаваемые в период изысканий как самостоятельные или в развитие государственных сетей, по плотности и точности определения положения пунктов должны обеспечивать производство крупномасштабных съемок для разработки проектной и рабочей документации. Вместе с тем, они служат основой для перенесения в натуру запроектированных сооружений и геодезических привязок в процессе изысканий и проектирования.

На территориях промышленных предприятий площадью до 50 км² строят плановые опорные сети 4 класса, 1 и 2 разряда, сети нивелирования III, IV классов и технического нивелирования. Для обеспечения исходными пунктами создание съемочных геодезических сетей плотность пунктов опорной сети устанавливается из расчета не менее четырех пунктов на 1 км² застроенной территории и одного пункта на 1 км² незастроенной территории. Точность измерений и число ступеней (классов и разрядов) развития опорной геодезической сети зависит от площади территории изысканий.

Предельная ошибка взаимного положения в плане смежных опорных пунктов не должна превышать 5см. Такая точность удовлетворяет как требованиям съемки наиболее крупного масштаба (1:500), так и основных разбивочных работ на строительной площадке. Как показал опыт, средняя ошибка выноса в натуру главных осей промышленных сооружений может быть принята 2-3см. Пункты опорной геодезической сети, в случае их сохранности, используют на этапе строительства

сооружения, а затем и при его эксплуатации, для разбивки главных и основных осей, а также для исполнительных съёмок. Однако, большая часть из них утрачивается и для этой цели создают геодезическую разбивочную основу.

В развитие опорной сети для производства топографических съёмок, различного рода геодезических разбивок и привязок строят планово-высотные съёмочные сети, средние ошибки положения которых в плане не должны превышать 0,1мм на плане соответствующего масштаба на открытой и на застроенной территории, а на местности, закрытой древесной и кустарниковой растительностью - 0,15мм.

При создании опорных и планово-высотных съёмочных сетей применяют все известные методы геодезических построений: триангуляцию, трилатерацию, полигонометрию, на основе использования спутниковой геодезической аппаратуры и др. Методика линейных, угловых и высотных измерений ничем не отличается от установленных нормативными документами для государственных геодезических сетей и съёмочного обоснования.

3. Геодезическая разбивочная основа на промышленной площадке

Геодезическую разбивочную основу на промышленной площадке создают для обеспечения всего комплекса разбивочных работ, связанных с выносом проекта в натуру и производством исполнительных съёмок как в процессе строительства, так и при эксплуатации, расширении и реконструкции промышленного предприятия. Геодезическая разбивочная основа, как правило, включает построение трёх видов сетей: геодезической разбивочной сети площадки, внешней разбивочной сети отдельных зданий и сооружений, внутренней разбивочной сети. Они имеют различное назначение и отличаются схемой и точностью построений.

Основное назначение разбивочной сети площадки – служить основой для выноса в натуру главных и основных осей здания и сооружения, а также съёмок для составления генеральных планов на всей территории строительства. Сеть проектируют с учётом размещения всех существующих и проектируемых постоянных и временных сооружений и инженерных коммуникаций. Местоположение и закрепление пунктов сети должны обеспечивать их долговременную сохранность и стабильность.

Точность измерений в разбивочных сетях площадки назначают в основном, в зависимости от площади, занимаемой промышленным предприятием, группой или отдельно стоящими зданиями и сооружениями (табл. 1). Как видно из таблицы, величины ошибок (погрешностей) угловых и линейных измерений устанавливают такими же как и для опорных геодезических сетей при изысканиях. Такими же как и для опорных остаются для разбивочных сетей и методы построения.

Разбивочную сеть площадки можно создать в виде геодезической строительной сетки. Запроектированная на генеральном плане строительная система координат, представленная координатными осями, параллельными главным и основным осям сооружений, и сеткой квадратов со сторонами 50-200 м, выносится с требуемой точностью в натуру и закрепляется. При наличии такой сетки достаточно

просто определять плановое положение объектов строительства как при проектировании, так и при разбивке.

Для увязки в единой системе основных разбивочных работ, выполняемых на промышленной площадке от пунктов геодезической строительной сетки и вне её от пунктов других ранее созданных геодезических сетей, возникает необходимость преобразования координат пунктов из одной системы в другую.

Таблица 1

Объекты строительства	Средняя квадратическая погрешность при построении разбивочной сети строительной площадки		
	угловых измерений, сек. с	линейных измерений	превышения на 1 км хода, мм
Предприятия и группы зданий (сооружений) на участках более 1 км ² , отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки 100 тыс. м ²	3	1/25 000	4
Предприятия и группы зданий (сооружений) на участках площадью менее 1 км ² , отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки от 10 до 100 тыс. м ²	5	1/10 000	6
Отдельно стоящие здания (сооружения) с площадью застройки менее 10 тыс. м ² , дороги, инженерные сети в пределах застраиваемых территорий	10	1/5 000	10
Дороги, инженерные сети вне застраиваемых территорий, земляные сооружения, в том числе вертикальная планировка	30	1/2 000	15

Перевычисление условных строительных координат в государственные производят по известным формулам

$$\begin{aligned} x &= a + x'V \cos \theta - y'V \sin \theta, \\ y &= b + x'V \sin \theta - y'V \cos \theta, \end{aligned} \tag{1}$$

где

x и y – прямоугольные координаты пунктов в государственной системе;

x' и y' – координаты тех же пунктов в строительной системе;

a и b – координаты точки начала в государственной системе;

V – коэффициент изменения масштаба сети в связи с редуцированием на плоскость в проекции Гаусса-Крюгера и приведением к поверхности принятого референц-эллипсоида;

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

Для решения поставленной задачи геодезическую строительную сетку привязывают к имеющимся в районе площадки пунктам государственной сети или опорной сети, созданной в период изысканий.

Зная координаты двух пунктов в государственной системе: x_1, y_1, x_2, y_2 и в строительной системе: x'_1, y'_1, x'_2, y'_2 составляют четыре уравнения, из решения которых определяют неизвестные величины

$$V \sin \theta = \frac{(x'_1 - x'_2)(y_1 - y_2) - (y'_1 - y'_2)(x_1 - x_2)}{(x'_1 - x'_2)^2 + (y'_1 - y'_2)^2}, \quad (2)$$

$$V \cos \theta = \frac{(x'_1 - x'_2)(x_1 - x_2) - (y'_1 - y'_2)(y_1 - y_2)}{(x'_1 - x'_2)^2 + (y'_1 - y'_2)^2},$$

и

$$\begin{aligned} a &= x_1 - x'_1 V \cos \theta + y'_1 V \sin \theta, \\ b &= y_1 - x'_1 V \sin \theta - y'_1 V \cos \theta. \end{aligned} \quad (3)$$

Обратный переход от координат пунктов в государственной системе к координатам в строительной системе выполняют по формулам

$$\begin{aligned} x' &= (x - a) \frac{\cos \theta}{V} + (y - b) \frac{\sin \theta}{V}, \\ y' &= -(x - a) \frac{\sin \theta}{V} + (y - b) \frac{\cos \theta}{V}. \end{aligned} \quad (4)$$

Как бы тщательно не проектировалась строительная сетка на стройгенплане, часть её пунктов неизбежно попадает на здания и сооружения или в зону земляных работ, а следовательно, не может быть использована. Кроме того, значительная часть пунктов утрачивается в процессе строительства. Это обстоятельство, а также сложность и трудоёмкость технологии построения геодезической строительной сетки следует отнести к недостаткам этого вида разбивочной геодезической сети площадки. Поэтому часто предпочтение отдают схемам геодезических построений с произвольным расположением пунктов, но обеспечивающим возможность их эффективного использования и длительную сохранность как в процессе строительства, так и в дальнейшем. Наиболее часто применяют систему полигонометрических ходов, опирающихся при необходимости на каркасную опорную сеть триангуляции или GPS. Такая схема развития (сгущения) разбивочной сети более выгодна и в том случае, если сеть была создана в виде геодезической строительной сетки и часть её пунктов была утрачена в процессе строительства.

Возможен также и такой вариант схемы построения разбивочной сети площадки. На территории всей площадки и подходов к ней создают любого вида каркасную сеть с расположением пунктов, обеспечивающим видимость на как можно большее их число с различных мест площадки. В дальнейшем по мере необходимости сеть развивается по известному принципу свободной станции. Станции располагают вблизи объекта разбивки, определяя их положение угловыми и

линейными засечками или применяя спутниковые технологии (рис.1). При невозможности расположить станции в непосредственной близости к разбиваемому сооружению их выбирают в удобном для определения положения месте, а от них прокладывают подходящие полигонометрические ходы (рис.2). Местоположение пунктов этих ходов может быть определено непосредственно в натуре или запроектировано на генплане.

В последнем случае ход рассматривают как проектный и строят в натуре по рассчитанным углам и длинам сторон. Исходным для расчётов служат координаты точек хода, полученные графически на генеральном плане.

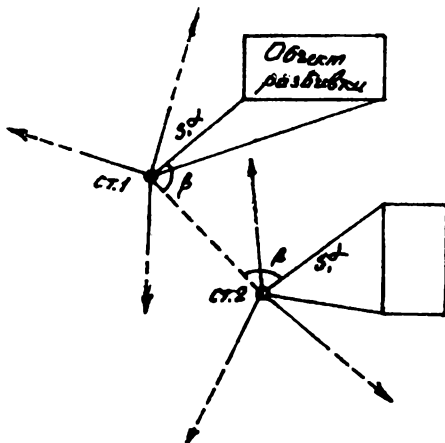


Рис. 1. Схема разбивки методом свободной станции

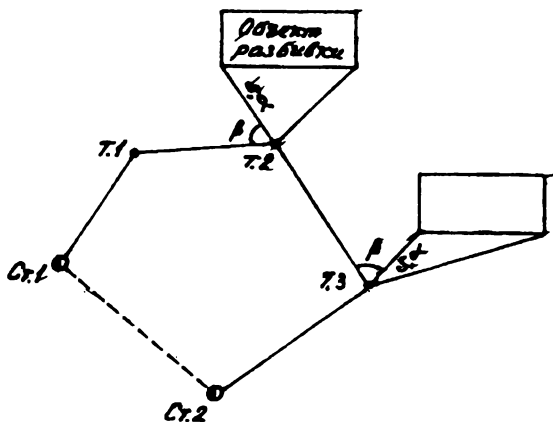


Рис. 2. Схема разбивки с удалённым расположением свободной станции

При строительстве крупных и сложных промышленных сооружений при необходимости создают внешние разбивочные сети, которые служат для перенесения в натуру и закрепления проектных параметров сооружения, производства дальнейших разбивок и исполнительных съёмок при возведении нулевого цикла. Внешняя разбивочная сеть здания или сооружения представляет собой систему знаков, закрепляющих на местности и на сооружении главные и основные разбивочные оси (рис. 3). Вынос осей в натуру производят от пунктов геодезической разбивочной сети площадки или от главных осей, если они вынесены и закреплены на площадке к моменту создания внешней сети. Количество разбивочных осей, закрепляемых осевыми знаками, определяют с учётом конфигурации и размеров сооружения. Каждую ось закрепляют не менее, чем четырьмя знаками. Обязательному закреплению на местности подлежат основные разбивочные оси, определяющие габариты здания, и оси в местах температурных (деформационных) швов. Точность построения внешних разбивочных сетей принимают в соответствии с данными табл. 2.

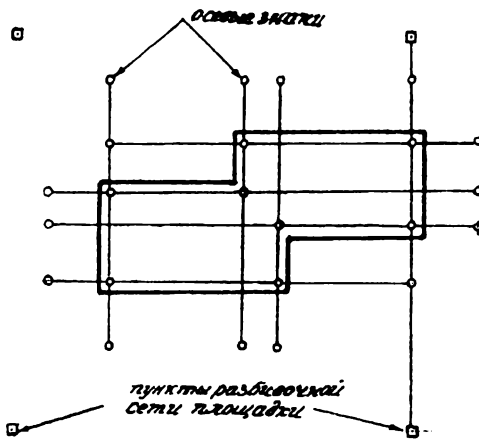


Рис. 3. Внешняя разбивочная сеть в виде системы осевых знаков

Внешняя разбивочная сеть сооружения может быть также создана в виде любого вида геодезического построения произвольной формы, например, замкнутым полигонометрическим ходом, триангуляционной сетью и т.д. (рис. 4). В этом случае сооружение должно быть привязано к этой сети, например, совмещением некоторых осевых точек с пунктами сети. При разбивке положение всех подлежащих выносу в натуру основных разбивочных осей определяют точками пересечения этих осей со сторонами разбивочной сети, которые закрепляют осевыми знаками.

Внутренняя разбивочная сеть, как и для гражданских зданий, создаётся на исходном и монтажном горизонтах сооружения и служит основой для обеспечения монтажа строительных конструкций при возведении наземной части сооружения (рис. 5).

Внутреннюю разбивочную сеть строят обычно в виде простых фигур триангуляции и трилатерации, или полигонометрических полигонов, стороны которых располагают параллельно разбивочным осям сооружения. Пункты сети закрепляют на блоках фундаментов, бетонной подготовке, перекрытии подвала. Схема сети определяется формой и конструктивными особенностями сооружения. Точность измерений при построения сети устанавливается в соответствии с табл. 2.

Таблица 2

Объекты строительства	Средняя квадратическая погрешность построения внешней и внутренней разбивочных сетей здания (сооружения) и других разбивочных работ				
	линейных измерений	угловых измерений, угл. с	Превышения на станции, мм	отметки на монтажном горизонте относительно исходного, мм	передач точек осей по вертикали, мм
Металлические конструкции с фрезерованными контактными поверхностями; сборные железобетонные конструкции, монтируемые методом самофиксации в узлах; сооружения высотой от 100 до 120 м или с пролётами от 30 до 36 м.	1/15 000	5	1	6	4
Здания свыше 15 этажей, сооружения высотой от 60 до 100 м или с пролётами от 18 до 30 м.	1/10 000	10	2	5	3
Здания от 5 до 15 этажей, сооружения высотой от 15 до 60 м или с пролётами от 6 до 18 м	1/5 000	20	2,5	4	2,5
Здания до 5 этажей, сооружения высотой до 15 м или с пролётами до 6 м.	1/3 000	30	3	3	2
Конструкции из дерева, инженерные сети, дороги, подъездные пути.	1/2 000	30	5	—	—
Земляные сооружения, вертикальная планировка.	1/1 000	45	10	—	—

При строительстве уникальных и сложных объектов промышленного строительства, а также при монтаже технологического оборудования точность измерений внутренней разбивочной сети определяют расчётами с учётом требований к допускам, предусматриваемых проектом.

Для производства детальных разбивочных работ на монтажном горизонте координаты пунктов с исходного горизонта на монтажный передают методом наклонного или вертикального проектирования. Точность передачи контролируют

сравнением расстояний и углов между соответствующими пунктами исходного и монтажного горизонтов.

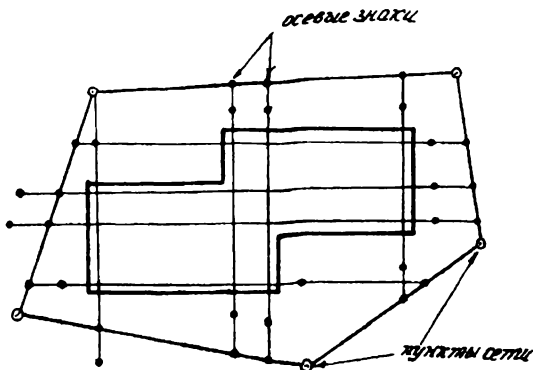


Рис. 4. Внешняя разбивочная сеть в виде замкнутого полигонометрического хода

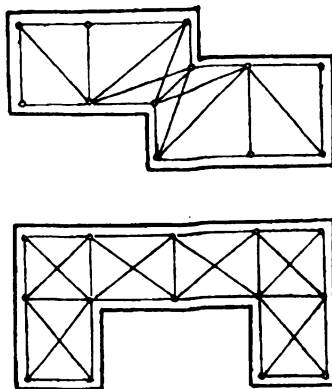


Рис. 5. Схема внутренней разбивочной сети здания

Высотную основу промышленных площадок создают в виде свободных нивелирных сетей с привязкой их к реперам государственного нивелирования. Реперы нивелирной сети и пункты плановой разбивочной основы, как правило, совмещают, закрепляя их плано-высотными знаками. Точность нивелирования характеризуется данными табл. 1. В основном она соответствует нивелированию III, IV классов и техническому нивелированию.

Точность измерений в высотных внешних и внутренних разбивочных сетях характеризуется величинами ошибок определения превышений, приведёнными в табл. 2.

4. Разбивочные работы при возведении промышленных зданий, сооружений

Промышленные здания и сооружения предназначены для выполнения различных производственных процессов с целью получения какой-либо продукции. По своему объёмно-планировочному и конструктивному решению они отличаются разнообразием в зависимости от функционального назначения и необходимости создания оптимальных условий для производства, от последовательности операций технологических процессов, расположения и габаритов оборудования и т.д. В процессе возведения промышленных зданий и сооружений разбивочные работы обеспечивают вынос в натуру от пунктов геодезической разбивочной основы осей, характерных точек и отметок, определяющих положение в плане и по высоте их частей и конструктивных элементов в соответствии с проектной документацией и с заданной точностью.

Точность измерений при детальном разбивках от пунктов внешней или внутренней разбивочных сетей характеризуется данными табл. 2. Если проектом предусмотрены особые технические условия и требования к допускам на установку строительных конструкций, точность измерений определяют специальными расчётами также как и для построения внутренней разбивочной сети. Для приближенного решения задачи о назначении точности разбивочных работ и выполняемых при этом измерений эти расчёты обычно основаны на принципе равного или ничтожно малого влияния источников ошибок на величину строительного допуска.

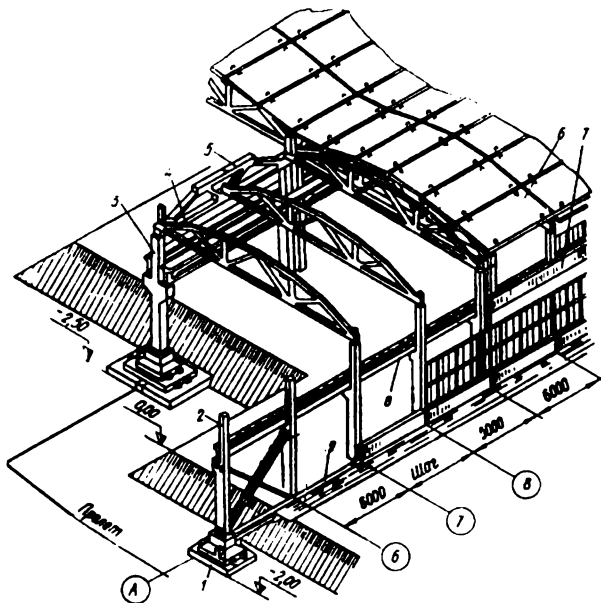


Рис. 6. Одноэтажное каркасное промышленное здание

Промышленные здания проектируют одноэтажными и многоэтажными, однопролётными и многопролётными. Чаще всего они по конструктивному типу являются каркасными и оборудованы подъёмно-транспортными кранами. Основные конструктивные элементы одноэтажного каркасного здания (рис. 6): фундаменты колонны 1, колонны пристенные 2 и средние 3, фермы стропильные 4 и подстропильные 5, панели перекрытия 6 и стеновые 7, подкрановые балки 8, фундаментные балки 9. Колонны размещают в соответствии с сеткой основных (разбивочных) осей здания – продольных и поперечных. Расстояние между продольными осями называют пролётом, а между поперечными – шагом колонн.

С целью индустриализации строительства применяют унифицированные габаритные схемы промышленных зданий, предусматривающих типизацию и стандартизацию их сборных конструктивных элементов. Унификации подлежат и названные основные строительные параметры (пролёты и шаги), а также высотные габариты, привязка элементов конструкций к основным осям и др.

Геодезическая разбивка и закрепление основных осей промышленных зданий, детальная разбивка фундаментов и установка строительных конструкций выполняется такими же способами, как и для жилищно-гражданских зданий.

Особое внимание уделяется установке в проектное положение колонн, являющихся основными несущими конструкциями здания и испытывающих большие нагрузки от других конструктивных элементов здания. При установке железобетонных колонн необходимо обеспечить точную разбивку фундаментальных стоек. Правильность установки на фундаментах металлических колонн, а также металлоконструкций и оборудования зависит от точности установки в плане и по высоте закладных частей (анкерных болтов, опорных плит и др.).

Анкерные болты на фундаментах под металлические колонны устанавливают от осей фундамента, которые выносят теодолитом и закрепляют на верхней части опалубки. Опорой для этих болтов при бетонировании служат деревянные или металлические шаблоны, закреплённые сверху опалубки.

На фундаментах под оборудование и тяжёлые агрегаты анкерные устройства и опорные плиты имеют сложную систему расположения в плане и по высоте. Для облегчения работы по их установке на каждую типичную группу анкерных устройств изготавливают специальный шаблон, называемый монтажным кондуктором. Кондуктор представляет собой рамное приспособление, изготовленное или из деревянных брусков или отрезков металлического швеллера, на котором в строгом соответствии с проектом расположения анкерных болтов просверлены отверстия. Установка анкерных болтов и опорных плит на проектные отметки выполняется при помощи нивелира. Так как установка анкерных устройств и других закладных частей является очень ответственным этапом, во многом определяющим качество монтажных работ, до бетонирования фундамента необходимо производить тщательный контроль их планового и высотного положения.

При постройке ленточных фундаментов стен выполняется разбивка вводов в здание подземных коммуникаций. На определённой отметке и по указанному в проекте расстоянию устанавливают в опалубке деревянные пробки, фиксирующие вводные отверстия для коммуникаций.

Каждая колонна становится на подготовленный для неё фундамент с анкерными болтами и опорной плитой таким образом, чтобы осевые метки на гранях у её основания совпали с осями фундамента, закреплёнными на его верхней плоскости. По вертикали колонна устанавливается при помощи отвесов, наклонным визированием теодолита или боковым нивелированием.

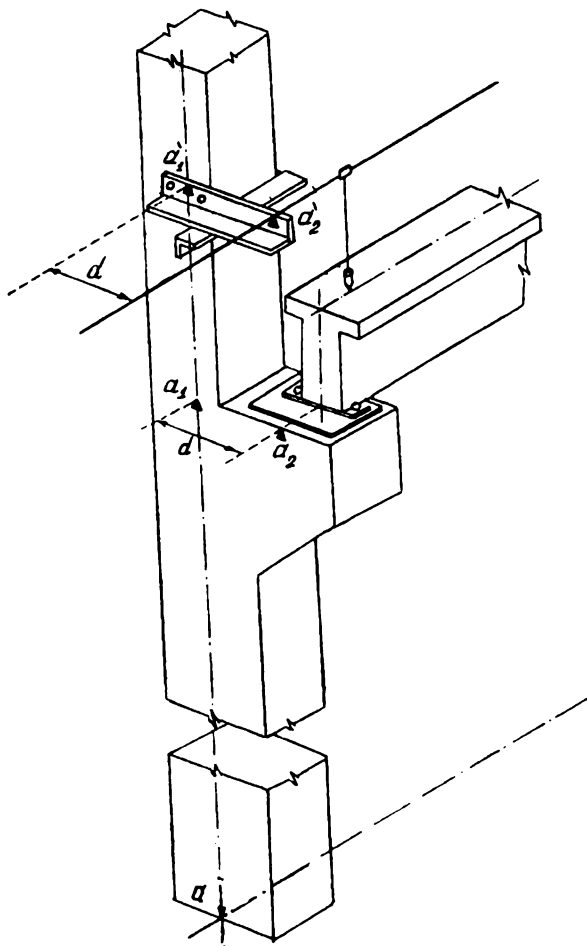


Рис. 7. Схема установки подкрановой балки

Установка подкрановых балок, ферм, ригелей (поперечных связующих балок для зданий без мостовых кранов) также выполняется совмещением осевых меток с обозначенными на консолях или верхних торцах колонн разбивочными осями. Перед

их установкой определяют фактические отметки опорных поверхностей колонн, чтобы при необходимости найти толщину прокладок для выравнивания конструкций по высоте.

На подкрановые балки устанавливают направляющие пути для перемещения мостового крана.

Для установки подкрановых балок разметка разбивочных осей на консолях может быть осуществлена наклонным лучом теодолита и промерами рулеткой. Сначала осевая метка a (рис. 7) у основания колонны переносится теодолитом на уровень консоли (точка a_1). Затем отложением проектного расстояния d между продольной осью колонн и осью подкрановой балки риской отмечается положение a_2 последней оси на консоли. При монтаже с полученными таким образом на каждой колонне рисками и совмещают осевые метки балок.

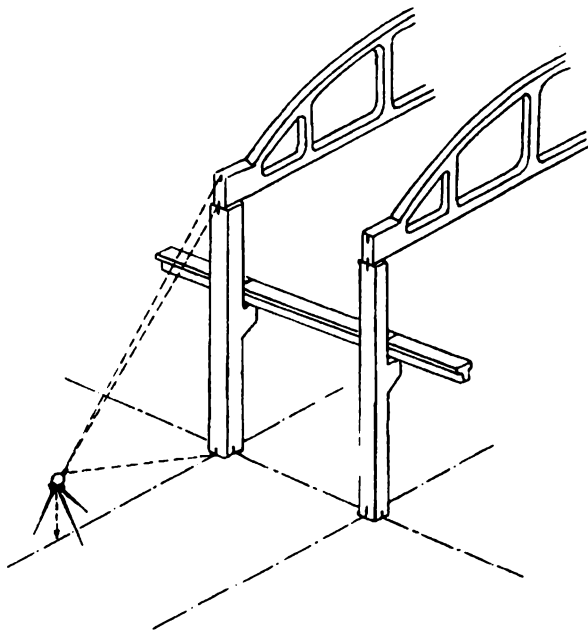


Рис. 8. Схема установки фермы

Для более точной прямолинейной установки подкрановых балок вдоль ряда колонн поступают следующим образом. Теодолитом нижняя осевая метка a колонны переносится на специальный кронштейн, прикреплённый к колонне выше балки. Затем так же, как и в первом случае, откладывают расстояние d и на кронштейне фиксируется положение a_2 монтажной оси. Между полученными таким образом метками на кронштейнах, прикреплённых к крайним колоннам, натягивается тонкая

струна, на которую у каждой колонны подвешивается нитяной отвес. Проектное положение балки достигается путём совмещения продольной оси балки с осью отвеса.

Установленные по осевым меткам стропильные и подстропильные фермы приводятся в вертикальное положение при помощи теодолита (рис. 8).

Разбивочные работы при монтаже строительных конструкций выполняют от пунктов внутренней разбивочной сети или от вынесенных в натуру и закрепленных разбивочных осей. Если условия монтажа (загруженность площадки, видимость, возможность размещения монтажных приспособлений и измерительной аппаратуры) не позволяет сделать это, то пользуются линиями, параллельными разбивочным осям. Местоположение этих линий и закрепляющих их знаков выбирают на проектных чертежах в удобном для измерений местах.

В процессе возведения зданий и сооружений наряду с детальными разбивочными работами, являющимися составной частью этого процесса, осуществляется постоянный геодезический контроль соответствия планового и высотного положения элементов, конструкций и частей зданий и сооружений проектным требованиям. После завершения строительно-монтажных работ и постоянного закрепления элементов, конструкций и частей зданий и сооружений выполняют их исполнительную геодезическую съёмку. Результаты съёмки представляют в виде исполнительных схем и чертежей, на которых показывают отклонения от проекта, фактические размеры строительных элементов и их взаимное положение. Допустимые отклонения различных строительных конструкций представлены в СНиП, например, в СНиП 3.03.01.87 -- Несущие и ограждающие конструкции. Приведём некоторые из них (в мм) для конструктивных элементов промышленного здания (см. рис. 6):

- смещение установочных ориентиров фундаментных блоков и стаканов фундаментов относительно разбивочных осей 12

- отклонение отметок дна стаканов фундаментов от проектных при устройстве выравнивающего слоя -5

- отклонение от совмещения ориентиров в нижнем сечении установленных элементов с ориентирами нижележащих элементов (колонн, панелей и крупных блоков несущих стен, объёмных блоков, ригелей, прогонов, балок, подкрановых балок и рельсов, подстропильных ферм, стропильных балок и ферм) 8

- отклонение осей колонн одноэтажных зданий в верхнем сечении от вертикали при длине колон (м):

до 4	12
4-8	15
8-16	20
16-25	25

- смещение оси подкрановой балки с продольной разбивочной оси 5

В практике строительно-монтажных работ установочными ориентирами называют риски (метки), фиксирующие геометрические оси устанавливаемых в проектное положение строительных элементов, конструкций.

5. Установка и выверка подкрановых путей

Мостовые краны являются основными средствами механизации подъёмно-транспортных операций на различных промышленных предприятиях. С их помощью поднимают, транспортируют и устанавливают тяжёлые машины и детали.

Мостовой кран состоит из металлического моста на ходовых колёсах, перемещающегося по подкрановым путям в виде железнодорожных или специальных рельсов. Подъём груза и перемещение его вдоль моста осуществляется грузовой тележкой. Крепление рельс к подкрановым балкам устраивается, как правило, подвижным, что позволяет легко и быстро смещать рельсы при их рихтовке в процессе выверки.

Нормальная эксплуатация мостовых кранов в значительной мере зависит от соблюдения технических требований, предъявляемых к геометрии подкрановых путей. Основные требования к плано-высотному положению подкрановых путей выражаются следующими условиями: каждая из ниток рельсов должна быть параллельной и горизонтальной; обе нитки рельсов должны быть параллельными, лежать в одной горизонтальной плоскости и находиться на расстоянии, соответствующем длине пролёта мостового крана. Правилами устройства и безопасной эксплуатации грузоподъёмных кранов установлены предельные значения допустимых отклонений геометрических параметров подкрановых путей от проектных, не вызывающие существенных нарушений условий работы кранов и мало влияющих на траекторию их движения. Такими допусками, определяющими максимальную величину изменения соответствующих параметров путей в процессе их эксплуатации, являются следующие:

- разность отметок головок подкрановых рельсов в одном поперечном сечении – 40 мм, на соседних колоннах – 10 мм;
- сужение или уширение колёсного рельсового пути 15 мм;
- взаимное смещение торцов стыкуемых рельсов в плане и по высоте 2 мм;
- зазоры в стыках рельсов при $t=0^\circ$ и длине рельса 12,5 м не более 6 мм, при $t=20^\circ$ не более 3 мм.

Геодезическое обслуживание мостовых кранов не ограничивается только работами, связанными с монтажом подкрановых путей в процессе строительства. При эксплуатации кранов геодезическим методом осуществляется систематический контроль за положением подкрановых путей. Необходимость в этом вызвана изменением их геометрических параметров вследствие воздействия силовых нагрузок крана, осадок фундаментов и несущих колонн, деформаций подкрановых балок, износа рельс и деталей его крепления и др.

Расположение подкрановых путей на значительной высоте от пола обуславливает специфику выполняемых при их монтаже и выверке геодезических работ.

Оси рельсов разбивают от основных осей сооружения, например, от оси пролёта (продольной оси симметрии подкрановых путей), и выносят на специальные кронштейны над балками, или на боковую поверхность колонн.

В зависимости от ширины колеи подкрановых путей и условий производства работ возможны различные варианты разбивки осей рельсов и переноса их на горизонт монтажа подкрановых балок, а затем рельсов.

Если ширина колеи не превышает длину мерного прибора, то ось одной из ниток рельсов разбивают внизу путём отложения от оси пролёта по перпендикуляру к ней проектного расстояния между осью рельса и осью пролёта. Разбивку точек оси производят в начале и в конце подкранового пути, а также равномерно вдоль него, но не реже, чем через 50 – 60 м. Полученные осевые точки надёжно закрепляют. Найденную таким образом разбивочную ось выносят на монтажный горизонт, закрепляя ее точками на специальных кронштейнах над балками или на колоннах. Если позволяет длина мерного прибора, то ось второй нитки рельсов разбивают отложением расстояния, соответствующего ширине колеи подкрановых путей, и закрепляют на втором ряду колонн.

В вынужденных случаях внизу разбивают и закрепляют линию, параллельную оси рельса и смещённую на 10 –15 см. В этом случае проектное положение оси рельса наверху находится с учётом принятой величины смещения.

Вынесение оси рельса с закреплённых внизу осевых точек наверх осуществляется отвесами, теодолитами, приборами оптического вертикального проектирования.

В ряде случаев возможно производить разбивку оси одной нитки рельса наверху крайних и некоторых промежуточных (через 50 – 60 м) колонн путём отложения проектных размеров от осевых рисков колонн до оси рельса.

При ширине колеи, меньшей длины мерного прибора, положение разбивочных осей обеих ниток рельсов может быть определено непосредственно относительно оси пролёта, обычно закрепляемой осевыми знаками при разбивке основных осей сооружения. Разбивку производят при помощи теодолита и рулетки. Теодолит устанавливают на одной из осевых точек и ориентируют вдоль оси, наводя на визирную марку, установленную на другой осевой точке.

Между парой колонн в пролёте натягивают рулетку, на которой соответствующими отсчётами с учётом поправок за провес, компарирование и температуру фиксируют положение оси пролёта и обеих осей рельсов. Кроме того, положение оси пролёта на рулетке обозначается маркой. Натянутую рулетку передвигают до совмещения по соответствующим отсчётам на концах рулетки отмечают точки осей рельсов на колоннах или на специальных кронштейнах. Разбивку выполняют при двух положениях вертикального круга теодолита и берут среднее положение.

Если ширина колеи подкрановых путей превышает длину мерного прибора, то внизу разбивают оси обеих ниток рельсов. Непосредственными промерами проверяют фактическое расстояние между осями, которое должно соответствовать проектной ширине колеи с учётом величины смещения осей.

По окончании монтажа и многократной обкатки путей производят планово-высотную съёмку, и если параметры путей отклоняются от заданных на недопустимые величины, то производят их рихтовку.

При эксплуатации мостовых кранов ведётся постоянный геодезический контроль за сохранением планового и высотного положения подкрановых путей. В состав геодезических работ по определению фактического положения путей входят: измерения расстояния между подкрановыми рельсами (ширины колеи), определение прямолинейности, нивелирование подкрановых путей.

Измерение расстояния между подкрановыми рельсами. В зависимости от конструкции подкрановых путей и условий производства геодезических работ расстояние между подкрановыми рельсами определяют непосредственным измерением или косвенным методом.

Непосредственное измерение при помощи рулетки или другого мерного прибора выполняют, если ширина колеи не превышает длины мерного прибора и доступна для измерения.

Мерный прибор натягивают между точками, фиксирующими ось симметрии головок рельс. При необходимости учитывают поправки за компарирование, температуру и провес мерного прибора. Поправка за провес, которая вводится в случае, если мерный прибор эталонировался на плоскости, вычисляется по известной формуле

$$\Delta L = -\frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{L}, \quad (5)$$

где L -- измеряемое расстояние, f -- стрелка провеса прибора.

Так как ширина колеи на всём протяжении пути изменяется в небольших пределах, то её определение в любом поперечнике пути может быть сведено к измерению небольших расстояний a_1 и a_2 между рельсами и концами постоянно закрепляемого базиса B . Ширина колеи в этом случае может быть представлена формулой

$$L - B - a_1 + a_2.$$

Базис может быть обозначен на раме мостового крана, на специальной облегченной балке, перемещающейся по рельсам, или гибком натянутом стержне (ленте, проволоке).

Для измерения малых отрезков углов применяют различные приборы и устройства. Простейшими из них являются приборы для механического измерения линейных величин (прогибомеры, штангенциркули, индикаторы часового типа и т.п.). С использованием их разработаны устройства для механического измерения относительных отклонений ширины колеи. В основу автоматических приборов для таких измерений положен принцип электрического измерения линейных величин. В этих приборах используется потенциометрический датчик линейных перемещений, который преобразует относительные линейные перемещения в электрический сигнал.

В методе косвенного измерения ширину колеи определяют из линейно-углового геодезического построения. Вид геодезического построения зависит от условий производства измерений.

Если позволяют условия, в пролёте на уровне пола разбивают базис и с его концов определяют положение рельсов прямой угловой засечкой. При большой

протяжённости подкрановых путей создают специальную опорную геодезическую сеть, стороны которой служат базами засечки.

По полученным координатам осевых точек рельсов вычисляют ширину колеи, а также могут быть определены отклонения рельс от прямолинейности.

Одной из распространённых в практике геодезических построений является следующая схема (рис. 9).

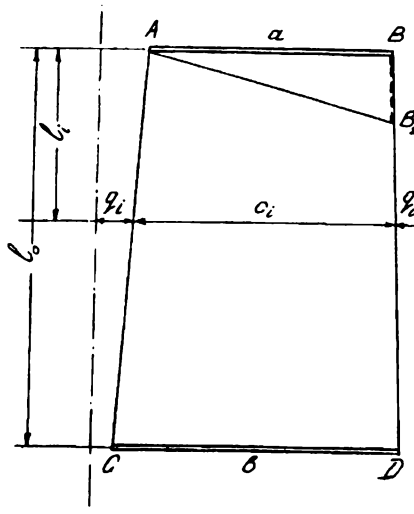


Рис. 9. Схема определения ширины колеи подкранового пути

Измеряют два базиса a и b , расположенные на уровне рельсов, а также отклонения q_i и q_i' осевых точек рельс от линии AC и BD . Ширина колеи в поперечнике будет

$$l_i = c_i + q_i + q_i', \quad (6)$$

где

$$c_i = a + (b - a)(l_i / l_0).$$

Расстояние l_i достаточно взять приближённо с точностью 0,1 – 0,2 м. Они могут быть взяты из рабочих чертежей. Базисы a и b измеряют непосредственно или определяют косвенным методом. В последнем случае вспомогательный базис BB_i для определения базиса a из треугольника ABV_i удобно расположить непосредственно на рельсе.

Для определения ширины колеи может быть применён метод прямой угловой засечки с использованием лазерного теодолита. Сущность метода заключается в следующем (рис. 10). Непосредственно на мостовом кране или на уровне пола разбивается базис d . На одном конце базиса в точке A устанавливают лазерный теодолит и откладывают угол α_2 , наводят луч лазера на боковую грань левого рельса. Обычным теодолитом, расположенным на другом конце базиса в точке B ,

измеряют угол β_1 между линией базиса и направлением на лазерное пятно первого теодолита. Затем лазерный луч наводят на точку Е правого рельса и измеряют углы α_1 и β_2 .

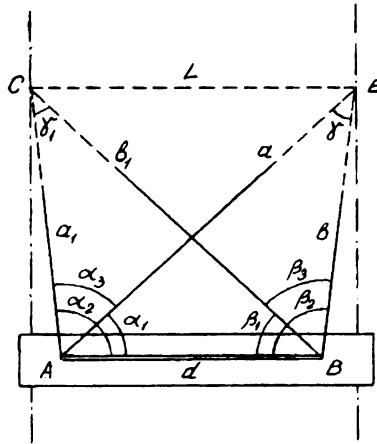


Рис. 10. Прямая угловая засечка лазерным теодолитом при определении

Ширина колеи вычисляется как среднее из величин, полученных по формулам:

$$L = \sqrt{a^2 + a_1^2 - 2aa_1 \cos \alpha_3} + \Delta L;$$

$$L = \sqrt{b^2 + b_1^2 - 2bb_1 \cos \beta_3} + \Delta L, \quad (7)$$

где ΔL - ширина головки рельса;

$$a = \frac{d}{\sin \gamma} \sin \beta_2; \quad a_1 = \frac{d}{\sin \gamma_1} \sin \beta_1;$$

$$b = \frac{d}{\sin \gamma} \sin \alpha_1; \quad b_1 = \frac{d}{\sin \gamma_1} \sin \alpha_1;$$

Расположение базиса на мостовом кране позволяет производить измерения на всём протяжении подкрановых путей, перемещая кран.

Определение непрямолинейности путей. Для определения непрямолинейности путей применяют различные способы створных измерений. За исходные створы, относительно которых определяют отклонения, принимают прямые линии, закреплённые вблизи рельсовых ниток. Эти линии особенно удобно располагать, так чтобы они проходили через осевые точки рельсов в начале и конце пролёта.

В струнном способе расстояние между струной и рельсом измеряют линейкой с миллиметровыми делениями. Если струну располагают несколько выше рельса, то для проскирования её на уровень верхней грани рельса применяют специальные, разработанные для этой цели устройства. Например, в зеркальном отвесе (рис. 11)

проекцию головки рельса определяют по совмещению отражений струны в двух горизонтальных и параллельных зеркалах 1 и 4, расположенных на разных уровнях. На верхнем зеркале нанесена шкала и укреплен уровень 2. Отвес устанавливают так, чтобы нулевой штрих 3 совпадал с вертикальной плоскостью, проходящей через ось рельса. Отражения струны в обоих зеркалах визуально совмещают в одну линию. Используя эту линию как индекс, берут отсчёт по шкале, который является отклонением оси рельса от струны.

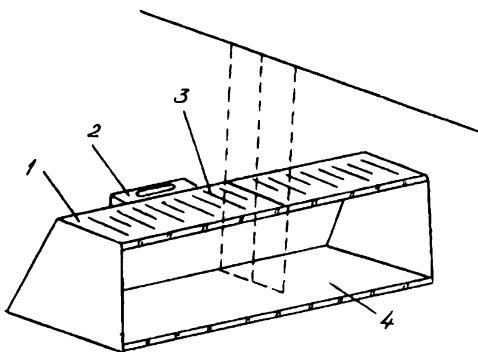


Рис. 11. Зеркальный отвес

Базисные прямые линии, относительно которых определяют отклонения рельс, например, например, АС и ВД (см. рис. 9), могут быть закреплены на уровне пола. Для проектирования этих линий на уровень подкрановых путей и закрепления струнным створом применяют приборы оптического вертикального проектирования.

В оптическом способе створ задают визирной осью зрительной трубы теодолита, устанавливаемого на уровне рельсов или на полу.

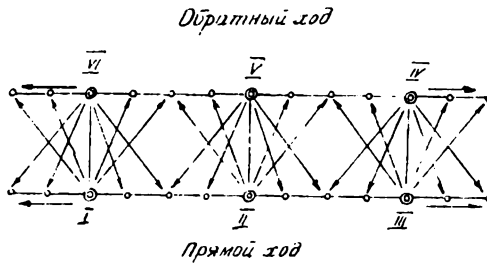
Отклонения от створа измеряют по горизонтальной рейке, которая прикладывается нулём или пяткой к оси рельса. Отклонения от створа, закреплённого точками на рельсе в начале и в конце пролёта, могут быть измерены способом подвижной марки и способом измерения малых углов.

Для проверки прямолинейности путей удобно применять лазерные приборы (лазерные визиры, теодолиты, нивелиры). Лучом лазера задают створ, отклонения от которого измеряют визуально, фоторегистрирующим устройством или с использованием промышленной телеустановки. Для визуальной регистрации отклонений на головку рельса устанавливают экран с координатной сантиметровой сеткой, по которой фиксируют положение центра лазерного пятна относительно оси рельса.

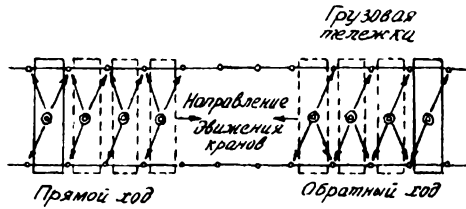
Применение телевизионной установки позволяет выполнять визуальные измерения дистанционно по телевизионному изображению на экране.

Разработаны различные автоматические системы для съёмки подкрановых путей при помощи лазерного прибора и фоторегистрирующего устройства.

а



б



в

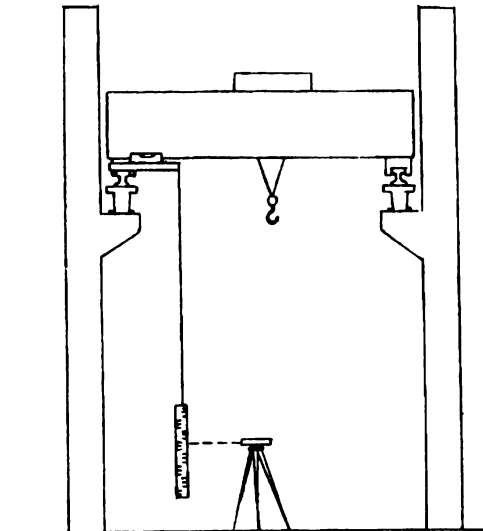


Рис. 12. Схема нивелирования подкрановых путей

Косвенное определение прямолинейности путей, так же как и рассмотренное выше косвенное определение ширины колеи, основано на определении координат осевых точек рельсов методом прямой угловой засечки относительно опорных пунктов (концов базиса, пунктов геодезической сети). Отклонения рельсов относительно створа, заданного крайними точками пролёта, могут быть вычислены по формуле

$$q = (y_i + y_A) \cos \alpha - (x_i - x_A) \sin \alpha, \quad (8)$$

где y_i, x_i – координаты осевой точки рельса;

y_A, x_A – координаты точки, закрепляющей створ;

α – дирекционный угол створа.

Нивелирование подкрановых путей. Для определения высотного положения рельсов применяют геометрическое, тригонометрическое и гидростатическое нивелирование.

Схема геометрического нивелирования для случаев установки нивелира на противоположных нитках рельсов и на мостовом кране представлены соответственно на рис. 12 а, б. Каждое превышение в замкнутом полигоне следует измерять независимо, что обеспечивает получение более надёжных результатов.

При установке нивелира на полу измерения можно выполнять по подвешенной к мостовому крану рейке. Рейка связана с верхней гранью рельса при помощи горизонтально устанавливаемого бруска (рис. 12 в). Вместо рейки можно использовать рулетку с грузом на конце. В процессе нивелирования кран передвигают к определённым по высоте точкам.

Тригонометрическое нивелирование применяют, когда рельсы труднодоступны для установки на них нивелира и реек. Расстояние от теодолита до нивелируемых точек находят по результатам определения планового положения методом прямой угловой засечки.

В ряде случаев, когда применение геометрического и тригонометрического связано с трудностями или невозможно из-за неблагоприятных условий, контроль за высотным положением подкрановых путей можно выполнять гидростатическим нивелированием.

Плановое и высотное положение подкрановых путей, полученное в результате измерения ширины колеи, определение прямолинейности путей и нивелирования обычно представляют на исполнительных чертежах.

Результаты геодезической съёмки геометрических параметров подкрановых путей служат основой для производства рихтовочных работ, целью которых является приведение рельсов в оптимальное положение, обеспечивающее соблюдение технологических допусков. В основе оптимизации планового положения рельсов лежит определение выравнивающих прямых с максимальным приближением этих прямых к фактическому положению рельсов.

При сравнительно небольших деформациях подкрановых путей оптимальные величины рихтовок V_i чаще всего находят по методу наименьших квадратов, под

условием $\sum_{i=1}^n V_i^2 = \min$, на основе алгоритма параметрического способа уравнивания геодезических измерений.

При значительных отклонениях подкрановых рельсов вследствие деформаций фундаментов, колонн, подкрановых балок задача по оптимизации рихтовок решают под условием $\sum_{i=1}^n V = \min$ или $\sum_{i=1}^n |V| = \min$.

Величины деформаций могут быть настолько большими, что приходится проводить совместную рихтовку подкрановых балок и рельсов. В этом случае целесообразно применение вместо прямых криволинейных оформляющих линий.

6. Установка и выверка технологического оборудования

При монтаже технологического оборудования промышленных сооружений выполняют геодезические работы, целью которых является установка оборудования в проектное положение с заданными допусками, а так же определение его фактического положения после окончательного закрепления и периодически при эксплуатации.

Различного назначения оборудовани: машины, агрегаты, установки, технологические узлы и блоки, включённые в единый технологический процесс или автоматическую производственную линию, требуют соблюдения ряда геометрических условий по их расположению и взаимному сопряжению.

Как правило, геодезические работы по установке технологического оборудования выполняют в сочетании с монтажно-контрольными измерениями, в основе которых лежат методы и технические средства измерений, применяемые в машиностроении.

Отклонения от проектных размеров и отметок, определяющих положение технологического оборудования, не должны превышать допусков, указываемых в нормативных документах или в проектной технической документации. Основными условиями геометрических взаимосвязей элементов оборудования, соблюдение которых достигается в процессе монтажа и контролируется при эксплуатации геодезическими и другими измерениями, являются горизонтальность, вертикальность, прямолинейность, соосность, параллельность и перпендикулярность. Ошибки геодезических измерений при монтаже оборудования должны быть не более 0,1 – 0,2 величины допускаемых отклонений, указанных в нормативных документах.

Технологические оси оборудования определяют схему его расположения. Взаимное положение этих осей и требования к его точности определяются технологическим процессом сооружения. Проекции технологических осей различного связанного между собой оборудования в двух взаимно перпендикулярных плоскостях могут быть в виде прямой, окружности, сложных кривых. В общем случае к точности расположения технологических осей оборудования относительно основных осей здания и сооружения не предъявляет жёстких требований.

При расположении технологических осей отдельных единиц оборудования на одной проектной прямой установка оборудования осуществляется относительно этой прямой, вынесенной и закреплённой определённым образом в натуре. Эту прямую, закреплённую не менее чем двумя геодезическими знаками, называют *монтажной осью*. Конструкция знаков, как опорных пунктов для установки и контроля положения оборудования, должна обеспечивать их долговременную сохранность и стабильность, а так же центрирование на них геодезических инструментов и другой измерительной аппаратуры. В случае значительной длины монтажной оси её закрепляют рядом точек.

Установку оборудования относительно монтажной оси производят по закреплённым на нём геодезическим знакам, привязанным к технологическим осям оборудования. Эти знаки могут быть в виде рисок (меток) на оборудовании. Как правило, их располагают на гранях оборудования в вертикальной плоскости, проходящей через технологическую ось или в смещённой и параллельной ей плоскости.

Если технологические оси оборудования не параллельны, то монтажная ось может быть представлена системой азимутально связанных прямолинейных отрезков. При такой или более сложной геометрии расположения технологического оборудования роль монтажных осей могут играть стороны специально создаваемой монтажной геодезической микросети. От пунктов такой сети и ведётся вся установка оборудования. В этом случае координаты пунктов сети и геодезических знаков на оборудовании должны быть вычислены в одной системе координат. Это необходимо, чтобы иметь возможность рассчитать разбивочные элементы для принятых при установке методов разбивки.

Плановая установка технологического оборудования относительно монтажной оси производится главным образом створными способами разбивки, например, струнным или струнно-оптическим с применением оптических приборов вертикального проектирования при закреплении струны на некотором расстоянии над оборудованием. Одна из распространённых схем плановой установки оборудования представлена на рис. 13. Смещённую монтажную ось $A'B'$ закрепляют на оптимальном для разбивочных работ расстоянии L от технологической оси AB . Установку оборудования по геодезическим знакам 1 и 2, привязанных к технологической оси AB размерами a_1 , b_1 , a_2 и b_2 , осуществляется методом прямоугольных координат, отложением разбивочных элементов l , r и $\beta=90^\circ$.

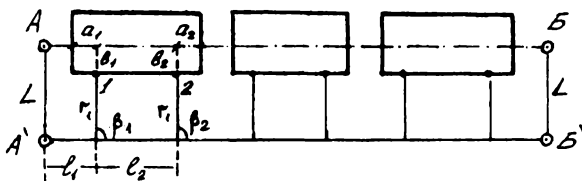


Рис. 13. Схема плановой установки технологического оборудования

Если позволяют расстояния от смещённой оси до оборудования и условия монтажной площадки, установку и выверку оборудования удобно производить при помощи шаблонов или специальных приборов ординатометров. На рис. 14 представлена схема шаблона простой конструкции для установки оборудования цилиндрической формы. Уровнем 3 шаблон приводят в горизонтальное положение. При установке оборудование перемещают до совмещения визирной цели 1 с монтажной осью, задаваемой струнным или оптическим створом. При контроле положения оборудования створным методом определяют положение визирной цели 1 относительно шаблона. На рис. 15 показана схема шаблона типа нутромера с индикатором часового типа. В процессе установки оборудования таким шаблоном марку 1 располагают в створе монтажной оси, затем оборудование смещают пока отсчёт по индикатору не будет соответствовать откладываемому расстоянию.

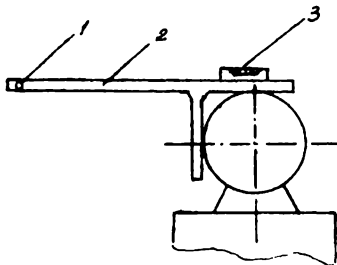


Рис. 14. Шаблон для установки цилиндрического оборудования

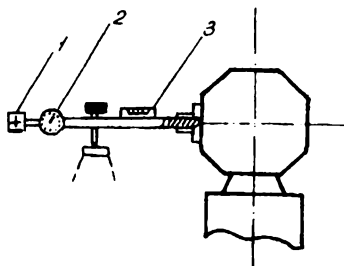


Рис. 15. Нутромер с индикатором часового типа

В некоторых случаях установка оборудования выполняется не по геодезическим знакам, а непосредственно по его технологическим осям. При этом на торцах оборудования фиксируют положение осей при помощи специальных вкладышей или разметки. Оси оборудования с симметричным полым профилем в рабочей части фиксируются чаще всего цилиндрическими или коническими вкладышами с обозначенными на них визирными целями в виде биссектора или перекрестья (рис. 16).

При выверке прямолинейности и соосности таких промышленных установок как компрессоры, насосы, турбины, генераторы, технологические трубопроводы и др. применяют специальные центрирующиеся визирные марки, при помощи которых фиксируют центр цилиндрических отверстий (расточек) оборудования (рис. 17).

Установку оборудования по высоте обычно выполняют точным геометрическим нивелированием, микронивелиром или гидростатическим прибором от знаков, закрепляющих монтажную ось и имеющих отметки, или от реперов внутренней высотной сети. При геометрическом нивелировании применяют малогабаритные рейки с точными шкалами. Пятки реек делают сферическими для установки на плоскости или плоскими для шаровых реперов (рис. 18).

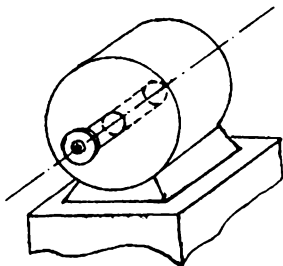


Рис. 16. Вкладыш для фиксирования оси цилиндрического отверстия

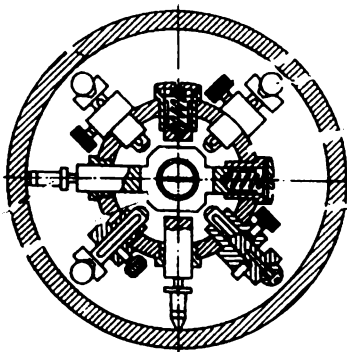


Рис. 17. Центрирующаяся визирная марка для установки оборудования с цилиндрическим отверстием

Для окончательной установки точек и плоскостей оборудования на проектную отметку используют индикаторное устройство (рис. 19). Оно состоит из подставки с подъёмными винтами и стойкой, а также передвигаемого по стойке мостика с уровнем и индикатором часового типа. После приближённой установки оборудования определяют точные фактические отметки выверяемых точек и находят величины отклонений от проектных значений. Установив стрелку индикатора на

нуль, изменяют высоту оборудования, добиваясь, чтобы отсчёт на индикаторе был равен величине отклонения.

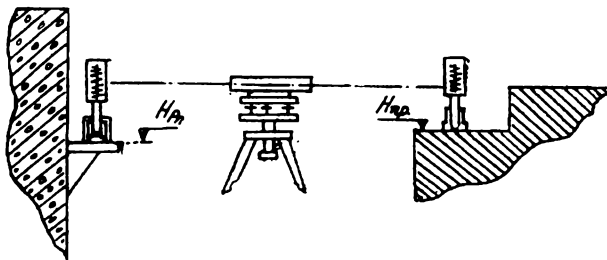


Рис. 18. Установка оборудования нивелиром

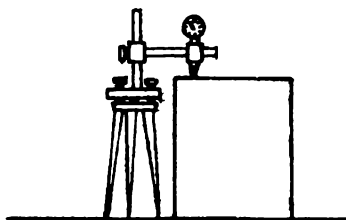


Рис. 19. Индикаторный способ установки оборудования

В монтажных работах в понятие соосности оборудования входит прямолинейность одновременно в двух плоскостях, например, в горизонтальной и вертикальной. Выверка соосности в вертикальной плоскости всегда выполняется методами нивелирования, а в горизонтальной плоскости створными методами. Для выверки прямолинейности и соосности применяют приборы, основанные на методах оптической алинеометрии, автоколлимации и авторефлексии.

Для автоматизации выверки прямолинейности используют фотоэлектрические устройства, измеряющие отклонения отдельных точек выверяемой линии относительно референтной прямой, задаваемой осью лазерного пучка.

В МИИГАНК разработан автоматизированный способ выверки линий по принципу *последовательного интегрирования*.

Примем, что проекция выверяемой линии на горизонтальную и вертикальную плоскости выражается уравнениями кривых

$$y=f_1(x); z=f_2(x). \quad (4)$$

При этом ось x совмещается с опорной (референтной) прямой.

Тогда для некоторой точки с абсциссой x отклонения от опорной прямой в плане

$$y(x_i) = \int_0^{x_i} \frac{dy}{dx} dx \quad (5)$$

и по высоте

$$z(x_i) = \int_0^{x_i} \frac{dz}{dx} dx \quad (6)$$

где производные $\frac{dy}{dx}$ и $\frac{dz}{dx}$ равны тангенсам углов между осью абсцисс (опорной прямой) и касательными к текущим точкам кривых $y=f_1(x)$ и $z=f_2(x)$.

Так как обычно в установленных линиях отклонения отдельных секций от прямой небольшие и в угловой мере не превышают нескольких минут, то в качестве производных можно брать величины самих углов отклонения, выраженные в радианах.

Уравнение (5) лежит в основе способа последовательного интегрирования. Для выверки линий этим способом необходимо:

- 1) задание опорной прямой (оси x),
- 2) непрерывное измерение угловых точек выверяемой линии от опорной прямой,
- 3) непрерывное измерение расстояния от начала линии до выверяемой точки,
- 4) последовательное интегрирование угловых отклонений по расстоянию,
- 5) регистрация полученных результатов интегрирования.

Необходимая точность измерения угловых отклонений и расстояния может быть рассчитана исходя из допустимой ошибки выверки линий.

Блок-схема прибора, основанного на принципе последовательного интегрирования, приведена на рис. 20, где I – передающая система, II – приёмная система.

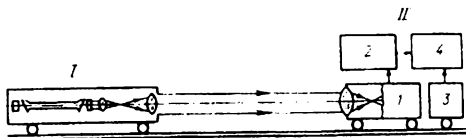


Рис. 20. Блок-схема автоматического прибора для выверки прямолинейности

В качестве референтной линии используется излучение лазера, расходимость пучка лучей которого сводится до минимума применением коллимирующей системы. В измерительном фотоэлектрическом устройстве I излучение разделяется на две части, энергия которых сравнивается между собой. При угловом повороте входного зрачка устройства I относительно оси лазерного пучка возникает разность энергии, которая компенсируется поворотом плоско-параллельной пластинки. Измеряемый при этом угол поворота преобразуется в электрические сигналы и подаётся в интегратор 2. Одновременно датчик пути 3 вводит туда пройденное расстояние. Результаты интегрирования передаются в регистрирующее устройство 4.

При установке и выверке технологического оборудования наряду с геодезическими методами широко применяют приборы и устройства машиностроительной измерительной техники.

Для линейных измерений используют штангенциркули и штангенрейсмусы, штриховые и концевые меры длины, нутромеры, скобы с отсчётными устройствами. Нутромеры - концевые меры стержневого типа с коническими, сферическими или уголковыми наконечниками служат для измерения (отложения) линейных размеров контактным способом. Наиболее точными являются нутромеры с индикатором часового типа. Микрометрический индикаторный нутромер со сборными стержнями различной длины рассчитан на измерение расстояний до 10 м.

Нутромерами выверяют соосность отверстий оборудования в створе монтажной оси струнным способом, устанавливая равными радиальные расстояния между струной и стенками отверстия. Для повышения точности измерений контакт между наконечником нутромера и струной фиксируется электрическим способом (по сигналу звонка или звукового генератора).

При небольших расстояниях нутрометр удобен для выверки параллельности базовых плоскостей оборудования.

Катетометрами измеряют вертикальные отрезки, недоступные для непосредственного измерения. Принцип действия катетометра основан на сравнении измеряемого отрезка с миллиметровой шкалой катетометра путём последовательного визирования трубой с горизонтальной визирной осью на начало и конец измеряемого отрезка и взятия соответствующих отсчётов по шкале. Шкала прикреплена к вертикальной шкале, по которой при измерении перемещается зрительная труба.

Для выверки горизонтальности и вертикальности плоскостей оборудования могут служить различные по конструкции уровни (монтажные брусковые и уголковые, с микрометрическим винтом, электронные). Для выверки горизонтальности или вертикальности обработанных поверхностей с размерами, превышающими длину базы (основания) уровня, используют поверочные линейки, устанавливаемые на выверяемую поверхность.

Для измерения углов наклона плоских и цилиндрических элементов оборудования, а также установки их под заданным углом к горизонту применяют оптический квадрант, устройство которого подобно вертикальному кругу теодолита.

Техническое оборудование промышленных сооружений различного назначения отличается конфигурацией, размерами и компоновкой. Поэтому и геодезические работы по его установке и выверке имеют свою специфику.

Рассмотрим в общем виде некоторые из них.

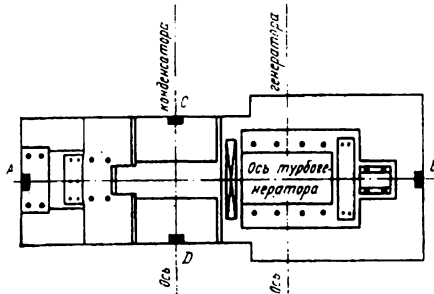


Рис. 21. Разбивка осей турбогенератора

Турбогенераторы. После возведения фундамента уточняют положение основной продольной оси турбогенератора, совмещая её с осью симметрии анкерных болтов. Закреплённые на фундаменте знаками А и В эта ось является монтажной осью, относительно которой выполняются дополнительные разбивки и выверки элементов оборудования (рис. 21). Строго перпендикулярно к этой оси закрепляют поперечную ось – ось конденсатора CD. Высокоточным нивелированием устанавливают и закрепляют анкерными болтами фундаментные рамы. Ошибка их положения по высоте должна быть не более 0,2 мм на 1 м длины.

При установке турбогенераторов добиваются, чтобы оси роторов совпадали с осями статоров и чтобы ось турбины и ось генератора являлись продолжением одна другой, составляя общую ось турбогенератора, которая в проекции на горизонтальную плоскость давала бы прямую линию, а в проекции на вертикальную плоскость – плавную кривую, соответствующую так называемой *упругой линии валов*.

Как известно, под влиянием собственной массы оси (валы) горизонтальных турбин и генераторов имеют некоторый прогиб (рис. 22). Вследствие этого при установке ротора в горизонтальное положение уровень на шейках вала будет отклоняться от нуля-пункта и показывать некоторый подъём шсек от середины вала. По величине этого отклонения можно подсчитать примерную величину стрелки прогиба вала по формуле

$$f = \frac{i'' \cdot l}{4\rho''}, \quad (7)$$

где l – расстояние между точками опоры оси вала;

i – угол наклона вала.

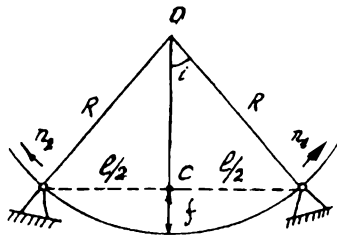


Рис. 22. Определение наклона оси ротора

Величина угла i определяется по показаниям n_1 и n_2 накладного уровня на точках опоры вала:

$$i'' = \tau'' \frac{n_1 - n_2}{2}, \quad (8)$$

где τ'' – цена деления уровня;

n_1 и n_2 – отклонения пузырька уровня от нуля-пункта на шейках вала в точках опоры.

Вследствие прогибов роторов турбины и генератора при их горизонтальном положении торцевые плоскости соединительных полумуфт не будут между собой

параллельны, имея сверху некоторое раскрытие. Для достижения параллельности этих плоскостей крайние концы присоединяемых роторов приподнимают с таким расчётом, чтобы уклон около соединительных полумуфт был одинаковым.

Монтаж турбогенератора начинают с установки на фундаментную плиту статора турбины. Проверив плановое положение цилиндров и корпусов подшипников по отношению к продольной и поперечной осям фундамента, приступают к выверке (центровке) этих частей.

При выверке осей цилиндров и корпусов подшипников придают при помощи накладного уровня с ценой деления 5 - 10'' продольные уклоны, соответствующие линии валов турбины.

Установку осей цилиндров и корпусов подшипников производят по струне диаметром 0,3 - 0,5 мм, закреплённой в створе монтажной оси на уровне осевой линии роторов. Выверку выполняют при помощи нутромера с микрометрическим винтом, добиваясь равенства расстояний от струны до сторон расточки цилиндров. При применении створного оптического способа ось цилиндров фиксируют центроискателем (рис. 23). Действие центроискателя основано на том, что центром расточки 1 является центр окружности, проведённой через концы трёх его ножек 2. Равенство ножек и их касание сторон расточки достигается перемещением конуса, расположенному в корпусе 3 с визирной маркой 4. Для использования в расточках разного диаметра на ножки наворачивают удлинители 5.

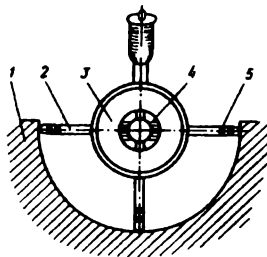


Рис. 23. Центроискатель цилиндров

Закончив выверку статора турбины, надёжно закрепляют анкерные болты и приступают к установке ротора. При этом добиваются, чтобы вал ротора располагался на одинаковом расстоянии от стенок расточки уплотнения и чтобы полумуфты роторов высокого и низкого давления были расположены концентрично и торцевые плоскости их были параллельны между собой. Одновременно накладным уровнем выверяют наклон каждой шейки вала. Аналогично устанавливают ротор и статор генератора и проверяют по полумуфтам правильность сопряжения роторов турбины и генераторов. Ошибки при этих измерениях допускают не более 0,03 - 0,05 мм.

При плановой выверке турбогенераторов следует учитывать большие температуры и вибрационные деформации, возникающие в процессе работы ротора и приводящие к смещению его центра, и соответственно сдвигать центр статора.

Вращающиеся печи. Вращающиеся печи находят широкое применение в различных отраслях промышленности. Их размеры могут достигать в длину 200 м, в диаметре 7 м. При установке таких печей в проектное положение необходима повышенная точность и периодическая выверка в период эксплуатации.

Вращающаяся печь опорными кольцами устанавливается на роликовые опоры, которые покоятся на решётчатой фундаментной раме, закреплённой анкерными болтами в фундаменте. Ось вращения печи наклонена к горизонтальной линии на небольшой расчётный угол (1,5 - 2°).

При монтаже вращающейся печи добиваются выполнения ряда геометрических условий: 1) ось вращения печи и образующая её смонтированной боковой поверхности должны представлять прямую линию и находиться под заданным уклоном к горизонту; 2) оси роликовых опор должны быть параллельны оси вращения печи; 3) продольная ось фундаментных рам должна лежать в осевой вертикальной плоскости печи, а наклон верхней плоскости рам должен строго соответствовать расчётному наклону оси вращения печи.

Проектные высоты фундаментных рам соблюдаются с предельной ошибкой не более 1 мм, плановое положение продольной оси – не более 2 мм.

Разбивка монтажных осей вращающейся печи на фундаменте производится с относительной ошибкой 1/10 000 – 1/15 000. Оси роликовых опор устанавливают с допуском отклонением 0,1 мм на 1 м длины.

При монтаже вращающихся печей применяют точные теодолиты и нивелиры. Линейные промеры выполняют инварными рулетками, а на больших расстояниях высокоточными светодальномерами. Наклон роликовых опор задают при помощи специального клина с точным уровнем на верхней плоскости; угол клина должен соответствовать углу наклона оси вращения печи.

При исполнительных съёмках контролируют проектные высоты, положение продольных и поперечных осей, диаметры опорных колец со средней квадратической ошибкой не более 0,5 мм.

В процессе работы нагруженной печи происходит деформация системы «вращающаяся печь - фундамент». За счёт динамических усилий и термических влияний прямолинейные оси системы приобретают вид некоторых кривых. Для выверки работающих печей создают закреплённый створ, примерно параллельный оси печи, и от пунктов этого створа измеряют расстояния до центров колец на всех опорах. Ошибка определения этих расстояний не должна превышать 1 мм.

При отсутствии видимости между крайними пунктами створа сооружают площадки для наблюдателя, высота которых над опорами 2,5 – 3 м, в холодном и горячем концах печи.

Искривление оси печи в вертикальной плоскости определяют при помощи нивелирования низа опорных колец смежных опор.

В процессе эксплуатации печи происходят значительные колебания фундамента, вызывающие некоторые плановые и высотные смещения марок, установленных для наблюдений за деформациями агрегата. Чтобы уменьшить влияние этих ошибок на результаты измерений, следует во всех циклах производить

наблюдения при одном и том же положении корпуса печи (например, при люках корпуса внизу), при этом желательны применять нивелиры с компенсаторами.

7. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа

Среди промышленных сооружений выделяются своеобразием объёмно-планировочных и конструктивных решений высокие сооружения башенного типа. К ним относятся:

- дымовые трубы, применяемые для отвода газов от котельных заводов и электростанций, тепловых агрегатов металлургических заводов, химических предприятий и др;

- градирни, предназначенные для охлаждения воды;

- ректификационные колонны – установки для разделения жидких химических смесей на составные части;

- грануляционные башни – установки для гранулирования химических веществ, например, химических удобрений;

- башни-копры, сооружаемые над стволами шахт, для подъёма руды, угля, породы и спуска оборудования, строительных материалов и людей;

- водонапорные башни, используемые для установки на определённой высоте резервуаров.

Башенные сооружения широко распространены в системах связи (радиотелевизионные башни), на крупных предприятиях в качестве закрытых складов и аккумулирующих бункеров для сыпучих материалов, продуктов сельского хозяйства (силосы и силосные башни).

Большая высота, специфика конструкций и технология возведения, а также условия эксплуатации таких сооружений приводят к особенностям их геодезического обеспечения при строительстве.

Основная геометрическая характеристика башенных сооружений (отклонение оси от вертикали, крен и т.д.) устанавливается нормативными документами в виде предельных допустимых величин, например, в СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений».

К основным инженерно-геодезическим работам при строительстве башенных сооружений относятся:

- создание специального геодезического обоснования, с пунктов которого выполняется контроль за геометрическими параметрами сооружения и точностью выполнения строительно-монтажных работ;

- обеспечение точности сборки и установки монтажного оборудования и подъёмных устройств, используемых в принятом методе возведения сооружения, и контроль за их положением;

- установка в проектное положение конструктивных элементов сооружения, обеспечение вертикальности его оси и геометрической формы поясов, колец, ярусов;

- определение и изучение характера деформаций сооружения под действием внешних факторов: ветровых нагрузок, одностороннего обогрева солнечными

лучами, осадок грунтов оснований под действием возрастающей нагрузки от массы сооружения.

Плановое геодезическое обоснование для строительства сооружений башенного типа обычно создается в виде двух ступеней: опорной сети и рабочей технологической основы. Первая создается до начала строительства, вторая – после завершения нулевого цикла.

Опорная сеть служит для разбивки центра сооружения, наблюдений за его деформациями, кренами и колебаниями, проведения контрольных исполнительных измерений.

Для сравнительно невысоких башенных сооружений, строящихся в короткие сроки, в качестве геодезической опоры могут служить вынесенные в природу и надёжно закреплённые главные оси АА и ВВ (рис. 24). Опорные пункты 1А и 2А, 1Б и 2Б целесообразно располагать на равных расстояниях от проектируемого центра ЦБ. Для контроля их стабильности в их створе дополнительно закрепляют пункты.

Для высоких, конструктивно сложных и долго строящихся сооружений более надёжный контроль за стабильностью положения пунктов, закрепляющих главные оси, обеспечивается построением специальной опорной сети. Чаще всего сеть строят в виде радиально-кольцевых (центральных) систем методом триангуляции, трилатерации и линейно-угловых построений. При проектировании сети количество радиальных сторон, совмещаемых с другими, помимо главных, основными осями, намечаемых для выноса и закрепления в природе, устанавливается в зависимости от конструкции возводимого сооружения.

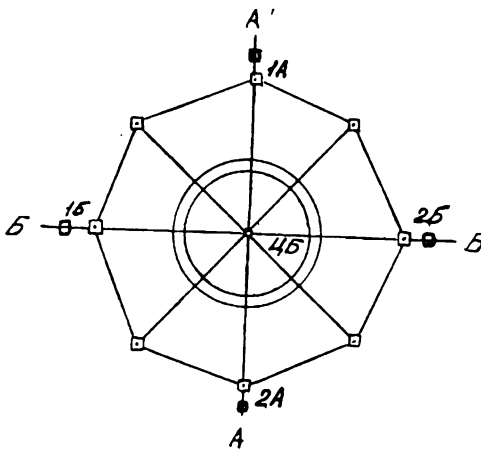


Рис. 24. Радиально-кольцевая опорная сеть башенных сооружений

Вынос в природу запроектированной опорной сети производится от пунктов геодезического обоснования, созданного на строительной площадке промышленного предприятия. Сначала выносят центр сооружения, относительно которого затем разбивают главные и основные оси, закрепляя их геодезическими знаками,

обладающими повышенной устойчивостью. Для закрепления могут быть использованы знаки, применяемые в государственных геодезических сетях. Однако целесообразно центр знака обозначить на металлической пластине 20×20 см, прикреплённой к верхней части знака. Это позволяет вести наблюдения без штативов и выполнять при необходимости редуцирование центра в положение, соответствующее проектному взаимному расположению главных и основных осей сооружения.

Рабочая технологическая основа при строительстве башенных сооружений создаётся для выполнения геодезических разбивочных работ при монтаже основной несущей конструкции (оболочки, ствола) сооружения и его элементов (технологического и другого оборудования). Она представляет собой систему опорных точек, располагаемых относительно центра сооружения на окружностях различных радиусов (рис. 25). Направления радиусов совпадают с вспомогательными (рабочими) осями, определяющими положение элементов сооружения или строительно-монтажного оборудования (секций опалубки или домкратных рам).

Размещение пунктов рабочей основы должно обеспечивать в процессе строительства возможность переноса их планового положения, а следовательно, и положения рабочих осей на монтажный горизонт.

Для сооружений высотой до 100 м с небольшим поперечным сечением достаточно иметь одну – две опорные точки, закреплённые на главной оси.

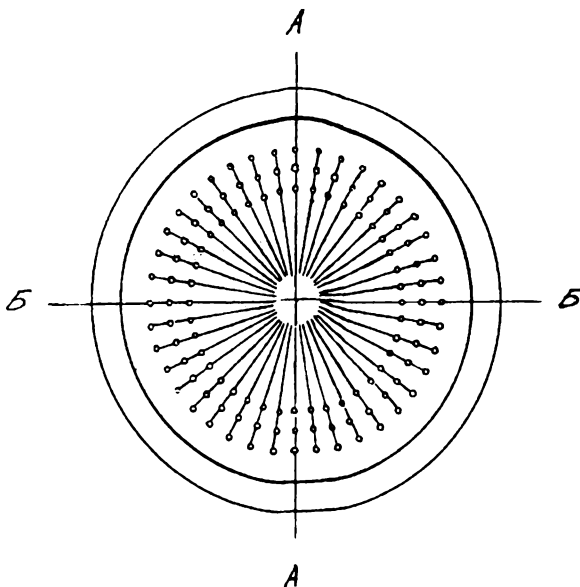


Рис. 25. Рабочая технологическая основа

При возведении более высоких сооружений с большим и переменным поперечным сечением, например, градирен, число опорных точек может быть значительно больше. В случае использования при контроле движения скользящей опалубки нивелирных реек длиной 1,5 и 2,0 м число окружностей вычисляется по формуле

$$n = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{l}, \quad (9)$$

где R_{\max} , R_{\min} – радиусы оболочки сооружения; l – используемая длина рейки длиной 1,5 и 2,0 м (1100 или 1600 мм).

Разбивка рабочей основы выполняется на центральном пункте теодолитом путём отложения проектных углов и радиусов. В качестве исходного принимается направление радиальной стороны, совпадающей с главной осью сооружения. Конструкция знаков закрепления основы должна обеспечивать её устойчивость на период производства строительных работ по возведению сооружения.

Высотная основа для строительства может быть создана в виде нескольких реперов (не менее трёх), расположенных вблизи сооружения и связанных ходами геометрического нивелирования. В качестве таких реперов могут служить знаки главной опорной сети.

При возведении оболочки башенного сооружения относительно пунктов рабочей технологической основы выполняются детальные разбивочные работы для монтажа опалубочного оборудования и конструкций самого сооружения. Параллельно с этим осуществляется контроль вертикальности оси сооружения.

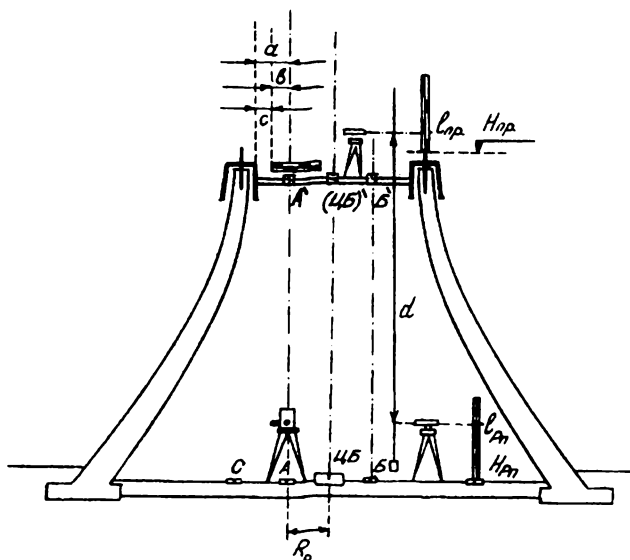


Рис. 26. Схема установки скользящей опалубки

По мере продвижения процесса возведения определяют не только отклонения оси от вертикали, но и величину кручения на каждом ярусе сооружения вместе с опалубочным оборудованием, что позволяет устранить эти отклонения путём специальных технологических приёмов по корректировке положения опалубки.

Способы и последовательность производства разбивочных работ зависит от типа применяемой опалубки. Широкое распространение получила скользящая опалубка. Она представляет собой пространственную систему, состоящую из форм, куда укладывается бетон, и устройств, обеспечивающих корректировку и подъём.

При помощи прибора вертикального проектирования центр пункта А (рис. 26) рабочей основы, расположенного на радиусе R_0 , проектируется на монтажный горизонт и фиксируется на рабочем полу точкой A' - центром мишени в виде полупрозрачной палетки. Координатные оси палетки совмещают с принятыми направлениями главных осей сооружения.

Положения щита опалубки вдоль радиуса определяется от точки A' , фиксирующей центр пункта рабочей основы на монтажном горизонте, отложением проектного расстояния a , или отложением проектного радиуса $R_{np} = R_0 + a$ от центра башни (Ц.Б.).

При установке щита опалубки часто используют нивелирную рейку (1,5 или 2 м), которую закрепляют на уровне рабочего пола по радиальным направлениям так, чтобы она своим нулём (пяткой) касалась кромки щита или находилась на определённом расстоянии c от неё. Тогда отсчёт по рейке, соответствующей проектному положению щита будет равен $b = a - c$.

При контроле положения опалубки определяют её фактический радиус по формулам $R_{фак} = R_0 + a'$ или $R_{фак} = R_0 + c + b'$, где a' - измеренное расстояние между точкой A' и щитом опалубки; b' - отсчёт по рейке, полученный прибором вертикального проектирования. Отклонение опалубки вычисляют по формуле $\Delta S = R_{фак} - R_{np}$, где $R_{np} = R_0 + a$, или при использовании рейки, $R_{np} = R_0 + c + b$.

Результаты контроля используют для корректировки положения опалубки. Корректировку производят путём радиального перемещения секций опалубочного оборудования.

Передача проектной отметки на опалубку осуществляется известным способом с использованием подвешенной рулетки, двух нивелиров и реек. Отсчёт l_{np} , соответствующий проектному положению H_{np} опалубки по высоте, определяют по формуле

$$l_{np} = (H_{rn} - H_{np}) + l_{rn} + d, \quad (10)$$

где H_{rn} - отметка исходного репера;

l_{rn} - отсчёт по рейке на исходном репере;

d - разность отсчётов по рулетке, взятых на исходном и монтажном горизонтах.

Определение отклонения оси башенного сооружения от вертикали и кручение опалубки или конструкции верхнего яруса выполняется путём наблюдения координатных мишеней, фиксирующих положение пунктов рабочей технологической основы на монтажном горизонте. Мишень устанавливают так, чтобы пересечение её координатных осей являлось центром пункта, перенесённого с исходного горизонта

при помощи прибора вертикального проектирования, а одна из осей находилась в створе двух пунктов. От закреплённых таким образом центров производится установка опалубки.

В последующем, с целью контроля положения центров на монтажном горизонте, а также для определения вертикальности оси сооружения и кручения опалубки, положение опорных пунктов на исходном горизонте вновь переносится и фиксируется по координатным мишеням.

Отклонение от вертикали по результатам наблюдений мишеней на двух пунктах А и Б (рис. 27) вычисляется по формуле

$$C = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2}, \quad (11)$$

$$\text{где } \delta_x = \frac{\Delta x_A + \Delta x_B}{2}, \quad \delta_y = \frac{\Delta y_A + \Delta y_B}{2};$$

$\Delta x_A, \Delta x_B, \Delta y_A, \Delta y_B$ – измеренные по координатным осям мишеней величины их смещений относительно исходного (начального) положения.

Величину разворота опалубки находят из выражения

$$\varphi = \frac{(\Delta y_A - \Delta y_B)\rho}{2R_0}. \quad (12)$$

Соответствующая этому развороту линейное смещение опалубки равно

$$d = \frac{\varphi(R_0 + a)}{\rho}. \quad (13)$$

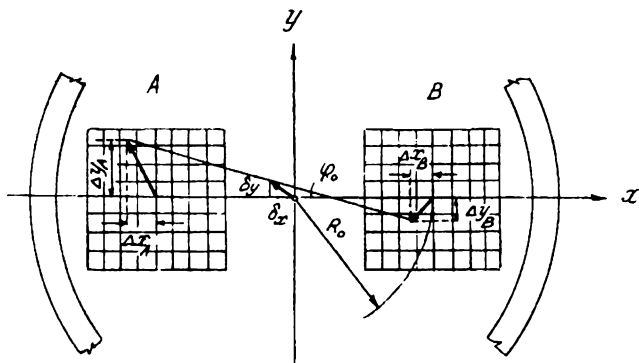


Рис. 27. Отклонение оси башенного сооружения от вертикали и кручение опалубки

Геодетические наблюдения за деформациями сооружений башенного типа, как правило, выполняют на протяжении всего периода его строительства и эксплуатации.

Основной задачей таких наблюдений в процессе возведения сооружения является выявление влияния деформаций на ход технологических процессов строительства. Определение деформаций необходимо также для своевременного выявления аварийных ситуаций и принятия мер по их предотвращению.

При установлении необходимой точности определения деформаций по данным геодезических наблюдений, также как при расчёте требуемой точности геодезических работ при строительстве, следует учитывать значения предельных деформаций для данного сооружения, указанные в нормативных документах или в проектах. Для некоторых типов башенных сооружений они представлены в табл. 3 (СНиП 2.02.01-83).

Таблица 3

Сооружения	Крен	Абсолютная осадка, см
1. Элеваторы (силосов) из железобетонных конструкций	0,003-0,004	25-40
2. Дымовые трубы высотой Н, м:		
менее 100	0,005	40
от 100 до 200	$1/(2H)$	30
от 200 до 300	$1/(2H)$	20
более 300	$1/(2H)$	10
3. Жёсткие сооружения высотой до 100 м.	0,004	20

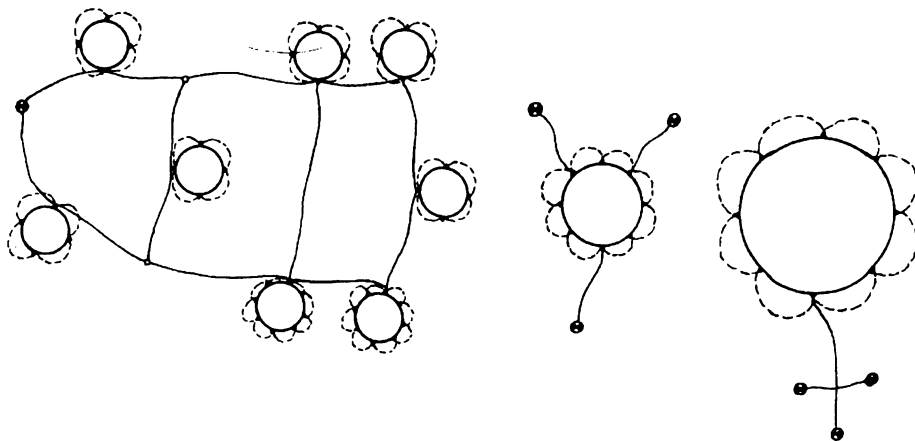


Рис. 28. Схемы нивелирных сетей для наблюдений за осадками башенных сооружений

Наблюдения за осадками башенных сооружений начинают с момента возведения фундамента. Наиболее часто применяют метод геометрического нивелирования. На рис. 28 показаны возможные варианты создаваемых для этих целей специальных высотных сетей. Особенностью нивелирных сетей является то, что они строятся в виде одной общей сети, предназначенной для определения

абсолютных осадок группы сооружений, и локальных сетей, прокладываемых вокруг каждого сооружения для определения его относительных осадок и кренов.

Крен башенных сооружений, причинами которого могут быть неравномерная осадка фундамента, односторонний температурный нагрев, ветровая нагрузка и др., определяется по данным нивелирования фундаментов и наблюдениям за положением его оболочки.

По результатам повторного нивелирования трёх и более осадочных марок, заложенных на одном горизонте в фундаменте или в цокольном сечении башни находят угол крена α и угол φ , характеризующий направление полного крена (рис. 29). По координатам марок x_i, y_i и величинам их осадок S_i находят уравнение плоскости, проходящей через точки 1', 2', 3':

$$S_i = a + bx_i + cy_i. \quad (13)$$

Из решения уравнений находят значения коэффициентов a, b, c . В том случае, если количество осадочных марок более трёх, значения коэффициентов находят по методу наименьших квадратов. Углы α и φ вычисляют по формулам:

$$\sin \alpha = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{c}{b}\right)^2 + \left(\frac{1}{b}\right)^2 + 1}}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{c}{b}. \quad (14)$$

Известен ряд методов определения крена путём наблюдения точек на верхней части сооружения.

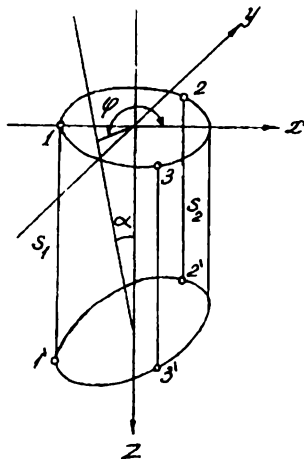


Рис. 29. Принцип определения крена башенных сооружений нивелированием марок на фундаменте

Способ координат состоит в определении с пунктов главной геодезической сети через определённые промежутки времени методом прямой угловой засечки

координат хорошо заметной точки или специально закреплённой марки на вершине сооружения.

По разности координат находят составляющие и полную величину крена за промежуток времени между текущим j и начальным циклом

$$Q_x = x_j - x_0; \quad Q_y = y_j - y_0; \quad Q = \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}. \quad (15)$$

Направление крена определяется дирекционным углом α_Q :

$$\operatorname{tg} \alpha_Q = \frac{Q_y}{Q_x}. \quad (16)$$

Способ горизонтальных углов. Теодолитом на двух пунктах опорной сети I и II измеряют углы β_1 и β_2 (рис. 30) между исходными направлениями и направлениями на наблюдаемую марку. Последние направления должны быть приблизительно взаимно перпендикулярными. Составляющие крена находят по величине изменения этих углов между циклами измерений:

$$Q_I = \frac{l_1 \cdot \Delta\beta_1''}{\rho''}; \quad Q_{II} = \frac{l_2 \cdot \Delta\beta_2''}{\rho''}. \quad (17)$$

Расстояние l_1 и l_2 могут быть определены прямой угловой засечкой с опорных пунктов.

Полный крен вычисляют так же как и в способе координат. С учётом того, что точность определения крена этим способом зависит в основном от точности измерения углов, ошибка определения полного крена при $l_1 \approx l_2 \approx l$ вычисляется по формуле

$$m_Q = \frac{2lm_p''}{\rho''}. \quad (18)$$

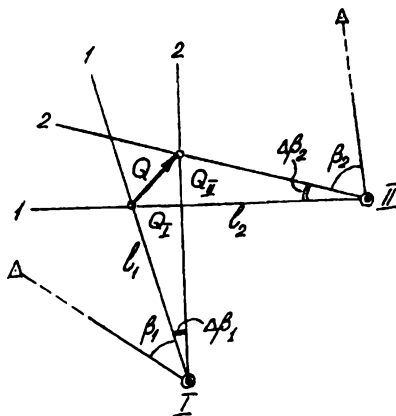


Рис. 30. Принцип определения крена способом горизонтальных углов

Способ горизонтальных и вертикальных углов. С одного опорного пункта, расположенного на возможно близком расстоянии от сооружения, теодолитом измеряют горизонтальный угол α между направлениями на центр сооружения в нижнем основании и на точку на верху сооружения, а также угол наклона ν на марку и её высоту H над осью вращения зрительной трубы теодолита (рис. 31).

При измерении горизонтального угла за исходное направление может быть принято направление на вспомогательную точку M_0 в основании сооружения, находящуюся приблизительно в створе линии между центром и опорным пунктом.

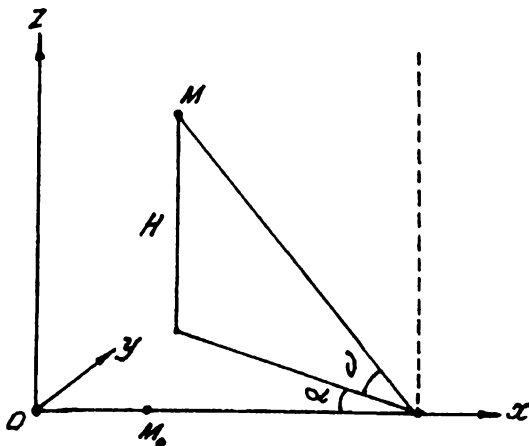


Рис. 31. Принцип определения крена способом горизонтальных и вертикальных углов

Составляющие крена в период между начальным и текущим циклами наблюдений находят из выражений

$$Q_x = x_j - x_0 = -\frac{H_j \cdot \cos \alpha_j}{\operatorname{tg} V_j} + \frac{H_0}{\operatorname{tg} V_0} \cos \alpha_0; \quad (19)$$

$$Q_y = y_j - y_0 = \frac{H_j}{\operatorname{tg} V_j} \sin \alpha_j - \frac{H_0}{\operatorname{tg} V_0} \sin \alpha_0.$$

Ошибка их определения вычисляются по формулам:

$$m_{Q_x} = \frac{H\sqrt{2}}{\rho \sin^2 V_j} m_\nu; \quad m_{Q_y} = \frac{H\sqrt{2}}{\rho \operatorname{tg} V_j} m_\alpha. \quad (20)$$

Способ вертикального проектирования. Наблюдения выполняются теодолитами с двух опорных пунктов, расположенных на взаимно перпендикулярных осях сооружения (рис. 32). Хорошо заметную точку или марку на верху сооружения

периодически проектируют коллимационной плоскостью теодолитов и фиксируют отсчётами на специально закреплённых рейках или палетках в основании сооружения.

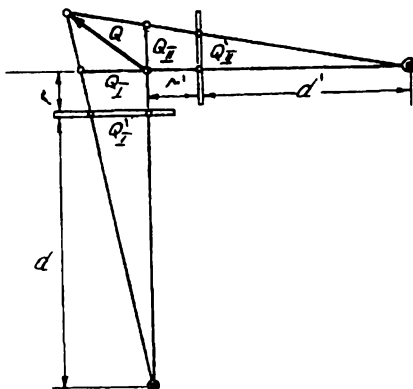


Рис. 32. Принцип определения крена способом вертикального проектирования

Разность отсчётов, полученных из наблюдений в текущем и начальном цикле наблюдений, дают величины кренов Q_I' и Q_{II}' в плоскости реек.

Фактические величины составляющих крена получают из выражений

$$Q_I = Q_I' \left(1 + \frac{r}{d}\right), \quad Q_{II} = Q_{II}' \left(1 + \frac{r'}{d'}\right), \quad (21)$$

где d и d' - расстояние от теодолита до рейки соответственно на пунктах I и II;
 r и r' - расстояния от реек до центра сооружения.

Точность способа главным образом зависит от точности приведения основной оси теодолита в отвесное положение.

Для непрерывных наблюдений за колебаниями башенных сооружений применяют и автоматические системы: фотоэлектрические и дистанционные кренометры, электронные наклонометры, оптико-электронные системы.

Литература

1. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания. Госстрой России.-М. ПНИИС Госстроя России, 1997.-77с.
2. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов. НПО ОБТ, М., 1993. 235с.
3. Ганьшин В.Н., Репалов И.М. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации подкрановый путей. М.: Недра, 1980. 120с.
4. Практикум по прикладной геодезии. Геодезическое обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений: Учебное пособие для вузов / Е.Б. Ключин, Д.Ш. Михелев, Д.П. Барков и др. – М.: Недра, 1993. – 368 с. ил.
5. П.И. Баранов. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования. – М.: Недра, 1990.- 233 с.: ил.

Содержание

1. Состав инженерно-геодезических работ при строительстве промышленных сооружений.	3
2. Особенности инженерно-геодезических изысканий на промышленной площадке.	5
3. Геодезическая разбивочная основа на промышленной площадке.	7
4. Разбивочные работы при возведении промышленных зданий и сооружений.	14
5. Установка и выверка подкрановых путей.	19
6. Установка и выверка технологического оборудования.	27
7. Геодезические работы при строительстве сооружений башенного типа.	37