

1. Инженерно-геодезические опорные сети.

1.1. Плановые сети. Назначение и виды сетей, особенности построения. Ступени развития сетей. Принципы проектирования и расчёта точности плановых сетей. Система координат в инженерно-геодезических работах. Переход от общегосударственной системы к частной (строительной).

Специальная триангуляция. Типовые схемы сетей. Способы оценки точности проектов. Расчёт требуемой точности угловых и линейных измерений.

Инженерная полигонометрия. Схемы сетей на застроенных территориях и строительных площадках. Оценка точности проектов. Расчёт точности измерения углов и линий. Применение светодальномеров, точных оптических дальномеров, короткобазисных способов для линейных измерений. Особенности угловых измерений на застроенных территориях. Закрепление пунктов полигонометрии настенными знаками.

Точная микротриангуляция. Область применения. Виды сетей.

Геодезическая строительная сетка. Назначение и требования к точности. Построение сетки на местности различными методами. Сущность метода редуцирования. Расчёт точности измерений при различном числе ступеней построения сетки. Закрепление пунктов сетки.

Инженерно-геодезические плановые и высотные сети создаются на территориях городов, крупных промышленных, энергетических, горнодобывающих объектов и служат геодезической основой для выполнения комплекса проектно-изыскательских и строительных работ. Плановые инженерно-геодезические сети формируются в виде триангуляционных, полигонометрических, линейно-угловых, трилатерационных построений и геодезических строительных сеток.

Требования к точности, плотности, стабильности плановых инженерно-геодезических сетей чрезвычайно разнообразны. Это обуславливается разнообразием тех задач, которые решаются при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Как правило, инженерно-геодезические сети проектируются с учетом возможности их последующего сгущения и развития для обеспечения основных разбивочных работ и топографической съемки в масштабе 1:500. Однако в зависимости от назначения и размеров сооружения, физико-географических условий района работ сфера использования этих сетей может существенно расширяться. При построении инженерно-геодезических сетей используются государственные опорные сети.

Развитие государственной геодезической сети ведется, как правило, по принципу перехода от общего к частному. Государственная плановая геодезическая сеть подразделяется на 1, 2, 3 и 4 классы, различающиеся между собой точностью измерения углов и расстояний, длиной сторон сети и порядком последовательного развития.

Точность плановой государственной сети рассчитана на обеспечение в единой системе координат съемочных работ в крупных масштабах.

Государственные сети геодезического планового обоснования дополняются сетями сгущения, представленными полигонометрией и триангуляцией 1 и 2 разрядов.

Необходимость в построении инженерно-геодезических сетей возникает при изысканиях площадок и проектировании сооружений, составлении генеральных планов городов и поселков, разработке технических проектов и рабочих чертежей промышленных, гидротехнических, транспортных сооружений и горнодобывающих предприятий и др. Проектирование ведется на планах крупных масштабов. Наиболее высокие требования к точности геодезических сетей предъявляются при производстве съемок масштабов 1 : 1000; 1 : 500.

Исходными для расчета точности плановых геодезических сетей, предназначенных для обоснования топографических съемок, являются требования к точности съемочных сетей: предельные ошибки положения пунктов уравниваемого съемочного обоснования относительно пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения не должны превышать на открытой местности и застроенных территориях 0,2 мм в масштабе плана. На застроенных территориях ошибки в координатах пунктов съемочного обоснования не должны превышать величин, приведенных ниже.

Масштаб плана	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000
Предельные ошибки координат, м	0,10	0,16	0,30

Опорные геодезические сети, создаваемые на территориях городов, крупных промышленных, энергетических и других объектов, используются также для производства разбивочных работ и обеспечения нормальной эксплуатации сооружений.

При расчетах точности инженерно-геодезических сетей в этом случае следует различать два основных варианта использования сетей в зависимости от уровня требований к точности геодезических работ.

Во-первых, требования к точности разбивочной основы могут быть примерно одного порядка с точностью съёмочного обоснования. В этом случае опорная геодезическая сеть развивается по принципу от общего к частному с использованием сетей старших классов и разрядов в качестве исходной основы с жесткой привязкой к их сторонам и пунктам сетей младших классов.

Во-вторых, требования к точности разбивочных работ могут быть существенно выше точности топографических работ. В таком случае создаются специальные опорные геодезические сети. При построении локальных сетей пункты старших классов используются только для передачи ориентирования на одну из сторон сети и координат — на один из пунктов этой сети.

При построении специальных геодезических сетей их точность и плотность могут существенно меняться при переходе от одного этапа строительства сооружений к другому. Так, например, при возведении гидроузла на стадии изысканий геодезическая сеть строится из расчета на удовлетворение требований съёмочных работ, на стадии строительства — на удовлетворение требований к точности разбивочных работ, в период эксплуатации сооружения — на удовлетворение требований к точности работ, выполняемых при наблюдениях за осадками и деформациями основных сооружений гидроузла. При этом требования к точности геодезических измерений возрастают от этапа к этапу. Динамика развития сетей при строительстве крупных объектов требует нестандартного подхода к организации геодезических работ и расчетам точности, направленного на максимальное использование результатов ранее выполненных геодезических работ при переходе к обеспечению следующего этапа строительства сооружения.

В соответствии с современными требованиями нормативных документов на территории городов специальные сети не создаются, а главной геодезической основой являются государственные геодезические сети, построенные по единому перспективному плану. При развитии плановых сетей на территориях городов длины сторон триангуляции уменьшаются в полтора-два раза, чтобы один пункт приходился на 5—15 км³.

Опорные геодезические сети на застроенных и незастроенных территориях городов, поселков и промышленных предприятий проектируются с учетом возможности их последующего сгущения и развития для обоснования топографической съемки в масштабе 1 :500 и инженерно-геодезических работ.

Вид и конфигурация геодезических плановых сетей зависят от размеров и формы территории города. В городах, вытянутых вдоль реки или линии железной дороги, триангуляцию 2 и 3 классов проектируют в виде одинарной или сдвоенной цепи треугольников. В городах невытянутой формы основной фигурой триангуляционных построений является центральная система, усиленная целесообразно выбранными направлениями диагоналей (рис.1.1). Такая конструкция является типовой. На больших территориях плановая сеть может состоять из нескольких центральных систем. В дальнейшем для геодезического обоснования городской территории сети триангуляции 2 и 3 классов дополняются пунктами триангуляции 3, 4 классов и триангуляции 1 и 2 разряда, входящими в системы треугольников или определенными путем вставки пунктов треугольников.

На территориях городов широко применяется полигонометрия 4 класса, 1 и 2 разрядов. При сгущении сетей полигонометрические ходы прокладывают по проездам, а закрепление полигонометрических пунктов на стенах зданий позволяет существенно повысить сохранность геодезических знаков.

Геодезическое обоснование в виде трилатерации не нашло широкого применения при построении сетей в городах. Это объясняется рядом причин. Во-первых, в треугольнике трилатерации с тремя измеренными сторонами нет дополнительных измерений, вследствие чего в нем не возникает ни одного условного уравнения. По сути дела, треугольник трилатерации по своим свойствам равноценен линейной засечке, не имеющей контроля полевых измерений. Во-вторых, сети трилатерации дают не всегда надежную ориентировку сторон сети, что приводит к значительным поперечным сдвигам пунктов и отрицательно сказывается на точности сети в целом. В-третьих, большое число измерений расстояний в условиях города сдерживается в ряде случаев неблагоприятными условиями измерений с помощью светодальномеров. К неблагоприятным факторам относятся существенные колебания температуры, давления и влажности в условиях города, насыщенность территории города линиями электропередачи высокого напряжения и др.



Рис.1.1

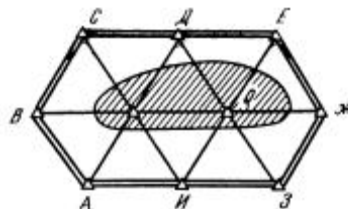


Рис.1.2

Влияние этих факторов несколько больше, чем в незастроенной местности. Трилатерация не может конкурировать с полигонометрией на уровне построения сетей 4 класса и сетей сгущения, так как полигонометрические ходы обладают большой гибкостью и могут быть проложены практически на любом участке города.

Вместе с тем сети высокоточной трилатерации с короткими сторонами находят широкое применение при разбивке высотных зданий и других сооружений. Наиболее перспективным на территориях городов является создание линейно-угловых сетей, обладающих большими резервами точности определения координат и дирекционных углов, чем сети триангуляции и трилатерации. Кроме того, линейно-угловые сети можно строить с большими отступлениями от типовых фигур, сохраняя при этом необходимую точность. На территориях городов и крупных территориально-производственных комплексов можно рекомендовать линейно-угловую сеть, показанную на рис.1.2.

В сети триангуляции 2 класса выделяется контур $ABCDE, \dots, Я$, охватывающий с некоторым запасом территорию площадки. По линиям контура производятся линейные измерения светодальномерами с относительной ошибкой порядка $1 : 300\,000$, а на пунктах $Л, В, С, \dots, И$ — измерения углов со средней квадратической ошибкой $1,0''$. Контур уравнивается как замкнутый полигонометрический ход. Затем уравнивается сеть триангуляции и полигонометрии, покрывающая всю территорию. Могут быть и другие схемы, основанные на применении линейно-угловых построений.

На стадии изысканий и проектирования гидроузла геодезическое обоснование служит для съемок территорий в крупных масштабах; для привязки результатов геологических, гидрологических изысканий; разбивки в натуре основных сетей гидросооружений. В этот период государственная геодезическая сеть развивается обычными методами до необходимой точности и плотности.

На стадии строительства гидроузла возникает необходимость в создании специальной так называемой гидротехнической триангуляции, обеспечивающей точность выполнения основных разбивочных работ гидротехнических сооружений. Особенностью гидротехнической триангуляции являются весьма высокие требования к измерению базисных сторон и углов при коротких сторонах треугольников. Длины сторон в этих сетях обычно составляют $0,5—1,5$ км; углы измеряют с точностью $1—1,5''$, а наиболее ответственные стороны — с относительной ошибкой $1/200\,000—1/250\,000$, что обеспечивает точность положения пунктов триангуляции около 5 мм.

На территории гидроузла прокладывается полигонометрия, соответствующая точности ходов 4 класса, 1 и 2 разрядов. Схема гидротехнических триангуляций зависит от целого ряда обстоятельств: длины и формы плотины, ширины реки, наличия островов, высоких берегов и т. д. Вместе с тем, можно выделить основные тенденции, которые имеют место при создании гидротехнических триангуляций. Для оперативного обслуживания строительных работ пункты триангуляции размещают в непосредственной близости от основных осей сооружений, а одну сторону триангуляции совмещают с осью плотины с целью упрощения разбивочных работ. При этом стремятся уменьшить число дополнительных диагоналей в сети, упростить ее конструкцию за счет увеличения числа сторон, непосредственно измеренных с помощью светодальномеров.

При строительстве бетонных плотин значительной высоты в речных долинах рек каньонообразного типа возникает необходимость в создании многоярусной триангуляции, пункты которой располагаются на противоположных склонах на различной высоте и позволяют осуществлять ярусную разбивку строящегося объекта.

Геодезическую плановую основу на крупных мостовых переходах составляет специальная триангуляционная сеть — мостовая триангуляция. Исходными для расчетов точности мостовых триангуляций являются нормы точности измерения длины мостового перехода и точности разбивки опор моста, которые характеризуются средними квадратическими ошибками порядка $1\div 3$ см. Мостовую триангуляцию строят чаще всего в виде одного или двух геодезических

четырёхугольников. Базисные стороны измеряют с относительной ошибкой порядка 1:200 000—1:300 000, углы в треугольниках — с ошибкой $1\pm 2''$.

Внедрение в производство точных светодальномеров позволяет строить более простые схемы геодезического обоснования на переходах через водотоки.

Основным плановым обоснованием для перенесения в натуру т р а с с ы т у н н е л я служит прокладываемая на поверхности земли специальная сеть триангуляции (туннельная триангуляция). Исходными для расчета точности туннельной триангуляции служат требования к величине поперечной сбойки туннеля. Например, для прямолинейного туннеля с тюбинговой отделкой средняя квадратическая величина поперечной сбойки не должна превышать 50 мм.

Туннельная триангуляция строится, как правило, в виде вытянутой цепи треугольников, опирающейся на две базисные стороны, расположенные на концах сети. Туннельные триангуляции характеризуются высокими требованиями к точности их элементов. Например, при строительстве туннеля с общей длиной 5—8 км создается сеть триангуляции со сторонами 2—7 км, средней квадратической ошибкой измеренного угла $1''$, средней квадратической ошибкой дирекционного угла наиболее слабой стороны, не превышающей $2''$; длины сторон в наиболее слабом месте сети должны быть определены с относительной ошибкой, не превышающей 1:150000.

Большую роль при передаче координат и дирекционного угла в забой и выполнении подземных работ играет полигонометрия. Она прокладывается в виде основной и подходной полигонометрии (на поверхности земли) со средними квадратическими относительными ошибками порядка 1 : 20 000—1 : 30 000 и подземной полигонометрии примерно такой же точности.

На п р о м ы ш л е н н ы х п л о щ а д к а х опорные геодезические сети в районе строительства создаются во время инженерно-геодезических изысканий и служат основой для крупномасштабных топографических съемок и построения разбивочных сетей. Площадь крупных территориально-производственных комплексов достигает 30—50 км² и более. Главной геодезической основой в таких случаях служат государственные геодезические сети. При меньших размерах строительных площадок разрешается создавать местные сети триангуляции 4 класса или светодальномерной полигонометрии с длинами сторон порядка 2 км и средними квадратическими ошибками измерения углов $2''$.

Для производства разбивочных работ создается сеть в виде строительной сетки, ходов полигонометрии, красных линий застройки.

При строительстве п р е ц и з и о н н ы х с о о р у ж е н и й (ускорителей заряженных частиц, высотных сооружений, радиотелескопов) создаются высокоточные сети микротрилатерации или микротриангуляции с очень короткими длинами сторон, например 25—50 м. Пункты в этих сетях в зависимости от вида сооружения определяются с ошибкой 0,1—0,5 мм, а иногда и точнее.

Инженерно-геодезическая сеть должна быть построена рационально, с соблюдением правил оптимального ведения работ. При этом может решаться одна из двух задач: получение наивысшей точности сети при заданных затратах сил, средств и времени (оптимизация по критериям точности) и создание сети заданной точности с наименьшими затратами денежных средств (оптимизация по критериям стоимости).

Эти две взаимосвязанные задачи распадаются на целый комплекс локальных задач, приводящих к улучшению технических характеристик или экономическому эффекту.

Предварительный расчет точности элементов инженерно-геодезических сетей обычно выполняют по приближенным формулам, дающим точность оценки ошибок проектируемых элементов в пределах 10—20%. Строгая оценка точности инженерно-геодезических сетей производится на стадии рабочего проектирования, когда информация о действительной конструкции сети и точности измерения ее элементов становится более достоверной и конкретной.

Инженерно-геодезические сети создаются поэтапно, с построением нескольких классов и разрядов. Основная тенденция состоит в том, чтобы проектировать по возможности меньше ступеней развития геодезического обоснования.

Если в процессе развития сетей происходит повышение требований к их точности, то каждая последующая ступень построения связана с созданием локальных сетей. В этом случае сеть не может быть создана в виде одноклассного или одноразрядного построения. Минимальное количество ступеней равно числу переходов от менее точных инженерно-геодезических построений к более точным.

Если развитие сети происходит по принципу перехода от более точных построений к менее точным, то вопрос о количестве ступеней и точности сетей на каждой ступени может быть решен на основе следующей методики.

В качестве исходных для расчетов следует принять величину относительной ошибки построения на конечной ступени (1 :Тк) и аналогичную ошибку на начальной, исходной ступени построения (1 :Тн). При этом необходимо учитывать характер действия ошибок исходных данных при примыкании сети последующей ступени построения к пунктам предыдущей ступени.

Государственные геодезические сети до их уравнивания должны быть отнесены на референц-эллипсоид Красовского, для чего в сетях 1 и 2 классов в измеряемые элементы вводятся редукции. Это предопределяет проектирование всех последующих сетей сгущения и результатов съемочных работ на единую поверхность относимости.

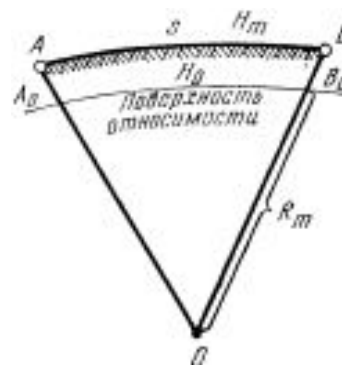
Координаты всех пунктов вычисляются в системе плоских прямоугольных координат в проекции Гаусса. Так как строительство фундаментов сооружений производится на естественном основании, то важно получить результаты измерений в «натуральном» виде, без искажений их поправками, не связанными с методикой и целями измерений.

Поправка за отнесение базисной стороны (рис. 1.3) на поверхность относимости $\Delta H = A_0B_0 - AB$ вычисляется по формуле

$$\Delta H = - \frac{s(H_m - H_0)}{R_m},$$

где S — длина измеренной стороны; H_m — средняя отметка измеренной стороны; H_0 — отметка поверхности относимости; R_m — средний радиус кривизны земного эллипсоида (6370 км), или

$$\frac{\Delta H}{s} = - \frac{(H_m - H_0)}{R_m}.$$



В качестве поверхности относимости принимают средний уровень строительной площадки, на трассах метрополитена — уровень оси туннеля или головок рельсового пути и т. д.

При редуцировании сторон триангуляции на плоскость в п р о е к ц и и Г а у с с а длины сторон получают поправки с положительным знаком, увеличивающиеся по величине по мере приближения к краям шестиградусной зоны.

При использовании пунктов государственной геодезической сети для обоснования территорий городов, промышленных площадок возникает необходимость в двойном введении редукционных поправок. Сначала в вычисленные расстояния между пунктами триангуляции или полигонометрии следует ввести поправку ΔH с обратным знаком, приводя, таким образом, величины расстояний на уровень физической поверхности земли, а затем при необходимости — поправку за переход на выбранный уровень поверхности относимости строительной площадки.

Специальная триангуляция. Типовые схемы сетей. Способы оценки точности проектов. Расчёт требуемой точности угловых и линейных измерений.

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

Для съемочных работ триангуляционная сеть позволяет сократить длины развиваемых на ее основе сетей сгущения и способствует уменьшению ошибок в сетях низших разрядов и съемочных сетях. Выбор класса сети для этой цели определяется в основном площадью съемки. Так, для крупнейших городов применяется триангуляция до 2 класса включительно. В большинстве случаев исходным обоснованием для съемочных работ служит триангуляция 4 класса. Триангуляция используется и для построения сетей сгущения 1 и 2 разрядов.

Для разбивочных работ триангуляция может служить непосредственной основой, с пунктов которой производится разбивка сооружений, или опорой для развития сетей низших разрядов, в свою очередь используемых для разбивки. Примером может служить триангуляция для строительства гидротехнических сооружений, тоннелей, мостов.

Характеристики специальных триангуляции отличаются от государственных в основном длинами сторон, причем в сторону уменьшения. Это обстоятельство неизбежно приводит к повышению требований к отдельным измерительным операциям, таким как центрирование теодолита и визирных целей при угловых измерениях и т. п.

Особенностью разбивочной триангуляции является необходимость соблюдения точностных требований во взаимном положении смежных пунктов или пунктов, разделенных двумя-тремя сторонами. Это требование обусловлено тем, что с пунктов сети требуется вынести в натуру систему точек, как правило, принадлежащих единому сооружению или единому комплексу сооружений, связанных конструктивно или технологически.

Триангуляционные сети, предназначенные для наблюдений за плановыми смещениями сооружений, чаще всего применяются на крупных гидротехнических объектах. В основном они используются для измерения смещений недоступных точек и для контроля устойчивости исходных опорных пунктов других построений. Характерной особенностью триангуляционных сетей для этого вида работ являются высокие требования к точности определения координат пунктов (2 - 5 мм) при небольших длинах сторон.

При развитии инженерно-геодезических сетей методом триангуляции наиболее типичными построениями являются (рис. 1.3): цепи треугольников (для линейно протяженных объектов), центральные системы (для городских и промышленных территорий), геодезические четырехугольники (для мостовых и гидротехнических сооружений), вставки пунктов в треугольники и небольшие сети из этих фигур. Возможны и комбинированные построения.

В сетях триангуляции треугольники стараются проектировать близкими к равносторонним; в особых случаях острые углы допускают до 20° , а тупые - до 140° . В свободных сетях для контроля масштаба сети необходимо иметь не менее двух непосредственно измеренных базисных сторон.

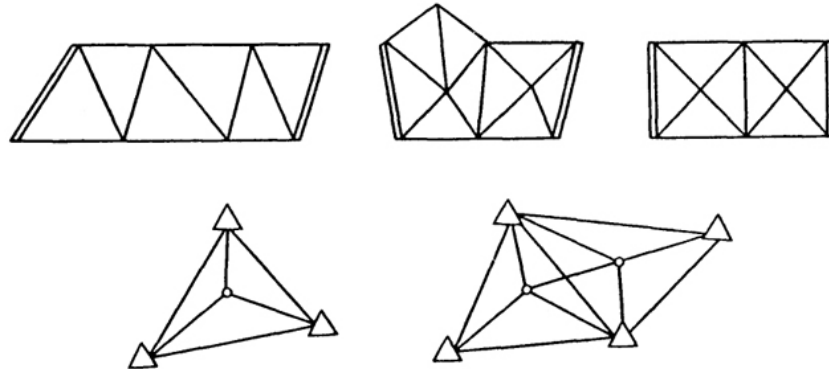


Рис. 1.3. Инженерно-геодезические сети триангуляции

Уравнивание результатов измерений выполняют строгими способами.

При разработке проектов триангуляционных сетей расчет ожидаемой точности производят, как правило на ЭВМ, используя различные программы.

Для предварительной оценки ожидаемой точности некоторых, применяемых в инженерной практике, схем и построений можно пользоваться приближенными формулами.

Так, продольный сдвиг ряда, состоящий из приблизительно равносторонних треугольников, при уравнивании его за условие фигур по направлениям вычисляется по формуле

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

где n - число промежуточных сторон в диагонали ряда L ; (m_b/b) - относительная средняя квадратическая ошибка измерения базисной стороны; m_β - средняя квадратическая ошибка измеренного угла; знак плюс перед $3n$ берется при четном числе треугольников в ряде, знак минус - при нечетном.

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

при четном числе треугольников в ряде

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

при нечетном числе треугольников в ряде

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

где m_α - средняя квадратическая ошибка дирекционного угла исходной стороны.

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

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

То же для дирекционного угла по формуле

$$m_{\alpha_k} = \sqrt{m_\alpha^2 + m_\beta^2 \cdot \frac{2K + 5}{10}}.$$

Для треугольников произвольной формы со связующими углами A и B

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

Если расчет для промежуточной стороны ряда ведется от двух исходных базисов, то среднее весовое из двух ошибок, может быть подсчитано по формуле

$$\left(\frac{m_{s_k}}{s_k}\right)_{\text{срв}} = \frac{\left(\frac{m_s}{S}\right)_{K_1} \cdot \left(\frac{m_s}{S}\right)_{K_2}}{\sqrt{\left[\left(\frac{m_s}{S}\right)_{K_1}^2\right] + \left[\left(\frac{m_s}{S}\right)_{K_2}^2\right]}}.$$

Инженерно-геодезические сети создаются, как правило, в специфических условиях, накладывающих некоторые особые требования к методике и организации угловых и линейных измерений.

Особенности угловых измерений в сетях триангуляции, создаваемых на территории городов и промышленных площадок, возникают из-за влияния следующих факторов:

а) наличия своеобразного микроклимата, создаваемого за счет выделения в атмосферу промышленными и энергетическими предприятиями тепла, дыма и пыли; изменения режимов теплопроводности, испарения, конденсации водяного пара под воздействием асфальтированной поверхности проездов, железобетонных и металлических конструкций;

б) наличия многочисленных препятствий для визирного луча, создаваемых строительством высоких зданий, труб и башен;

в) резкой разницы в уровнях, на которых располагаются пункты в городах, при наличии коротких сторон;

г) вибрации промышленных зданий, на которых располагаются пункты триангуляции.

Вследствие климатологических условий города на пути визирного луча создаются множества местных полей рефракций, изменяющихся в пространстве и времени. Суточные и сезонные изменения боковой рефракции заставляют выбирать достаточно четко определенное время для производства угловых измерений.

Наблюдения лучше всего выполнять ранней весной и осенью. Наиболее благоприятные часы утренних и вечерних наблюдений устанавливаются в зависимости от времени года и состояния погоды. В связи с малыми длинами сторон триангуляции особое внимание следует обращать на точность центрирования теодолитов и визирных приспособлений.

Инженерная полигонометрия. Схемы сетей на застроенных территориях и строительных площадках. Оценка точности проектов. Расчёт точности измерения углов и линий. Применение светодальномеров, точных оптических дальномеров, короткобазисных способов для линейных измерений. Особенности угловых измерений на застроенных территориях. Закрепление пунктов полигонометрии настенными знаками.

При проектировании одиночного полигонометрического хода, опирающегося концами на исходные пункты и исходные дирекционные углы, необходимо определить ошибку в положении пункта и ошибку дирекционного угла в средней части хода после уравнивания его за все условия.

Общеизвестные формулы расчета точности основаны на предположении, что в ходах произвольной формы ошибка положения пункта в наиболее слабом месте

$$m_{\alpha_{\text{ср}}} = \frac{1}{M};$$

где M — ошибка в положении конечного пункта хода относительно начального (и начальной линии ориентирования) после уравнивания хода только за условие дирекционных углов, определяемая по формуле

$$M^2 = [m_s^2] + [D_{0,i}^2] \cdot \frac{m_\beta^2}{\rho^2};$$

здесь m_s — средняя квадратическая ошибка измерения стороны; m_β — средняя квадратическая ошибка измерения угла; $D_{0,i}$ — расстояние от каждой вершины до центра тяжести хода.

Более точные результаты при предвычислении точности полигонометрических ходов могут быть получены по упрощенным формулам, учитывающим отмеченные выше обстоятельства.

Согласно исследованиям наиболее слабым местом хода не всегда является его середина. Однако при наличии систематических ошибок линейных измерений и ошибок исходных данных средние точки хода определяются с наименьшей точностью.

Для подсчета ошибок в положении средней точки хода предложена следующая методика. В большинстве случаев ломаный ход (рис. 1.4) может быть с достаточной степенью точности заменен симметричным ходом, состоящим из двух прямолинейных ветвей. При этом остаются все технические характеристики заменяемого хода. С этой целью на схеме хода или непосредственно на карте, где запроектирован ход, проводят из точки С, расположенной ближе всего к середине хода, направления СА и СВ. После этого измеряют углы φ_A и φ_B , расстояние от средней точки до замыкающей в километрах h и длину замыкающей L . Находят угол

$$\varphi = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$$

Следующим этапом является получение параметров a , b и c по формулам

$$\left. \begin{aligned} a &= \frac{[m_s^2]}{4}; \\ b &= [s]^2 \frac{(n+2)(n^2+2n+4)}{192n(n+1)} \frac{m_B^2}{\rho^2}; \\ c &= [s]^2 \frac{(n+1)(n+2)}{48n} \frac{m_B^2}{\rho^2}, \end{aligned} \right\}$$

где $[s]$ — периметр хода; n — число сторон в ходе.

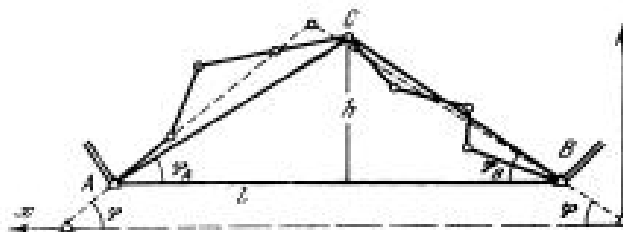


Рис.1.4

Средняя квадратическая случайная ошибка измерения длин сторон хода определяется в зависимости от метода их измерения по формулам:

а) при измерении подвесными мерными приборами

$$m_{S_i} = \mu \sqrt{S_i}$$

б) при применении светодальномеров

$$m_{S_i} = (A + B_{S_i})$$

(A и B — постоянные, определяемые эмпирически для каждого типа приборов);

в) при применении параллактического метода

$$m_{S_i} = m_\varphi \frac{S_i}{\varphi_i}$$

где φ_i — величина соответствующего параллактического угла; m_φ — его средняя квадратическая ошибка.

В зависимости от предполагаемого метода уравнивания хода формулы имеют различный вид, но составляющие их элементы одни и те же.

Одним из простых методов оценки точности полигонометрических сетей также является способ последовательных приближений, сущность которого заключается в следующем.

В первом приближении система ходов, сходящихся к каждой узловой точке, рассматривается как самостоятельная система, опирающаяся на пункты, положение которых принимается пока безошибочным.

По каждому ходу подсчитывается ожидаемая средняя квадратическая ошибка положения узловой точки. Пусть для узловой точки I, изображенной на рис. 1.5, эти ошибки будут:

M_{Z_1} по ходу Z1, идущему от точки A,

M_{Z_2} « « Z2 « « « B,

M_{Z_3} « « Z3 « « « II.

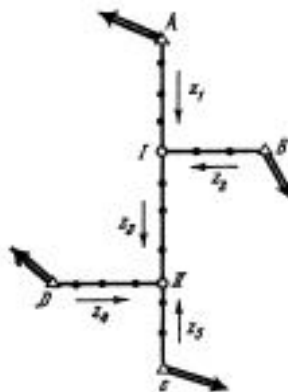


Рис.1.5

Веса определения положения точки I по ходам принимают равными:

$$p'_{z_1} = \frac{c}{M_{z_1}^2}; \quad p'_{z_2} = \frac{c}{M_{z_2}^2}; \quad p'_{z_3} = \frac{c}{M_{z_3}^2}$$

Средняя квадратическая ошибка определения положения узловой точки I в первом приближении вычислится по формуле

$$\left. \begin{aligned} (M_{I1}^2)_1 &= \frac{c}{P_1}, \\ P_1 &= p_{z_1} + p_{z_2} + p_{z_3}. \end{aligned} \right\}$$

Аналогично подсчитывается ожидаемая средняя квадратическая ошибка определения узловой точки II .

Во втором приближении

$$p''_{z_1} = p'_{z_1} = \frac{c}{M_{z_1}^2}, \quad p''_{z_2} = p'_{z_2} = \frac{c}{M_{z_2}^2},$$

$$p''_{z_3} = \frac{c}{M_{z_3}^2 + (M_{II1}^2)_1}.$$

Аналогично для точки II

$$p''_{z_4} = \frac{c}{M_{z_4}^2 + (M_{II1}^2)_1},$$

$$p''_{z_1} = p'_{z_1} = \frac{c}{M_{z_1}^2},$$

$$p''_{z_5} = p'_{z_5} = \frac{c}{M_{z_5}^2}.$$

В третьем приближении в качестве ошибок исходных данных принимают ошибки узловых точек I и II , полученные во втором приближении. Вычисления продолжают до тех пор, пока в двух соседних приближениях не будут получены практически одинаковые результаты.

Особенности угловых и линейных измерений

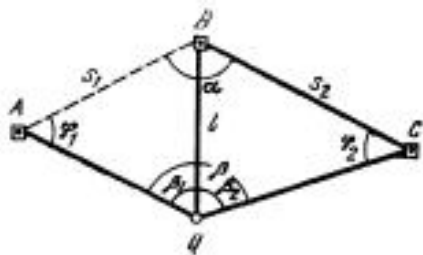
Угловые измерения в ходах полигонометрии на территориях городов осложняются комплексом внешних условий, влияющих на точность результатов. К ним относятся:

- 1) наличие препятствий, ограничивающих длины сторон и выбор места для установки центров и приборов над ними в благоприятных для измерений условиях;
- 2) боковая рефракция;
- 3) неустойчивость приборов и визирных марок в результате сотрясений, вызванных работой механизмов и действием движущегося транспорта.

Наличие коротких сторон в полигонометрической сети заставляет очень точно центрировать теодолит и визирную марку. Средняя величина ошибки центрирования не должна превышать 0,5-0,7 мм. Такую точность центрирования можно обеспечить только хорошо выверенными оптическими центрами.

Для ослабления влияния боковой рефракции и других источников ошибок из-за внешних условий следует стремиться к тому, чтобы визирный луч проходил на расстоянии более 1м от стены здания; производить измерения в пасмурную погоду; тщательно закреплять прибор и визирные марки, в зоне работ транспорта, постоянно следить за их положением.

В ряде случаев приходится применять внецентренный способ измерения углов. Такая необходимость возникает при закрытии видимости между пунктами полигонометрии временными сооружениями.



Между пунктами А и В нет видимости. Выбирают вспомогательную точку Q и измеряют расстояние l , углы β , β_1 , β_2

Определяемый угол α можно найти по формуле:

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

$$\left. \begin{aligned} \sin \varphi_1 &= \frac{l}{S_1} \sin \beta_1 \\ \sin \varphi_2 &= \frac{l}{S_2} \sin \beta_2 \end{aligned} \right\} \quad S_1, S_2 - \text{измеренные стороны хода}$$

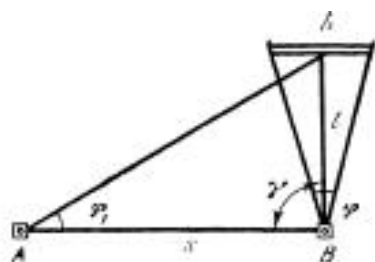
Если расстояние l достаточно мало, можно заменить формулы приближенными формулами:

$$\varphi_1 = \frac{l}{S_1} \sin \beta_1 \cdot \rho$$

$$\varphi_2 = \frac{l}{S_2} \sin \beta_2 \cdot \rho$$

Для линейных измерений в инженерной полигонометрии наибольшее применение нашли светодальномеры и способы, основанные на косвенном определении расстояний.

Для измерения длин линий в полигонометрических сетях находит применение короткобазисный параллактический способ.



Наиболее распространенным является звено (типа II-а) следующего вида.

Длина определяемой линии АВ вычисляется по формуле

$$S = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} \cdot \frac{\sin(\varphi_1 + \gamma)}{\sin \varphi_1}$$

В качестве короткого базиса применяется 2-3 метровые жезлы различной конструкции. Жезлы устанавливаются в горизонтальном положении на штативах, перпендикулярно к линии визирования.

$$\left(\frac{m_s}{S} \right)^2 = \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \left(\frac{l}{b} \right)^2 \cdot \left(\frac{m_\varphi}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{S}{l} \right)^2 \left(\frac{m_{\varphi_1}}{\rho} \right)^2$$

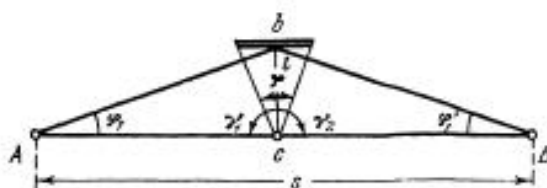
Приняв $m_\varphi = m_{\varphi_1}$ и $\frac{l}{b} = \frac{S}{l} = k$ получим

$$\left(\frac{m_s}{s} \right)^2 = \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + 2K^2 \left(\frac{m_\varphi}{\rho} \right)^2$$

Без учета ошибки компарирования жезла m_b

$$\frac{m_s}{s} = \frac{K m_\varphi \sqrt{2}}{\rho^{\alpha}}$$

Для увеличения точности целесообразно измеряемую линию делить на две части.

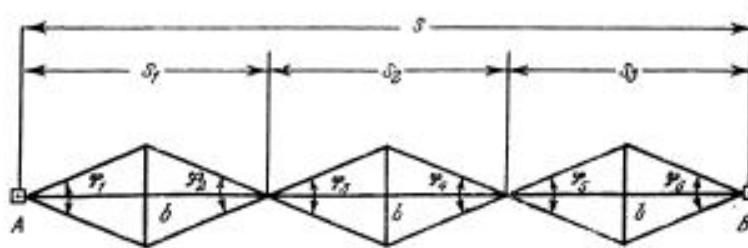


В этом случае рекомендуется применять звено типа III-а. Если углы φ_1 и φ_2 отклоняются от 90° не более чем на $1'$, то длину вычисляют по формуле:

$$s = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} (\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi_2)$$

Применяется створно-короткобазисный способ измерения длин линий.

При этом способе сторону полигонометрического хода разбивают на отрезки 50-60 м, который измеряют с помощью ромбического короткобазисного звена.



Общая длина линий S вычисляется как сумма измеренных отрезков:

$$S = S_1 + S_2 + S_3.$$

Закрепление геодезических пунктов

Пункты инженерно-геодезических сетей на территориях городов, промышленных, энергетических, строительных объектов закрепляются геодезическими знаками, имеющими ряд особенностей в конструкциях, местах расположения и способах их использования.

Эти особенности обуславливаются:

а) ритмом производственной и хозяйственной деятельности на промышленных и строительных площадках, в результате которой естественный рельеф местности преобразуется посредством мощных механизмов, происходит снос сооружений и возведение новых, изменяются назначение геодезической сети, требования к ее конструкции и точности;

б) использованием геодезических знаков для закрепления осей ответственных дорогостоящих сооружений, повседневным использованием знаков для разбивочных работ и контроля за соблюдением геометрических форм строящихся сооружений;

в) наличием препятствий для прохождения визирного луча в виде зданий, сооружений, вибраций сигналов из-за работы двигателей;

г) возможностями заводского изготовления сигналов и центров;

д) требованиями различных служб городского хозяйства, направленных на соблюдение архитектурных, эстетических норм, правил техники безопасности.

Над пунктами инженерно-геодезических сетей в городах, поселках и на промышленных территориях сооружаются металлические или железобетонные постоянные знаки следующих типов:

а) простые и сложные сигналы, пирамиды, разборные мачты, устанавливаемые непосредственно на поверхности Земли;

б) надстройки, возводимые на зданиях и сооружениях;

в) настенные геодезические знаки.

Металлические знаки в виде пирамид строятся высотой 6 и 9 м, простых сигналов — 5 и 12 м, сложных сигналов — 16, 20, 25 и 30 м.

Металлические знаки должны иметь четырехгранную форму; трехгранные пирамиды допускаются только для сетей 1 и 2 разрядов.

Надстройки на зданиях и сооружениях по конструкции разделяются на два типа.

Надстройки 1-го типа устанавливаются на капитальной стене, возвышающейся над крышей здания, и представляют собой кирпичный или бетонный столб или металлическую форму, которые используются для установки прибора и крепления с помощью болтов металлического визирного цилиндра. Во время наблюдения визирный цилиндр снимается. Высота надстройки над крышей не превышает 2 м. Центром знака служат марки, одна из которых закладывается под нижнее основание столба, а другая крепится заподлицо в верхней площадке столика для наблюдателя.

Надстройки 2-го типа представляют собой металлический сигнал, опирающийся на капитальные стены, выходящие на чердак или возвышающиеся над крышей. Столиком для прибора служит металлическая пирамида, кирпичный или бетонный столб. Центры закрепляются так же, как у надстроек 1-го типа.

Места для постройки геодезических знаков должны быть согласованы с главным архитектором города. Надстройки на зданиях должны быть архитектурно оформлены и окрашены в цвет, гармонирующий со зданием.

В связи с большой насыщенностью проездов подземными сетями, реконструкцией улиц, дорожным строительством, сложностью согласования мест закладки грунтовых знаков пункты полигонометрии, как правило, закрепляют стенными знаками различных конструкций.

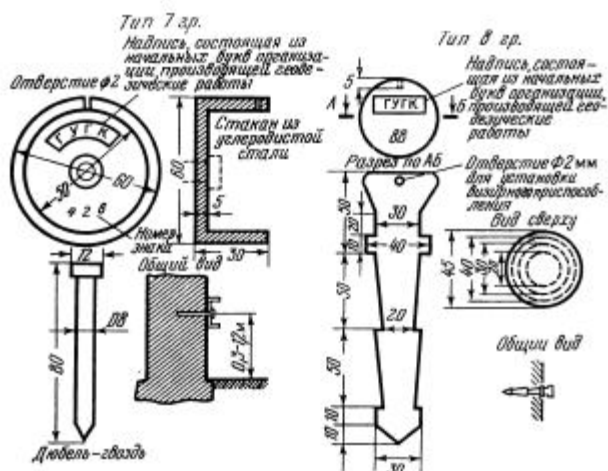
Стенные знаки имеют целый ряд преимуществ по сравнению с грунтовыми: они более устойчивы, требуют меньших затрат на их изготовление, ими можно пользоваться в любое время года.

Для закрепления центров полигонометрии на стенах зданий установлено в качестве обязательных два типа знаков (тип 7 г. р. и тип 8 г. р.).

Первый тип знака представляет собой стенной чугунный репер с отверстием диаметром 2 мм, просверленным в верхней части сферической головки знака. Это отверстие служит центром пункта полигонометрии, оно предназначено также для установки визирного приспособления.

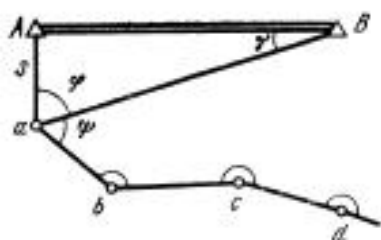
Второй тип центра состоит из металлического стакана (рис. 29), изготовленного из малоуглеродистой стали. Стакан крепится к стене дюбель-гвоздем при помощи выстрела из строительного монтажного пистолета на высоте 0,3—1,2 м от поверхности земли. Центром пункта служит отверстие в стакане диаметром 2 мм. Эти центры могут быть использованы для закрепления снесенных на землю с крыш зданий центров пунктов триангуляции и трилатерации, а также для закрепления линий нивелирования 3 и 4 классов.

Для упрощения процессов использования стенных полигонометрических знаков при съемочных и разбивочных работах рекомендуется около стенных знаков закреплять в твердом покрытии наземные рабочие центры. В местах, где закрепление пунктов полигонометрии настенными знаками невозможно, устанавливаются грунтовые знаки. Верхняя часть знака защищается от повреждений чугунным колпаком с крышкой.



При закреплении полигонометрических пунктов стенными марками или реперами возникает задача привязки полигонометрических ходов к стенным знакам. Центры знаков располагаются на расстоянии 3-4 см от стены или цоколя здания, что исключает непосредственное центрирование теодолита.

Наиболее простая схема привязки.



Теодолит устанавливают над точкой a полигонометрического хода. Эта точка выбирается вблизи знака A с соблюдением видимости на знак B .

Если измерить расстояние S и угол φ , то по AB и S можно вычислить любой элемент треугольника. Передача дирекционного угла линии AB на стороны полигонометрического хода производится через вычисленный угол γ и измеренный угол φ , передача координат - через

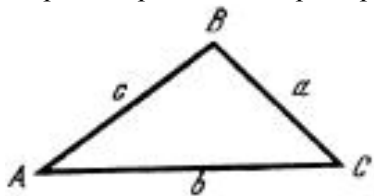
сторону S и угол при точке A .

Для сгущения или создания локальных опорных разбивочных сетей, применяются всякого рода геодезические засечки (прямые, обратные, комбинированные), позволяющие располагать твердые пункты вне территории застройки, без значительной потери в точности при детальных разбивках.

Точная микротрилатерация. Область применения. Виды сетей.

При геодезическом обеспечении строительства сооружений в ряде случаев возникают трудности с производством высокоточных угловых измерений. Они возникают из-за наличия весьма коротких сторон сети и строительных помех. Тогда появляется необходимость в создании геодезических сетей в виде трилатерационных построений. Метод микротрилатерации нашел широкое применение при строительстве высотных зданий и прецизионных сооружений.

В основе расчетов точности трилатерационных построений лежит связь между ошибкой m_A угла A линейного треугольника и ошибками m_a , m_b и m_c его сторон a , b и c . Эта связь при $m_a = m_b = m_c = m_s$ устанавливается формулой



$$m_A = m_s \sqrt{\frac{1}{p_A}} = m_s \sqrt{[ff]}.$$

На основании теоремы косинусов, связывающей элементы треугольника ABC, найдем

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A.$$

Отсюда

$$A = F = \arccos \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}.$$

$$m_A = \rho' \frac{m_s}{a} \frac{\sin(B+C)}{\sin B \sin C} \sqrt{1 + \cos^2 B + \cos^2 C}.$$

Отсюда следует, что ошибка угла, вычисленная по равноточно измеренным сторонам треугольника, прямо пропорциональна относительной ошибке противоположной стороны и зависит от величины множителя

$$K = \frac{\sin(B+C)}{\sin B \sin C} \sqrt{1 + \cos^2 B + \cos^2 C}.$$

Если

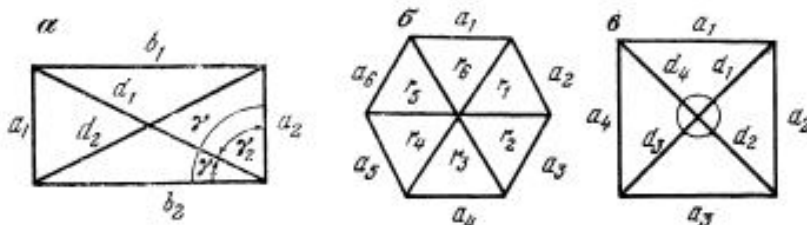
$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_b}{b} = \frac{m_c}{c},$$

то

$$m_A = \rho' \frac{m_s}{a} \frac{\sqrt{2(\delta_B^2 + \delta_C^2 + \delta_B \delta_C)}}{M \cdot 10^6}$$

где δ_B и δ_C — переменные логарифмов синусов углов B и C при изменении их на $1''$.

Сети микротрилатерации обычно создают в виде фигур правильной формы: треугольников, четырехугольников, центральных систем. Это позволяет создавать сети, достаточно однородные по точности определения взаимного положения пунктов, что важно при высокоточных разбивочных работах. На рис. представлены наиболее употребительные фигуры в виде прямоугольников с диагоналями и центральных систем. Во всех этих фигурах возникает по одному условному уравнению.



При уравнивании трилатерации точность элементов сети в некоторой степени повышается. Так, в геодезическом четырехугольнике, составленном из фигур трилатерации, в зависимости от их формы веса вычисленных углов увеличиваются. При строительстве уникальных сооружений, например ускорителей заряженных частиц, возникает необходимость создания радиально-кольцевых сетей микротрилатерации, а при строительстве и монтаже установок кольцевой формы, размещенных в туннеле, создаются кольцевые сети трилатерации.

Геодезическая строительная сетка. Назначение и требования к точности. Построение сетки на местности различными методами. Сущность метода редуцирования. Расчёт точности измерений при различном числе ступеней построения сетки. Закрепление пунктов сетки.

Геодезическая строительная сетка является одним из наиболее рациональных видов обоснования разбивочных работ при строительстве комплекса промышленных и гражданских сооружений. Она представляет собой координатную систему из опорных пунктов, расположенных в вершинах квадратов и прямоугольников.

Строительная сетка предназначена для выноса в натуру основных осей сооружений. Одновременно строительная сетка служит основой для исполнительных съемок, проводимых в процессе строительства и после его завершения. Пункты строительной сетки являются и высотной основой строительной площадки.

Строительная сетка создается для облегчения геодезических работ; она помогает оперативно, с большой точностью вынести на промышленную площадку оси зданий, сооружений, инженерных сетей. Координаты этих объектов при наличии прямолинейной системы застройки и

соответствующего ориентирования сторон сетки легко определяются сложением или вычитанием данных, показанных на генеральном плане.

На основе опыта работ по созданию строительных сеток, предназначенных для обеспечения промышленных и гражданских сооружений, установились следующие требования к точности строительных сеток:

а) ошибки в положении соседних пунктов строительной сетки в относительной мере не должны превышать в среднем $1 : 10\,000$, т. е. при длине сторон сетки 200 м ошибки взаимного положения не должны составлять более 2 см;

б) прямые углы сетки должны быть построены с точностью порядка $20''$;

в) ошибки в положении пунктов в самом слабом месте сетки относительно главной основы не должны превышать 0,2 мм в масштабе плана $1 : 500$, т. е. 10 см.

Технология создания строительных сеток складывается из ряда этапов.

Проектирование и вынесение в натуру исходных направлений. Основное требование, предъявляемое к ориентированию сетки,— строгая параллельность координатных осей сетки наиболее важным осям сооружений. При проектировании строительной сетки стремятся к тому, чтобы пункты сетки не попадали в зону земляных работ и не уничтожались.

Для вынесения в натуру проекта строительной сетки намечают исходное направление. Наиболее часто для выноса на местность исходного направления используют пункты планового геодезического обоснования, расположенные на строительной площадке. По координатам углов строительной сетки и исходных пунктов на основе решения обратных задач вычисляют необходимые для выноса в натуру разбивочные элементы. Для исключения возможных грубых ошибок предусматриваются контрольные определения правильности выноса исходного направления.

Д е т а л ь н а я р а з б и в к а сетки. После выноса в натуру исходных точек приступают к построению на местности сетки квадратов или прямоугольников с заданными длинами и закреплению этих точек на местности. Существует несколько способов разбивки строительных сеток. Наибольшее распространение получили два: осевой способ и способ редуцирования.

При проектировании и разбивке на местности больших предприятий следует применять способ **р е д у ц и р о в а н и я**, обеспечивающий значительно более высокую точность определения элементов строительной сетки. В этом случае сначала выносят в натуру сетку с точностью обычного теодолитного хода и закрепляют ее временными знаками. Затем на площадке создают геодезическую основу и прокладывают полигонометрию, в результате чего определяют координаты всех пунктов, закрепленных временными знаками.

Полученные координаты сравнивают с проектными и определяют величины редукции, на которые следует сместить каждый пункт предварительно разбитой сетки. После редуцирования пункты сетки закрепляют постоянными железобетонными знаками.

Координаты временных знаков сетки в зависимости от заданной точности и характера местности могут быть определены способами микротриангуляции, микротрилатерации, полигонометрии и четырехугольников без диагоналей и другими.

П р о е к т и р о в а н и е с т р о и т е л ь н о й сетки. Для проектирования строительной сетки надлежащей точности, выбора метода ее построения необходимо установить ряд принципиальных исходных положений.

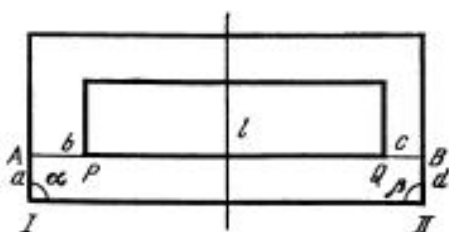
Требования к точности строительной сетки обусловлены:

1) требованиями к точности разбивочных работ в зависимости от назначения сооружений, их размеров, связи между собой технологическими линиями и т. д.;

2) порядком использования пунктов строительной сетки для производства разбивочных работ.

Остановимся подробнее на втором пункте, поскольку связь между нормами точности разбивочных работ и строительной сетки является вполне очевидной. При проектировании строительной сетки следует учитывать характер использования пунктов строительной сетки. По этому признаку строительные сетки могут быть разделены на два типа (**A** и **B**).

Первый тип сетки строится из расчета независимого определения точек сооружения *P* и *Q* от пунктов *I* и *II*. В этом случае ошибка определения длины сооружения *PQ* будет складываться из следующих ошибок (рис):



$$m_{PQ}^2 = m_{I-II}^2 + \frac{m_a^2}{\rho^2} a^2 + \frac{m_b^2}{\rho^2} b^2 + m_c^2 + m_d^2,$$

где m_{I-II} —ошибка взаимного положения пунктов *I* и *II*; m_a и m_b — средние квадратические ошибки определения перпендикулярности сторон сетки; m_c и m_d — средние квадратические ошибки отложения расстояний *b* и *c*,

включая ошибки неточной фиксации точек А и В на сторонах сетки.

Из формулы очевидно, что стороны сетки должны определяться в 2—3 раза точнее, чем точность определения длины PQ .

Второй тип сетки характерен тем, что при использовании ее пунктов сначала выносится точка А и направление АВ, а затем откладывается с нужной точностью непосредственно расстояние PQ , при чем

$$m_{PQ} = m_l.$$

В этом случае точность построения сети регламентируется не нормами точности определения длины PQ , а соображениями, связанными с точностью вынесения в натуру здания в целом, точностью исполнительных съемок крупного масштаба.

Основное требование, предъявляемое к строительной сетке – строгая параллельность координатных осей сетки соответственным осям сооружений и проездов.

При выборе длины строительной сетки – для большинства промышленных предприятий необходимая точность разбивочных работ и исполнительных съемок обеспечивается при длине сторон сетки в 200 м.

Для предприятий или установок, состоящих из многих, отдельно расположенных небольших сооружений, может возникнуть необходимость создать сетку со сторонами 100 м.

Иногда целесообразно на одной площадке иметь сетку с различными длинами сторон. Для некоторой группы сооружений сгущают сетку до размеров 100х100 м, а сооружений, не требующих высокой точности разбивки, строят сетку 400х400 м. В местах, где это удобно для разбивочных работ, строительная сетка может проектироваться в виде различных прямоугольников (200х150 м и др.).

Одну из вершин строительной сетки принимают за начало координат, которое выбирают на краю площадки или вне ее. Надо стремиться совместить условное начало с каким-нибудь пунктом триангуляции, чтобы облегчить разбивку строительной сетки на местности и упростить переход от условной системы координат к общегосударственной.

Пунктами строительной сетки присваивают порядковую нумерацию, а координаты линий сетки подписывают или обычным порядком, или по оси абсцисс обозначают А, а по оси ординат В.

Для перенесения проекта строительной сетки в натуру предварительно намечают на местности исходное направление, от которого затем можно разбить пункты сетки. Если на площадке или вблизи ее существуют инженерные сооружения, например ж/д и а/д, ЛЭП, и они нанесены на генеральный план, то от осей этих сооружений по графическим данным, взятым по плану, можно разбить в натуре исходное направление.

Наиболее часто для разбивки исходного направления используют имеющуюся на площадке геодезическую сеть. На генплане выбирают геодезические пункты, расположенные а разных концах площадки, и вблизи них намечают для вынесения в натуру пункты сетки, расположенные на одном направлении (АВ или АС), имеющие между собой видимость графически определяют координаты этих пунктов сетки в геодезической системе. Из обратной задачи вычисляют β и S , по которым находят на местности исходное направление сетки.

Точность такого перенесения составляет около 0,2-0,3 мм в масштабе плана. Точность перенесения от существующих сооружений будет примерно в 1,5-2 раза ниже, т.к. сооружения нанесены на план с некоторыми ошибками. Таким образом, при проектировании строительной сетки по плану масштаба 1:2000 ошибки вынесения в натуру могут доходить до 1 м. Это не играет существенной роли. Т.к. на эту величину передвигается на местности весь комплекс запроектированных сооружений.

Разбивку производят лентой и теодолитом с точностью порядка 1:2000. Точки закрепляют деревянными или бетонными знаками.

Способ редуцирования

Сущность способа

Опираясь на вынесенное в натуру исходное направление, при помощи ленты и теодолита с точностью 1:1500 – 1:2000 разбивают на всей площадке строительную сетку и закрепляют временными знаками.

Имея приближенно разбитую сетку, создают на площадке триангуляцию и прокладывают полигонометрию, в результате чего определяют точные координаты всех закрепленных временными знаками пунктов сетки. Сравнивая эти координаты с проектными, находят величины редуций, на которые и смещают (редуцируют) каждый пункт приближенно разбитой сетки. После редуцирования закрепляют постоянными ж/б знаками. По ним проводят контрольные измерения и принимают координаты пунктов равными проектными.

Т.к. величины редуций обычно не больше 2-3 м и могут быть отложены с ошибкой ± 3 мм, то точность построения в основном зависит от точности определения координат временных знаков, т.е. от точности построения триангуляции и проложения полигонометрии.

Триангуляция является главной опорой строительной сетки. Пункты триангуляции располагают по углам площадки и между ними увязывают вытянутые полигонометрические ходы 1-го порядка, по периметру. Остальные координаты пунктов определяют полигонометрией 2-го порядка.

Предельные ошибки в положении пунктов строительной сетки (полигонометрия 2-го порядка) относительно главной основы (триангуляции) не должны превышать ± 10 см. предельные невязки ходов 2-го порядка не должны быть больше ± 20 см. Ошибки в положении пунктов триангуляции должны быть в 2 раза меньше, а полигонометрии 1-го порядка в $\sqrt{2}$ раза меньше этой величины.

Редуцирование строительной сетки

Чтобы найти проектное положение точек сетки, по координатам приближенно разбитых точек сетки и их проектным координатам определяют путем решения обратной задачи угловые и линейные элементы редуции и откладывают их от временных знаков

По вычисленным элементам редуции составляют схематический чертеж. На этом чертеже для каждого временного знака сетки вычисляют элементы редуции: α и S .

α – для контроля измеряют, установив 0° на лимбе.

Измеренный отличается от вычисленного на $30-60''$.

При значительных величинах редуции (больше 7-10 м) необходимо повысить точность построения полярного угла до $\pm 30''$. Линейные элементы редуции откладывают по горизонтальному проложению, поэтому в наклонных местах надо вводить поправку за наклон (+).

Из формулы поправки за наклон

легко определить предельную величину превышения h , влиянием которой при требуемой точности отложения редуций можно пренебречь:

При большей величине превышений для данных расстояний необходимо вводить поправки за наклон.

Если при редуцировании знак попадает в канаву, овраг или на дорогу, где он быстро будет уничтожен, то в створе одной из осей намечают новую точку в 20-30 м от первой, и вычисляют элементы редуции на эту точку.

Контрольные измерения

Закрепив сетку постоянными знаками, приступают к контрольным измерениям.

Контрольные линейные измерения производят выборочно. Обычно проверяют длину отдельных сторон в наиболее слабых ее местах (между ходами 2-го и 3-го порядка). Контрольные угловые измерения организуют таким образом, чтобы охватить все стороны сетки. Для этого с инструментом становятся на пунктах, расположенных в шахматном порядке.

Углы измеряют средним теодолитом, одним приемом с замыканием горизонта. Теоретически стороны сетки должны быть равны строго 200 м, а углы $90^\circ 00' 00''$.

При достаточно точной работе величина этих отклонений обычно не превышает в среднем 10-15 мм в длинах сторон сетки и $10-15''$ в углах.

Если не обнаружено промахов, то координаты пунктов сетки принимают равные проектным.

1.2. Высотные сети. Назначение и требования к точности высотных сетей. Проектирование сетей. Расчёты точности проектов при разном числе ступеней высотного обоснования.

Точность и плотность высотных сетей, создаваемых на территории городов, промышленных и энергетических комплексов, зависит от точности разбивочных и съёмочных работ, а также от размеров обслуживаемой территории.

Инженерно-геодезические работы базируются на государственной нивелирной сети I—IV классов, развитой в большинстве районов страны в виде сплошного обоснования. Нивелирные сети I и II классов составляют главную высотную основу, посредством которой устанавливается единая система высот на территории страны.

Сети нивелирования I класса прокладываются на территориях крупных городов страны площадью, превышающей 500 км² (Москва, Ленинград и др.). Сети нивелирования II—IV классов создаются в зависимости от размеров территории, указанных ниже.

Площадь территории, км²

От 50 до 500

От 10 до 50

От 1 до 10

классы нивелирования

II, III, IV

III, IV

IV

Сети нивелирования, прокладываемые на территории городов и промышленных площадок, характеризуются следующими техническими характеристиками:

	Класс нивелирования		
	II	III	IV
Максимальная длина хода, км			
– между исходными пунктами	40	15	4
– между узловыми точками	10	5	2
Максимальное расстояние между реперами	2	0,2	0,2-0,5
Допустимые невязки в мм	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$

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

При сгущении нивелирной сети II класса нивелирование III класса прокладывается в виде отдельных ходов или систем ходов и полигонов, опирающихся на марки и реперы нивелирования высших классов. Если сеть нивелирования III класса является самостоятельной опорной сетью, то она строится в виде систем замкнутых полигонов. В этом случае нивелирные ходы прокладываются в прямом и обратном направлениях. В остальных случаях ходы III класса нивелируются в одном направлении.

Нивелирование IV класса производится в одном направлении по стенным и грунтовым реперам и центрам опорных геодезических сетей.

На территориях современных городов выполняются инженерно-геодезические работы самых разных видов. Наибольшие требования к точности основных разбивочных работ по высоте возникают при строительстве метрополитенов и крупных самотечных канализационных коллекторов.

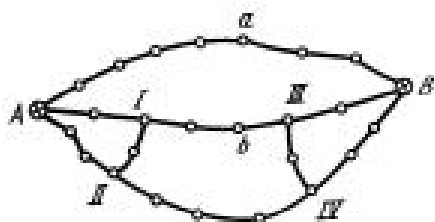
Для обеспечения подземных сбоек по высоте при строительстве метрополитена вдоль строящейся трассы обычно создаются специальные высотные сети по программе нивелирования III класса. Крупные самотечные канализационные коллекторы укладываются с уклоном 0,0005. Требуемая точность укладки коллекторов зависит от величины проектного уклона и расстояния между колодцами канализации. Как правило, эти расстояния равны 50, 75 или 100 м. Точность укладки трубопроводов зависит также от размеров сети канализации, охватывающей обычно всю территорию города. В зависимости от сочетания рассмотренных факторов высотная разбивка самотечных коллекторов обеспечивается проложением нивелирных сетей II или III классов.

Для высотного обеспечения строительства гидроузлов, магистральных каналов, системы мелиораций развиваются сети нивелирования II, III и IV классов.

Все работы на строительных площадках производятся в единой системе высот, принятой в период изысканий для проектирования сооружений. Характерной особенностью рассмотренных специальных нивелирных сетей является существенное уменьшение расстояний между реперами и длин ходов. При этом сохраняется методика государственного нивелирования II-IV классов.

При проектировании трассы нивелирования лучше всего размещать по шоссе, грунтовым проселочным дорогам, избегая участков местности с большими уклонами, болотами, торфяниками.

На территории городов нивелирные трассы следует намечать вдоль улиц с небольшим движением транспорта и пешеходов. На территориях гидроузлов сеть знаков высотного обоснования располагается с таким расчетом, чтобы высотные отметки на ответственные бетонные сооружения были переданы от двух реперов и по возможности не более чем с трех постановок нивелира. В составе сети нивелирования II класса должно быть не менее двух кустов реперов повышенной устойчивости (по три репера в каждом кусте), установленных в местах, не подверженных оседанию и выпучиванию. Эти реперы используются для контроля рабочих реперов II класса, используемых для наблюдений за осадками сооружений.



Пусть на плане запроектирована нивелирная сеть с исходными пунктами A и B и узловыми- I, II, III, IV. Если эта сеть будет использована для обоснования топографических съемок, то следует оценить величину ошибки определения высоты репера в наиболее слабом месте сети (например, а), а также найти ошибку взаимного положения по высоте реперов a и b.

Ошибка в превышении между реперами a и b необходима для расчета точности последующих классов нивелирования.

Если же рассматриваемая сеть расположена на территории промышленной площадки, то возможно, что вдоль линии $II-IV$ прокладывается трасса самотечной канализации. В этом случае основным критерием точности будет ошибка в определении превышений между смежными реперами по линии $II-IV$. Возможно, что репер a будет использован для наблюдения за осадкой зданий. Тогда самое важное - обеспечить стабильность положения этого репера.

С целью упрощения вычислений в сети могут быть опущены нивелирные ходы между узловыми точками, в наименьшей мере обуславливающие точность уравненных элементов.

В первую очередь, пользуясь схемой и техническими характеристиками проектируемой нивелирной сети, следует подсчитать квадраты средних квадратических ошибок и веса подлежащих измерениям превышений между узловыми реперами, а также узловыми и оцениваемыми реперами. Для этих целей можно воспользоваться формулой.

$$m^2 = m_{\text{км}}^2 L_{\text{км}},$$

где $m_{\text{км}}$ — средняя квадратическая ошибка нивелирования на 1 км хода; $L_{\text{км}}$ — длина линии нивелирования в километрах.

Обозначим ошибки измеренных превышений и соответствующие им веса через m_{Aa} , m_{Ab} , p_{Aa} , p_{Ab} и т.д., при этом индексы Aa , Ab и другие обозначают сочетания номеров реперов. Аналогичные ошибки и веса, полученные в процессе использования принципа общей арифметической середины, будем сопровождать индексами $Aa_{(0)}$, $Ab_{(0)}$ и т.д.

Рассмотрим задачу предвычисления точности определения превышения между точками a и b . Ходы AaB и AbB не имеют общих связей. Поэтому можно считать, что

$$m_{ab(0)}^2 = m_{Aa(0)}^2 + m_{Ab(0)}^2.$$

Отметка репера a может быть получена как среднее весовое. Поэтому средняя квадратическая ошибка превышения h_{Aa} вычислится по формулам

$$\left. \begin{aligned} p_{Aa(0)} &= p_{Aa} + p_{Ba}, \\ m_{Aa(0)}^2 &= \frac{c}{p_{Aa(0)}}. \end{aligned} \right\}$$

При вычислении ошибки $m_{Ab(0)}$ целесообразно упростить сеть за счет исключения из нее наиболее удаленной линии $II-IV$.

Отсюда

$$\left. \begin{aligned} p_{Ab(0)} &= p_{Ab} + p_{Bb}, \\ m_{Ab(0)}^2 &= \frac{c}{p_{Ab(0)}}. \end{aligned} \right\}$$

Подставляя последовательно найденные величины, получим искомую ошибку $m_{ab(0)}$.

При предвычислении величины ошибки превышения h_{II-IV} , опустим линии $A-I$ и $B-III$, в наименьшей степени влияющие на результаты уравнивания.

Для определения ошибок превышения h_{II-IV} , воспользуемся известной приближенной формулой, устанавливающей связь между уравненными и измеренными величинами,

$$m_{yp} = m \sqrt{\frac{n-r}{n}},$$

где n — число измеренных величин; r — число условных уравнений.

В рассматриваемом случае примем длины ходов между узловыми точками равными между собой, а число ходов, входящих в полигоны, равным n . При этом в обоих полигонах возникает по одному условному уравнению.

При этих предпосылках

$$\left. \begin{aligned} m_{yp}^2 &= m_{II-IV}^2 \frac{2}{3}, \\ m_{yp}^2 &= m_{II-IV}^2 \frac{3}{4}. \end{aligned} \right\}$$

Вычисление по приведенным выше приближенным формулам приводит к завышению размеров ошибок превышений на 10—15 %.

Пункты высотного обоснования закрепляются нивелирными знаками (реперами), которые должны отвечать следующим основным требованиям:

а) обеспечивать стабильность положения верхней рабочей части знака в течение установленного времени;

б) иметь конструкцию, обеспечивающую длительную сохранность знака в месте его закладки;

в) конструкция знака должна быть по возможности простой, позволяющей изготавливать его в заводских условиях и механизировать работы по закладке центра.

На территории городов нивелирные знаки должны закладываться в стены капитальных зданий и сооружений, построенных не менее чем за два года до закладки знака. Марки закладываются на высоте 1,5—1,7 м, а реперы — на высоте 0,3—0,6 м над поверхностью земли.

Не рекомендуется стенные нивелирные знаки закладывать в стены зданий и сооружений, расположенных вблизи железнодорожных путей. В стены одного здания не рекомендуется также закладывать более одного знака.

Грунтовые реперы закладываются только при отсутствии капитальных зданий и сооружений. Места закладки грунтовых реперов следует выбирать по возможности на выходах коренных пород, на участках с глубиной залегания грунтовых вод не менее 4 м и благоприятными условиями для стока поверхностных вод.

В практике строительства весьма эффективными оказались геодезические знаки в виде свай. Свайные реперы обеспечивают надежную сохранность высотного положения центра знака. Они просты и экономичны в изготовлении.

При закреплении пунктов высотной основы на гидроузлах ставится условие, чтобы нивелирные знаки были устойчивы и удобны для постоянного пользования в период строительных работ. Для геодезических знаков высотной основы целесообразно использовать наряду с типовыми конструкциями некоторые типы готовых железобетонных изделий (сваи, пилоны, а также анкерные болты, выходы арматуры и т. д.).

В местах наблюдения за осадками крупных инженерных сооружений закладываются фундаментальные реперы. При строительстве и эксплуатации современных зданий и сооружений закладываются центры по специально разрабатываемым проектам.

Ряд конструкций знаков высотной геодезической основы на строительных и промышленных площадках будет рассмотрен в последующих главах.

2. Геодезические разбивочные работы.

2.1. Геометрическая основа сооружений. Принципы разбивочных работ. Элементы разбивочных работ: построение в натуре проектных углов, линий, высот, уклонов. Основные способы разбивочных работ; их теория и точность: способы угловой и линейных засечек, полярных координат, проектного полигона и замкнутого треугольника, створной и створно-линейной засечек, бокового нивелирования. Основные источники ошибок при разбивочных работах. Выбор оптимального способа при вынесении в натуру проектных точек. Оценка точности разбивочных работ.

Разбивкой сооружений, или вынесением проекта в натуру, называют геодезические работы, выполняемые на местности для определения планового и высотного положения характерных точек и плоскостей строящегося сооружения согласно рабочим чертежам проекта.

По своему содержанию разбивочные работы противоположны съемочным. Если при съемке на основании натурных измерений составляют планы и профили и точность этих измерений зависит от масштаба съемки, то при разбивке, наоборот, по проектным планам и профилям находят на местности положение осей и точек сооружения для его строительства с точностью, предусмотренной нормативными документами. Поэтому способы измерений при разбивочных работах несколько отличаются от съемочных, а их точность значительно выше последних.

Многолетняя геодезическая практика выработала ряд ценнейших приемов для повышения точности угловых и линейных измерений между закрепленными на местности пунктами. Так, измерения углов обычно производят несколькими приемами в различных комбинациях; линии измеряют несколькими приемами или мерными приборами в прямом и обратном направлениях с последующим введением в полученные результаты ряда поправок за условия измерений и компарирование мерных приборов.

При разбивке инженерных сооружений обычно бывает задано на местности только одно направление или одна точка, а другое направление или другую точку необходимо найти, отложив проектный угол или проектное расстояние. Поэтому при разбивках часто бывает затруднительно применить способ многократных измерений заданных в проекте величин.

Геометрической основой проекта для вынесения его в натуру являются продольные и поперечные оси сооружения, относительно которых в рабочих чертежах даются все проектные размеры. Главные разбивочные оси привязывают к пунктам геодезической основы.

В качестве главных осей линейных сооружений (плотин, мостов, дорог, каналов, туннелей, направляющих путей, подземных и наземных коммуникаций) служат продольные оси этих сооружений; в проекте зданий — оси их симметрии или чаще габаритные оси внешних стен; отдельных эстакад, колонн, строений — оси симметрии их фундаментов.

Кроме главных разбивочных осей, различают основные оси наиболее ответственных частей сооружений (агрегатов, установок, конвейерных линий и др.), которые технологически связаны между собой и определяются с повышенной точностью.

К главным и основным осям привязывают положение вспомогательных осей, используемых для разбивки всех частей и деталей сооружений и конструкций (котлованов блоков, фундаментов, закладных частей, конструкций и др.).

Высоты плоскостей, уровней и отдельных точек проекта задают от условной поверхности (в зданиях — от уровня чистого пола первого этажа) и обозначают: вверх со знаком плюс, вниз со знаком минус. Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте.

Для вынесения проекта сооружения в натуру на местности строят плановую и высотную геодезическую основу соответствующей точности и в принятой системе определяют координаты и высоты пунктов этой основы. При геодезической подготовке проекта в этой же системе координат и высот определяют аналитические данные привязки главных осей и исходных уровней.

Разбивка сооружений выполняется в три этапа. На первом этапе производят основные разбивочные работы. От пунктов геодезической основы согласно данным привязки находят на местности положение главных разбивочных осей и закрепляют их знаками.

Опираясь на главные оси, производят разбивку и закрепление основных осей сооружения, причем для крупных сооружений для этой цели может возникнуть необходимость построения локальных разбивочных сетей.

На втором этапе проводят детальную строительную разбивку сооружения. От закрепленных точек главных и основных осей разбивают продольные и поперечные оси отдельных строительных блоков и частей сооружения с одновременной установкой точек и плоскостей на уровень проектных высот (отметок). Детальная разбивка, определяющая взаимное расположение элементов сооружения, производится значительно точнее, чем разбивка главных осей, задающая лишь общее положение и ориентировку сооружения в целом. Если в общем случае главные оси могут быть определены на местности с ошибкой 3—5 см, а иногда и грубее, то основные и детальные оси разбивают с точностью 2—3 мм, а то и точнее.

Третий этап заключается в разбивке технологических осей. По завершении строительства фундаментов разбивают и закрепляют монтажные (технологические) оси для установки в проектное положение конструкций и технологического оборудования. Этот этап требует наиболее высокой точности геодезических измерений (1—0,1 мм и точнее).

Таким образом, при разбивке сооружений соблюдается общий принцип производства геодезических работ: от общего к частному. Однако точность выполнения этих работ повышается от первого к третьему этапу.

Основными элементами разбивочных работ являются построение проектного угла, отложение проектных расстояний, вынесение в натуру проектных отметок и уклонов.

Построение проектного угла. Для построения на местности проектного угла β необходимо отыскать от заданной исходной стороны BA (рис. 10.1) направление, образующее с этой стороной угол β .

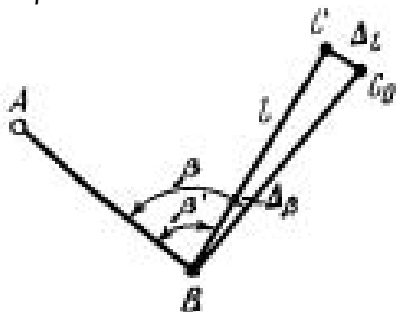


Рис.2.1

Установив в пункте B теодолит, наводят его визирную ось на пункт A и берут отсчет по лимбу (обычно около 0°). Прибавив к этому отсчету проектный угол β и открепив алидаду, ставят ее на найденный отсчет. В створе визирной оси теодолита на соответствующем по проекту расстоянии фиксируют на местности точку. Такое же построение выполняют при другом круге, отмечая вторую точку. Из двух точек берут среднюю (C на рис. 2.1), принимая построенный угол ABC за проектный.

Если необходимо построить проектный угол с повышенной точностью, то найденный в первом приближении угол ABC измеряют несколькими приемами, определяя его более точное значение β_1 . Взяв разность между проектным β и измеренным β_1 , получают поправку $\Delta\beta$, которую необходимо ввести для уточнения построенного угла

$$\beta = \beta_1 + \Delta\beta$$

Зная по проекту расстояние $BC=l$, вычисляют линейную поправку (редукцию) $\Delta l = l \Delta\beta$. Из рис. 10.1 видно, что

$$\Delta l = l \frac{\Delta\beta''}{\rho''},$$

где ρ — радиан в секундах.

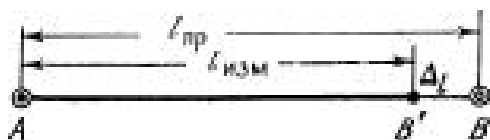
Отложив на местности от точки C перпендикулярно к линии BC величину Δl фиксируют точку C_0 . Угол ABC_0 и будет равен проектному углу β . Для контроля угол ABC_0 измеряют.

Точность построения на местности проектного угла зависит от ошибок собственно измерения (визирования и отсчета по лимбу), инструментальных ошибок, влияния внешних условий.

Ошибки центрирования и редукции и ошибки исходных данных, т. е. ошибки в положении исходных пунктов A и B , на точность построения проектного угла влияния не оказывают. Однако эти ошибки вызывают смещение направления BC и разбиваемой точки C .

Построение проектных линий. Для построения на местности проектной линии от исходной точки откладывают в заданном направлении расстояние, горизонтальное проложение которого равно проектному значению. Поправки в линию необходимо вводить непосредственно в процессе ее построения, а это затрудняет и осложняет работу, особенно при высокоточных измерениях. Поэтому часто поступают таким же образом, как и при построении углов.

На местности откладывают и закрепляют приближенное значение проектного расстояния. Это расстояние с необходимой точностью измеряют компарированными мерными приборами или точными дальномерами с учетом всех поправок измерений. Получив после камеральной обработки длину закрепленного отрезка и сравнив ее с проектным значением, находят линейную поправку Δl , которую и откладывают с соответствующим знаком от конечной точки отрезка B' (рис. 2.2). Для контроля построенную линию AB измеряют.



Линейная поправка

$$\Delta l = l_{пр} - l_{изм} \text{ и } l_{пр} = l_{изм} + \Delta l.$$

Точность определения поправки Δl , т. е. точность построения проектного расстояния $l_{пр}$ в этом способе полностью зависит от точности линейных измерений

Рис.2.2

расстояния AB' .

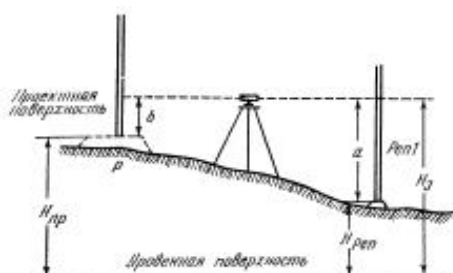
Исходя из требований к точности $l_{пр}$, выбирают средства измерений.

Следует иметь в виду, что при непосредственном отложении в натуре проектных расстояний поправки измерений имеют знаки, обратные тем, которые вводят при измерении линий.

В линии, измеренные по наклонной местности, вводится поправка за наклон для приведения ее длины к горизонту. Эта поправка вводится со знаком минус, так как наклонное расстояние всегда длиннее горизонтального проложения.

При разбивке сооружений наблюдается обратное явление: проектное расстояние должно быть отложено по горизонтальному проложению; откладывая его по наклонной местности, тем самым укорачивают проектную длину, следовательно, поправка должна быть введена в этом случае со знаком плюс.

Обычно при разбивках сооружений, чтобы не вводить поправок за наклон и повысить точность измерений, отложение проектных расстояний производят по обноскам, установленным горизонтально.



Для отложения на местности проектных линий используют в зависимости от требуемой точности стальные и инварные мерные приборы, оптические дальномеры, малые светодальномеры.

Вынесение в натуру проектных высот. Проектные высоты или отметки выносят в натуру от ближайших реперов, используя горизонт инструмента. Предварительно высоты от уровня чистого пола (или другого условного уровня) перечисляют в систему, в которой даны высоты реперов и произведена съемка

рельефа площадки.

Поставив нивелир посередине между репером Реп. 1 и выносимой точкой Р (рис. 2.3), определяют горизонт инструмента

$$H_i = H_{\text{Реп 1}} + a,$$

где $H_{\text{Реп}}$ — высота репера и a — отсчет по рейке на нем, и проверяют H_i по второму реперу.

Рис.10.3

Чтобы установить точку Р на проектную высоту $H_{\text{пр}}$, необходимо знать величину отсчета b . Из рис. 10.3 следует

$$H_{\text{Реп 1}} + a = H_{\text{пр}} + b,$$

отсюда

$$b = H_{\text{Реп 1}} + a - H_{\text{пр}}$$

или

$$b = H_i - H_{\text{пр}}.$$

Вычислив отсчет b , рейку в точке Р поднимают или опускают, добиваясь, чтобы отсчет по средней нити равнялся вычисленному. Пятка установленной рейки и будет соответствовать проектной высоте и ее фиксируют в натуре, забивая колышек, ввинчивая болт или проводя черту на колонне.

Для контроля вынесенные в натуру точки нивелируют и определяют их фактические отметки, которые сравнивают с проектными. При обнаружении недопустимых отклонений работу повторяют.

Для передачи проектных высот точек, расположенных в одной вертикальной плоскости (на стенах, опалубках, колоннах), можно отметить на плоскости непосредственно горизонт инструмента (проекцию средней нити сетки). Отмеряя вверх или вниз от этой линии соответствующее превышение, фиксируют ту или иную проектную высоту.

Вынесение в натуру линии и плоскости проектного уклона. Для построения на местности проектных уклонов используют нивелиры и теодолиты. Особенно эффективно применять для этой цели лазерные приборы.

Н и в е л и р закрепляют так, чтобы два его подъемных винта были примерно параллельны линии АВ (рис. 2.4). От ближайших реперов устанавливают в точках А и В проектные отметки, вычисленные по заданному продольному уклону. Наклоняя нивелир двумя подъемными винтами (или элевационным винтом), методом приближений добиваются равенства отсчетов по рейкам, поставленным на проектные отметки в точках А и В, т. е. приводят линию визирования нивелира в положение, параллельное проектной линии уклона. Если теперь установить рейку в створе АВ и, поднимая или опуская ее, добиться отсчета по ней, равного отсчету на конечные точки А и В, то пятка рейки будет фиксировать в натуре текущую точку линии заданного уклона. Перемещая рейку через определенное расстояние (например, 5 м), закрепляют в натуре линию заданного уклона от точек А и В.

По установленным в натуре на проектную отметку точкам А и В эта задача с меньшей точностью может быть решена визуальным путем при помощи трех визирок одинаковой длины (рис. 2.5). Опорные визирки на точках А и В задают линию $i4iBb$ параллельную АВ. В эту линию глазомерно вводят точку С1 промежуточной визирки, основание которой будет фиксировать положение точки С на линии АВ.

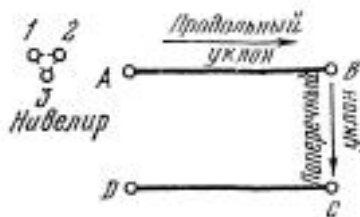


Рис. 2.4

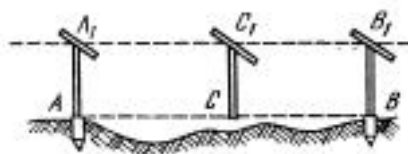
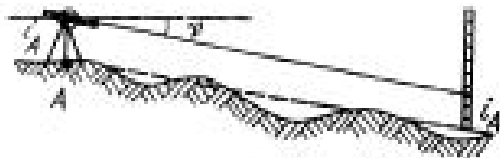


рис. 2.5

Аналогично выносят в натуру проектную плоскость. Установив точки А, В, С, D (см.рис.10.4) на проектные отметки и действуя тремя подъемными винтами нивелира, добиваются методом приближений, чтобы отсчеты по рейкам на всех четырех точках были равны, т. е. чтобы линия визирования стала параллельной заданной проектной плоскости.

Установим теперь на тот же отсчет рейку в любой точке фигуры $ABCD$; ее пятка будет лежать в проектной плоскости, которую закрепляют в натуре.

При использовании теодолита его устанавливают в начальной точке, которую предварительно проводят на уровень проектной отметки, и относительно нее измеряют высоту прибора. На вертикальном круге с учетом места нуля устанавливают отсчет в градусной мере равным проектному уклону линии, придавая таким образом визирной линии уклон, параллельный проектному.



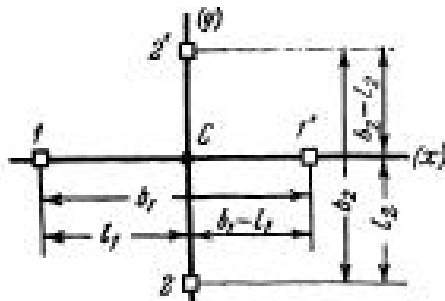
Если теперь отметить на вехе или рейке высоту прибора и совмещать метку через 5—10 м с визирной осью трубы, наведенной в заданном направлении, то основание вехи или пятка рейки укажут на местности точки, лежащие на линии проектного уклона (рис.2.6). Эти точки закрепляются колышками соответствующей высоты.

Рис.2.6

Детальная разбивка сооружений производится от основных осей преимущественно способами: створных засечек, линейных засечек, створно-линейных.

Створная засечка.

Положение точки определяется пересечением двух створов (осей), закрепленных на противоположных сторонах сооружения. Створы обычно задаются теодолитами.

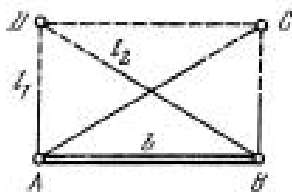


Створная засечка применяется главным образом при разбивке промышленных и гражданских сооружений. Точность створной засечки m зависит от точности построения первого (m_{c1}) и второго (m_{c2}) створов, влияния ошибок исходных данных ($m_{и}$), а также точности фиксирования найденной точки на местности ($m_{ф}$)

Основными ошибками при построении створов является: ошибка центрирования теодолита ($m_{ц}$) и редукиции визирных целей ($m_{р}$), ошибка визирования ($m_{в}$), ошибка за изменение фокусировки зрительной трубы ($m_{ф}$), за влияние внешних условий ($m_{внеш.}$)

Способ линейной засечки

В способе линейной засечки точки сооружения определяются пересечением расстояний, отложенных от закрепленных на местности точек сторон или осей сооружения.

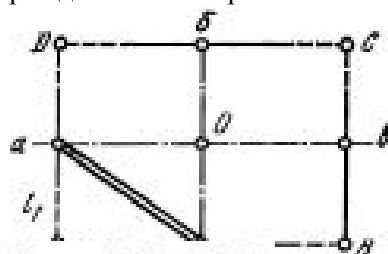


Для разбивки линейной засечкой сооружения $ABCD$, сторона которого $AB=b$ определена от пункта строительной сетки, от точки A по рулетке откладывают длину $AD=l_1$, от B откладывают диагональ $l_2 = \sqrt{l_1^2 + b^2}$. Пересечение l_1 и l_2 находят на местности D .

Аналогично определяют точку C . для контроля разбивки измеряют сторону CD , которая должна быть равна b .

При разбивке от осевых устанавливают нулевые расстояния l_1 и l_2 засекают B .

Для определения формулы ошибки прямой



знаков a , b , и c на знаках a и c штрихи рулеток и по проектным засекают точку A . Т.о. от c и b Правильность разбивки проверяют AC и BD .

точности линейной засечки в полной угловой засечки

$$m^2 = b^2 \frac{\sin^2 \beta_2}{\sin^4 \gamma} \left(\frac{m_{\beta_1}}{\rho} \right)^2 + b^2 \frac{\sin^2 \beta_1}{\sin^4 \gamma} \left(\frac{m_{\beta_2}}{\rho} \right)^2$$

Выразим синусы углов через стороны и ошибки углов – через ошибки длин сторон

$$\frac{\sin \beta_1}{\sin \gamma} = \frac{l_2}{b}; \quad \frac{\sin \beta_2}{\sin \gamma} = \frac{l_1}{b}$$

и

$$\frac{m_{\beta_1}}{\rho} = \frac{m_{l_2}}{l_1}; \quad \frac{m_{\beta_2}}{\rho} = \frac{m_{l_1}}{l_2},$$

то

$$m^2 = \frac{1}{\sin^2 \gamma} (m_{i_1}^2 + m_{i_2}^2).$$

При одинаковой точности отложения расстояний

$$m = \frac{m_1 \sqrt{2}}{\sin \gamma}.$$

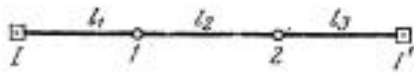
Наиболее выгодной является линейная засечка под прямым углом.
При $\gamma=90^\circ$

$$m = m_1 \sqrt{2}$$

или в относительных ошибках

$$\frac{m}{l} = \frac{m_1 \sqrt{2}}{l}.$$

Створно-линейный способ.



Проектные расстояния откладываются по створам, закрепляющим разбивочные оси.

Исходными пунктами I и I' являются знаки основных осей сооружений. створ обычно задают теодолитом; на небольших расстояниях он может осуществляться монтажной проволокой.

Проектные расстояния откладывают стальными или инварными приборами. Контролем является примыкание ко второму исходному пункту.

Основными источниками ошибок створно-линейного способа являются: построение створа (m c) и отложение проектных расстояний (m l)

Как и в других способах на точность будут оказывать влияние ошибки исходных данных (m u) и ошибки фиксирования точек (m φ).

2.2. Технология разбивки сооружений. Геодезическая подготовка проекта: аналитический расчёт, составление разбивочных чертежей.

Вынесение в натуру главных и основных осей сооружений. Закрепление осей. Контрольные измерения. Детальная разбивка осей.

Проект сооружения. Строительство инженерных сооружений осуществляется по рабочим чертежам проекта, которые разрабатываются на основании всесторонних комплексных изысканий.

Основными документами проекта для вынесения его в натуру являются следующие;

г е н е р а л ь н ы й п л а н сооружения в масштабе 1:500—1 : 2000, в котором на топографической подоснове нанесены все проектируемые строения, указаны проектные координаты главных точек и отметки характерных плоскостей. Для сложных сооружений генеральный план дополняют ч е р т е ж о м разб и в к и г л а в н ы х осей (в городах — к р а с н ы х л и н и й з а с т р о й к и) с данными привязки к пунктам геодезической основы;

р а б о ч и е ч е р т е ж и , на которых в крупных масштабах даются планы, разрезы, профили всех частей сооружений с размерами и высотами деталей;

п р о е к т в е р т и к а л ь н о й п л а н и р о в к и в масштабе 1:1000—1:2000 — проект преобразования естественного рельефа местности для создания поверхности с плавными уклонами, обеспечивающими сток ливневых вод. В проекте по сетке квадратов или поперечников даны высоты поверхности земли и проектные и рабочие отметки. В к а р т о г р а м м е земляных работ приведены объемы выемки и насыпи по квадратам или массивам и показаны направления перемещения земляных масс;

п л а н ы и п р о д о л ь н ы е п р о ф и л ы д о р о г , подземных коммуникаций, воздушных линий в масштабах: горизонтальном 1 : 2000—1 : 5000, вертикальном 1 : 200—1 : 500;

с х е м ы г е о д е з и ч е с к о г о о б о с н о в а н и я строительной площадки, чертежи центров и знаков, ведомости координат и отметок;

п о я с н и т е л ь н а я з а п и с к а с обоснованием проектных решений и инженерными расчетами.

Кроме этого, изучается п р о е к т о р г а н и з а ц и и строительных и геодезических работ, календарный план строительства, а также проект размещения подсобных производственных предприятий и временных сооружений — с т р о й г е н п л а н.

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

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

Геодезическая подготовка проекта зависит от способа проектирования сооружения: аналитического, графоаналитического, графического.

При аналитическом способе все проектные данные находят путем математических вычислений, при этом координаты существующих зданий и сооружений определяют геодезической привязкой в натуре, а размеры элементов проекта задают, исходя из технологических расчетов и схемы горизонтальной планировки площадки. Генеральный план сооружения служит лишь для наглядности принятых проектных решений. Этот метод проектирования применяют главным образом для реконструкции и расширения предприятий, железнодорожных узлов и др.

Чаще используют графоаналитический способ, при котором часть исходных данных для проектирования берется графическим путем с топографического плана (размеры построек, координаты ряда контурных точек), остальные данные определяются аналитически (размеры проектируемых сооружений, координаты углов опорных зданий).

Если проект сооружения не связан с существующими строениями, то иногда применяют графический способ проектирования, при котором все основные вопросы планировки решаются на плане графически. Расчет проекта производят по графическим координатам всех его главных точек. Путем решения обратных задач находят длины и дирекционные углы отдельных линий и полярные координаты для вынесения в натуру главных осей от пунктов геодезической основы.

При графическом способе ошибки проектирования зависят в первую очередь от точности плана и его масштаба. Как известно,

$$\Delta = \delta M$$

где δ — ошибка определения на плане длины линий или координат точек; M — знаменатель масштаба плана.

Аналитический расчет проекта. Для выноса проекта в натуру независимо от способа проектирования все его геометрические элементы должны быть строго математически увязаны между собою и с имеющимися на площадке капитальными зданиями и сооружениями. Это необходимо, чтобы устранить влияние на точность разбивочных работ ошибок в исходных для проектирования данных (координатах, высотах, длинах линий), особенно взятых графически с плана, и возможных неточностей самого проектирования и тем самым избежать в процессе строительства появления грубых ошибок в расположении сооружений.

При аналитическом расчете по проектным размерам и углам вычисляют координаты пересечений осей сооружений, проездов, красных линий застройки; наоборот, по исходным координатам, полученным в результате измерений на местности или взятым по плану, находят расчетные значения длин линий и углов поворота. На трассах определяют элементы прямых и кривых, проектные высоты, уклоны. В опорных зданиях проверяют координаты угловых точек. Главные разбивочные оси привязывают к пунктам геодезической основы.

Типовыми геодезическими задачами, решаемыми при аналитическом расчете проекта, являются прямая и обратная задача; определение точек пересечения двух прямых, прямой и кривой; вычисление уравнений линий, параллельных и перпендикулярных к заданным, координат центров круговых сооружений; расчеты главных элементов кривых и др.

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

Привязка проекта. Привязкой проекта называют расчеты геодезических данных, по которым на местности разбивают главные оси сооружений. Привязка рассчитывается с гарантированным контролем.

При реконструкции и расширении объекта, когда вновь строящиеся сооружения тесно связаны с существующими, данными привязки обычно являются расстояния от контуров или осей опорных строений до проектируемых (рис. 2.7, а). Для контроля разбивки хотя бы одну из главных точек привязывают к имеющемуся на площадке геодезическому пункту.

Для строящихся объектов на новых площадках данными привязки проекта служат разбивочные элементы относительно пунктов создаваемой геодезической основы, при этом точки главных осей задаются полярными или прямоугольными координатами, а также разбивочными углами в случае применения способа угловой засечки (рис. 2.7, б).

На городских территориях привязка проекта сооружений производится способом полярных или прямоугольных координат к точкам красных линий, разграничивающих поле застройки от полосы проездов (улиц). План красных линий составляют при разработке проекта детальной планировки, при этом рассчитывают координаты всех поворотных точек прямых и главных точек кривых, по которым эти точки выносят в натуру от пунктов полигонометрической сети и закрепляют. Для контроля по всем закрепленным точкам красных линий прокладывают полигонометрические (или теодолитные) ходы, в результате обработки которых получают исполнительные координаты красных линий. Если эти координаты в некоторых точках отличаются от расчетных (проектных) на величину, превышающую допустимое отклонение (3-5см), то положение этих точек корректируется на местности.

Для типовых проектов сооружений привязка их к местности может быть осуществлена и к осям проездов, пересечение которых задают координатами. Очевидно, что вынос проекта в натуру от красных линий или осей проездов может быть заменен разбивкой сооружений от ближайших пунктов геодезической основы с соответствующим пересчетом разбивочных элементов.

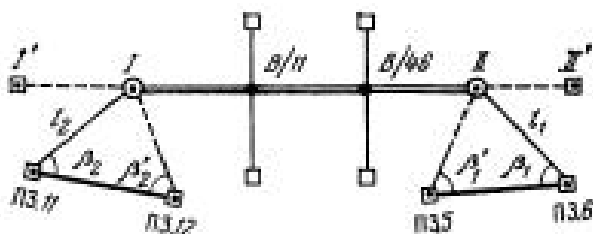
Составление разбивочных чертежей. На основании генерального плана сооружения, аналитического расчета и привязки проекта составляют разбивочный чертеж — основной документ для разбивки главных осей сооружения в натуре. В этом документе в масштабе 1:2000—1:5000 или крупнее в зависимости от сложности сооружения показывают пункты разбивочной основы; положение главных осей с их координатами и разбивочными элементами; контуры сооружения с длинами сторон и углами поворота.

Проект производства геодезических работ. На основе изучения генерального плана объекта, стройгенплана и технических условий на возведение отдельных сооружений составляется проект производства геодезических работ (ППГР), который является составной частью общего проекта производства строительно-монтажных работ и тщательно увязывается с ним.

ППГР предназначается для своевременного обеспечения геодезическими данными всего комплекса строительных работ и монтажа технологического оборудования. Проект состоит из следующих основных разделов.

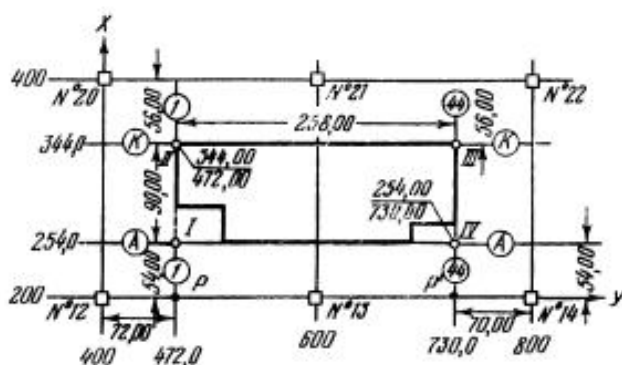
1. Организация геодезических работ на строительной площадке. Технология и календарный план выполнения работ. Схема геодезической службы и функции ее подразделений. График обеспечения геодезическими приборами. Смета на производство геодезических работ.
2. Основные инженерно-геодезические работы. Схема и программа построения на площадке плановой и высотной разбивочной основы и обоснование ее точности. Уравнивание. Типы центров и знаков. Периодичность контроля устойчивости плановой и высотной основы.
3. Геодезическиеразбивочныеработы. Разбивка главных осей сооружений. Детальная разбивка сооружений по этапам строительно-монтажных работ. Исполнительные съемки.
4. Геодезическая выверка конструкций и оборудования. Разбивка и закрепление монтажных осей. Установка и выверка конструкций в плане, по высоте, по вертикали. Требование к точности. Приборы. Контрольные измерения.
5. Наблюдения за деформациями сооружений. Обоснование точности. Методы. Геодезическая основа. Схема размещения знаков. Периодичность наблюдений. Отчетная документация.

Для разбивки главных осей на основании общего разбивочного чертежа объекта (или его генплана) и рабочих чертежей фундамента сооружения составляют схематический чертеж, на котором в крупном масштабе показывают ближайшие к сооружению пункты геодезической основы, положение главных осей с разбивочными элементами, рассчитанными для принятого способа разбивки, проектные размеры сооружения. В приведенном на рис. 2.8 примере продольная ось сооружения разбивается полярным способом от пунктов полигонометрии. Найденные в натуре исходные точки I и II закрепляются фундаментальными знаками. На расстоянии 20—30 м от них строго в створе оси закладывают дополнительные знаки крепления I" и II".



Для контроля привязки на пункте ПЗ.12 (или ПЗ.6) может быть измерено направление β'_2 . Расстояние между исходными точками I и II измеряют с заданной в проекте точностью, при этом намечают точки В/11 и В/46, в которых перпендикулярно к продольной оси разбивают и закрепляют поперечные основные оси.

При наличии на площадке строительной сетки обычно привязывают в проекте габаритные оси зданий и разбивают их в натуре способом прямоугольных координат (рис. 2.9). Главные точки здания I и IV определяют от ближайших пунктов сетки по вычисленным приращениям абсцисс и ординат, при этом большее приращение отмеряют по стороне сетки, меньшее — по перпендикуляру. Для небольших строений точки II и III могут быть определены путем отложения по створам PI и $P'IV$ проектных расстояний с измерением для контроля длины стороны $II III$. Для больших зданий, ширина которых превышает 100 м, следует точно определять эти точки от смежных пунктов строительной сетки.



Так как при разбивке главных осей определяется лишь общее положение сооружения на площадке и его ориентирование относительно соседних сооружений и ситуации местности, то относительную ошибку отложения проектных расстояний от пунктов полигонометрии или строительной сетки, когда величина этого расстояния, как правило, не превышает 100—200 м, допускают до $1/5000$, а проектных углов — 20».

Взяв разность между измеренным и проектным значениями расстояния, откладывают ее рулеткой в створе линии и закрепляют найденную точку. Для контроля измеряют общую длину линии.

После закрепления точек *I, II, III* и *IV* устанавливают на каждой из них теодолит и проверяют взаимную перпендикулярность осей. Отклонение от прямого угла для строительных работ допускают не более 30». При больших отклонениях необходимо несколько переместить ближайшую точку. Следует иметь в виду, что взаимная перпендикулярность главных осей является одним из основных требований, предъявляемых к их разбивке, ибо перекося этих осей приведет в дальнейшем к перекося всех остальных осей сооружений.

Закрепление осей. Окончательное положение оси на обноске фиксируют небольшим гвоздем на дереве или керном на металле, обводят масляной краской и подписывают ее номер. При сплошной обноске особо важные оси дополнительно закрепляют грунтовыми железобетонными знаками. Знаки устанавливают рядом с обноской на глубину 1,2—1,5 мм и для большей сохранности закрывают сверху крышками. Оси с обноски переносят на эти знаки при помощи теодолита и фиксируют на металлических центрах накернованной точкой.

После закрепления осей в нескольких местах сплошной обноске могут быть сделаны проемы для проезда транспорта. В процессе строительства необходимо следить за состоянием обноске, периодически проверять от надежных знаков ее неподвижность.

Сдана основных разбивочных работ. Завершив работы по построению осевой разбивочной основы, составляют акт сдачи работ и исполнительный чертеж, на который наносят:

а) пункты геодезической основы, от которых по координатам разбивались главные оси, с указанием разбивочных элементов;

б) обноску с расположением осей и с указанием расстояний между ними по результатам контрольных измерений;

в) знаки крепления осей.

Перенесение креплений осей внутрь зданий и сооружений. Разбитые на обноске и закрепленные вне здания главные и основные оси по мере возведения надземной части сооружения теряют свою практическую ценность. Поэтому для продолжения разбивочных работ при строительстве фундаментов под оборудование и монтаже строительных конструкций приходится знаки крепления осей переносить внутрь зданий.

Перенесение знаков производят створным способом по завершении нулевого цикла, когда еще возможно прямое визирование между точками, закрепляющими оси на противоположных сторонах обноске; при этом тщательно центрируют теодолит и марки и добиваются, чтобы ошибка переноса осей не превышала 1—2 мм.

В зависимости от размеров сооружения и от требуемой точности монтажных работ оси закрепляют различными знаками. В небольших зданиях иногда бывает достаточно забетонировать с внутренних сторон стен скобы и накернить на них положение осей. Наиболее часто оси закрепляют металлическими знаками, забетонированными в построенные части фундамента или в опорную плиту на исходном горизонте с учетом возможности установки над ними теодолита. Основные оси прецизионных сооружений, требующих высокой точности геодезических работ, закрепляют фундаментальными знаками.

Одновременно с плановыми знаками внутрь сооружений переносят и высотные знаки — реперы. Последние устанавливают в наиболее устойчивых фундаментах или совмещают с фундаментальными плановыми знаками. Таких реперов должно быть не менее 2—3. Однако на крупных сооружениях общее число реперов и их местоположение рассчитывают таким образом, чтобы в любую часть сооружения можно было передать проектную отметку с контролем (от двух реперов) с одной постановки нивелира, т. е. примерно через 100—150 м необходимо иметь репер.

ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КОТЛОВАНОВ И ФУНДАМЕНТОВ

Разбивка котлованов. Детальная разбивка сооружений производится последовательно, в соответствии с этапами строительно-монтажных работ. Сначала ведут разбивку котлованов и траншей для производства земляных работ. Затем выполняют разбивку осей для возведения оснований и фундаментов. Наконец, производят геодезические работы для монтажа конструкций и оборудования, для строительства надземной части зданий и сооружений.

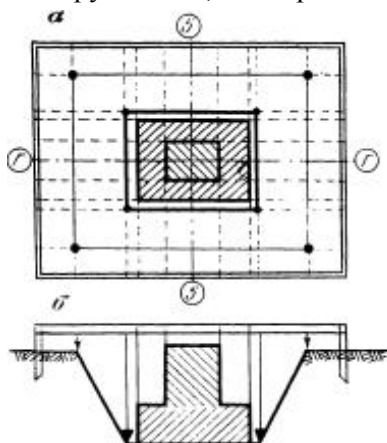


Рис.2.10

Для разработки котлована необходимо согласно проекту разбить на местности от основных осей проекцию контура его основания, наметить бровки откосов, передать на дно котлована проектную отметку и проверить планировку дна и откосов. С целью уточнения объема земляных работ дневная поверхность в пределах бровки откосов котлована нивелируется по квадратам или поперечникам.

Для небольших установок и зданий разбивка котлована может быть произведена одновременно с детальной разбивкой осей фундамента. Вокруг проектируемого сооружения намечают дополнительную обноску, положение которой на местности определяют от основных осей способом прямоугольных координат.

На эту обноску способом створов переносят с общей обноски продольную и поперечную основные оси фундамента и закрепляют их на двух сторонах обноски (рис. 2.10, а — план, б — разрез). От этих осей рулеткой откладывают проектные расстояния до всех граней и контуров котлована и фундамента (бровки и основания котлована, основания и обреза фундамента и т. д.), закрепляют их и подписывают номера осей.

Соединив одноименные точки на обноске тонкой проволокой, получают контур той или иной части сооружения. Для обозначения на местности границ котлована пересечения соответствующих проволок (осей) проектируют отвесом на землю и закрепляют колышками.

При строительстве глубоких котлованов вначале производят выемку и вывоз грунта и уже затем строят обноску.

В этом случае границы котлована разбивают непосредственно от основных осей. Когда котлован вчерне вырыт, на дно его передают высоты от ближайших реперов. Если откосы котлована пологие, эта передача осуществляется несколькими постановками нивелира.

Когда откосы крутые и постановка на них прибора невозможна, высоты передают при помощи двух нивелиров и рулетки (рис. 2.11).

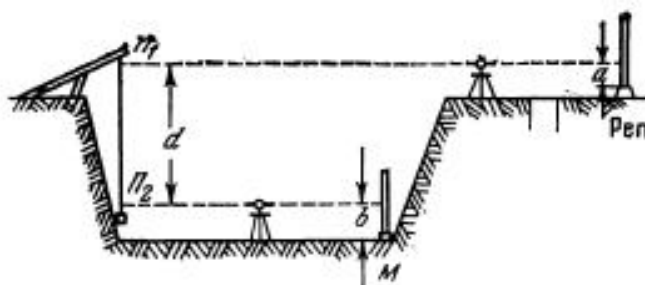


Рис. 2.11

На бровке котлована прикрепляют к кронштейну рулетку и опускают ее на дно, подвесив на конце груз, равный натяжению при ее компарировании. Между ближайшим репером и кронштейном, соблюдая принцип равенства плеч, устанавливают нивелир; второй нивелир ставят в котловане, посередине между рулеткой и точкой, на которую передают высоту.

На репере и точке в котловане устанавливают рейки и по ним берут отсчеты. Затем одновременно оба нивелировщика отсчитывают по рулетке.

Высота точки М в котловане будет

$$H_M = H_{\text{реп}} + a - d - b,$$

где $H_{\text{реп}}$ — высота репера; a и b — отсчеты по рейкам, установленным соответственно на репере и в котловане; $d = n_2 - n_1$ — разность отсчетов нижним и верхним нивелирами по рулетке (нуль рулетки вверху).

Для контроля можно передать отметку от другого репера, несколько изменив при этом подвеску рулетки. При выполнении земляных работ достаточно передать отметку на дно котлована с ошибкой 1 см.

Чтобы передать высоту с повышенной точностью, в величину отрезка рулетки d вводят поправки за компарирование и температуру, а также более строго соблюдают равенство плеч для верхнего и нижнего нивелиров.

В общем случае точность этого способа передачи высот определяется по формуле

$$m_{II}^2 = m_{II \text{ реп}}^2 + 2m_a^2 + m_d^2,$$

где принято, что ошибки отсчетов по рейке $m_a = m_b$.

От точки в котловане (как рабочего репера) устанавливают в натуре проектные высоты для окончательной зачистки дна.

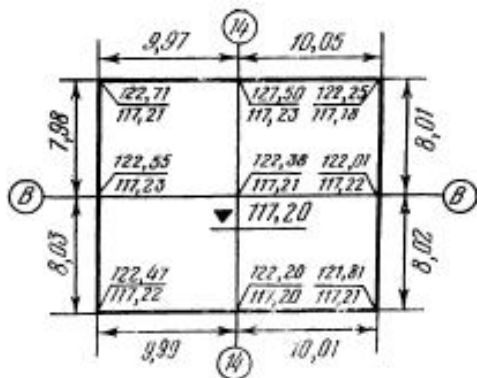


Рис. 2.12

Когда котлован готов, приступают к его исполнительной съемке. От продольной и поперечной осей, которые передают в котлован наклонным визированием, промеряют расстояния до основания откоса и проводят исполнительное нивелирование дна по сетке 5—10 м. По этим данным составляют исполнительный чертеж котлована (рис. 2.12), на котором указывают размеры котлована от основных осей и выписывают высоты поверхности земли до вскрытия котлована и исполнительные высоты дна. В середине указывают проектную отметку, отклонения от которой в среднем не должны превышать 2—3 см. Отклонения от проектных размеров допускают до 5 см.

Разбивка под опалубку.

При возведении фундамента из монолитного железобетона на естественное дно котлована укладывают слой щебенки или бетонной смеси и на этой подготовке устраивают опалубку, представляющую собою как бы форму будущего фундамента. В эту форму устанавливают арматуру и закладные части и затем заполняют ее бетоном. Внутренняя часть опалубки должна быть построена таким образом, чтобы возводимое сооружение и его отдельные части по своим размерам, плановому и высотному положению в точности соответствовали проекту. При построении опалубки используют оси, закрепленные на установленной обноске.

Для фундаментов, строящихся внутри зданий, по окончании монтажа строительных конструкций бывает целесообразно использовать смонтированные колонны для установки на них створной обноски из отдельных металлических уголков, приваренных к колонкам. На уголки выносят оси и используют их для разбивочных работ.

Так как для опалубки допустимые отклонения от проекта могут составлять $\pm 5\text{--}10$ мм, то обычно в качестве осей используют тонкую монтажную проволоку, соединяющую одноименные точки на противоположных сторонах обноски. По отвесу эти оси проектируются на отдельные части строящейся опалубки и монтируемой арматуры. В высотном отношении основные плоскости опалубки устанавливаются в проектное положение по отметкам, вынесенным нивелиром от ближайших реперов с точностью 3—5 мм.

Если опалубка высоко поднимается над поверхностью земли и заслоняет собою створ между осевыми точками на противоположных сторонах обноски, то до построения опалубки необходимо дополнительно закрепить ось, установив с каждой стороны не менее двух грунтовых знаков или отметив ее яркой окраской на соседних сооружениях, чтобы иметь возможность прямым визированием поставленного в створ теодолита вынести ось на любую часть опалубки, а затем и на фундамент.

При постройке опалубки фундаментов особое внимание обращают на правильную установку в плане и по высоте всех закладных частей и в первую очередь анкерных устройств (анкерных болтов и плит, пробок для колодцев), служащих для закрепления металлоконструкций и оборудования, а в зданиях из железобетонных конструкций — на точную разбивку стаканов для установки железобетонных колонн.

При постройке ленточных фундаментов стен дополнительно следят за разбивкой вводов в здание подземных коммуникаций. На определенной отметке и по назначенному в проекте расстоянию устанавливают в опалубке деревянные пробки несколько большего диаметра, чем труба коммуникаций. При бетонировании фундамента в этих местах остаются отверстия, к которым впоследствии подводят коммуникации.

Установка анкерных устройств. Анкерные устройства устанавливают от осей фундамента, которые для этого выносят т е о д о л и т о м на верх опалубки и закрепляют там. Если опалубка или обноска находится глубоко в котловане и при выносе осей приходится наклонять трубу теодолита на значительный угол, то для уменьшения влияния инструментальных ошибок вынос осей необходимо выполнять при двух положениях круга теодолита, образуя из них среднее. При этом ось вращения теодолита должна быть тщательно приведена в отвесное положение.

В фундаментах под колонны металлоконструкций и под легкое оборудование устанавливают анкерные болты небольшого диаметра и массы. Опорой для этих болтов являются деревянные шаблоны, построенные сверху опалубки (рис. 2.13, а). В фундаментах под тяжелые агрегаты закладывают анкерные устройства больших диаметров и большой массы, для удерживания их приходится устраивать специальные монтажные приспособления (рис. 2.13, б). Основными частями этих приспособлений являются металлические шаблоны 1, служащие для закрепления

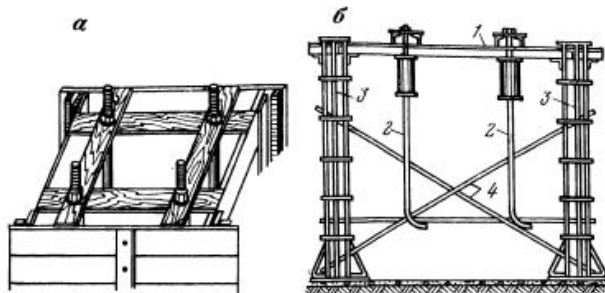


Рис.2.13

На фундаментах под оборудование анкерные устройства обычно имеют сложную систему расположения в плане и по высоте. Их установка и выверка является наиболее кропотливой и трудоемкой из всех разбивочных работ. Каждый анкерный болт должен быть установлен в

анкерных устройств 2, и металлические каркасы 3, поддерживающие во время бетонирования шаблоны с анкерными устройствами в проектное положение. Стойки каркасов опираются на бетонную подготовку и связываются между собой рамами 4. После бетонирования каркасы с анкерными устройствами остаются в бетоне, а шаблоны снимаются.

проектное положение промерами от продольных и поперечных осей с допускаемым отклонением не более ± 5 мм.

Для облегчения этой работы на каждую типичную группу анкерных устройств изготавливают особый шаблон, называемый **м о н т а ж н ы м к о н д у к т о р о м** (рис. 2.14). Кондуктор представляет собой рамное приспособление, сваренное из металла того или иного профиля, на котором в строгом соответствии с проектом расположения анкерных устройств нанесены координатные оси и просверлены отверстия в местах установки болтов. Для нетяжелых анкерных устройств кондукторы могут быть изготовлены из деревянных брусьев.

При закреплении кондуктора на месте его координатные оси совмещают с соответствующими осями фундамента и верхнюю плоскость устанавливают на уровень проектной отметки. Если отверстия для анкерных болтов нанесены строго по проекту и если кондуктор с точностью 1—2 мм установлен относительно разбивочных осей фундамента, то естественно, что закрепленные в центре отверстий болты будут расположены в плановом отношении с надлежащей точностью. Необходимо только установить их при помощи нитяного отвеса вертикально (со средней квадратической ошибкой $1/1000$ длины болта) и поднять или опустить до требуемой отметки относительно верхней плоскости кондуктора. При этом должен быть дан некоторый запас по высоте на усадку бетона (примерно 0,2 мм на каждый метр толщины фундамента), так как СНИП не допускает высотных отклонений анкерных болтов со знаком минус (ниже проектной отметки).

Окончательно установленные анкерные устройства жестко закрепляют гайками к шаблону, концы их приваривают к каркасу или арматуре, чтобы при бетонировании их положение не нарушалось.

Одновременно с анкерными устройствами устанавливают и другие закладные части: трубопроводы внутри фундамента, трубки для электрокабелей, поддерживающие элементы для облицовки и окаймления фундамента и др.

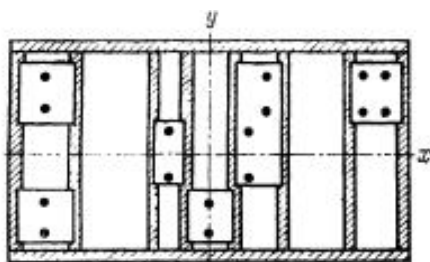


Рис.2.14

Так как установка анкерных устройств является очень ответственным этапом, во многом определяющим качество монтажных работ, то до бетонирования фундамента необходимо произвести планово-высотную выверку установки этих устройств и других закладных частей.

Выверку начинают с контроля основных осей фундамента, проверяют, не сбилась ли обноска и правильно ли вынесены оси на опалубку.

От уточненных осей (натянутой проволоки) измеряют при помощи рулетки и отвеса горизонтальные проложения до центров анкерных болтов и других закладных частей, а также расстояния между ними. Одновременно нивелированием определяют их высоты.

По данным контрольных измерений вычисляют для каждого анкерного устройства отклонения от проектных расстояний вдоль продольной и поперечной осей, а также по высоте и выписывают эти отклонения в особую ведомость. Если эти отклонения не превышают допустимой величины (5 мм), приступают к бетонированию фундамента.

При установке и выверке закладных частей необходимо строго соблюдать правила техники безопасности; в частности, на время измерений опалубку сверху закрывают настилом.

В процессе бетонирования фундамента дополнительно закладывают в него ряд плановых и высотных геодезических знаков, необходимых для монтажных работ и для наблюдений за осадками сооружения.

3. Методология контроля геометрических параметров.

3.1. Общие принципы контроля геометрических параметров.

Практическая геометрия решает две задачи:

1. Прямую (задача формирования геометрии)
2. Обратную (задача определения геометрии)

Названные задачи связаны с этапами существования объектов исследования, которые могут быть сформулированы в следующем порядке:

1. Изыскания, проектирование
2. Возведение
3. Эксплуатация

4. Демонтаж

Любой объект в геометрическом отношении в соответствие с этапами существования объекта исследования может быть охарактеризован:

- Номинальной геометрией (совокупность геометрических параметров, абстрактно характеризующих размеры и форму сооружений определяемых исходя из функционального назначения каждого элемента объекта).
- Проектной геометрией – номинальные геометрические параметры в совокупности с допустимыми технологическими отклонениями.
- Фактической геометрией – совокупность геометрических параметров исследуемого объекта, которые описывают сооружение в данный момент времени.
- Деформационной геометрией – величины геометрических характеристик, определяемые нестабильностью внешних и внутренних факторов объекта, исследуемых в процессе эксплуатации. Все известные методы исследования геометрии можно дифференцировать на две основные группы:

1. Координатные
2. Контурные

Рассматривая координатные методы в общем смысле выделим следующие этапы реализации названных методов:

1. Осуществляется выбор координатной системы, которая однозначно определяла бы геометрические характеристики исследуемого объекта.
2. Исследуемый объект покрывают дискретно распределенными точками. Названные точки объединяют в некоторые геодезические построения. В названных построениях выполняют измерения. В результате их обработки получают координаты искомых точек.
3. Выполняют аппроксимацию совокупности полученных координат точек (графически, аналитически). В результате получают форму исследуемой поверхности. Выполняя анализ полученной формы определяют геометрические характеристики последней.

Рассматривая *контурные методы* в общем смысле можно выделить следующие этапы их реализации:

1. Выбор системы координат
2. В районе контролируемого объекта формируется референтный контур.

Референтный контур – это математически правильный, однозначно определенный, физически реализованный контур исследуемого объекта, имеющий известные параметры ориентирования в принятой системе координат.

3. Выполняют измерения от референтного контура до исследуемой поверхности и определяют геометрические характеристики несоответствия формы исследуемого объекта и другие его параметры.

При контроле геометрии исследуемых объектов принято выделять следующие группы геометрических характеристик.

К О Н Т Р О Л Ь Г Е О М Е Т Р И И				
РАЗМЕР	ФОРМЫ	РАСПОЛОЖЕНИЯ	Взаимного уклонения формы и расположения	
1.1 Габаритные размеры	2.1 прямолинейность	3.1 Параллельность, перпендикулярность	4.1 Радиальное биение	
1.2 Размер между осями	2.2 Плоскостность	3.2 Ангулярность	4.2 Торцевое биение	
1.3 Размер между поверхностями	2.3 Радиальность	3.3 Номинальный наклон (горизонтальность вертикальность, заданный наклон)	4.3 Номинальное сечение параметров формы и расположения (прямолинейность, горизонтальность, параллельность и вертикальность)	
1.4 Размер между позициями	2.4 Цилиндричность	3.4 Позиционное расположение		
	2.5 Форма заданного сечения	3.5 соосность		

3.2. Контроль прямолинейности. Створные наблюдения. Методы подвижной марки и малых углов. Схемы створных измерений: полного створа, последовательных и

перекрывающихся створов, их теория и точность. Обобщённая теория створных измерений. Применение струнного способа для измерений смещений.

Для решения прямой и обратной исследовательских задач могут быть реализованы как контурный, так и координатный методы.

1. Решение прямой задачи (формирование геометрии).

При формировании прямолинейности реализуют метод непосредственной разбивки или метод редуцирования. Метод непосредственной разбивки заключается: 1) в формировании прямой линии одним из возможных вариантов: механическим, оптическим и квантово-электронным (лучевым) способом; 2) в фиксации сформированной линии в пределах заданного района.

Метод редуцирования заключается в том, что предварительно в заданном районе разбивается система точек приближенно расположенных вдоль прямой. Затем выполняют измерения и определяют в принятой системе координат, координаты каждой точки. По разнице фактических и теоретических координат вычисляют элементы редукции и смещают предварительно закрепленные точки в проектные положения, т.е. чтобы их координаты соответствовали расчетным.

Способ редуцирования широко используется при высокоточных разбивках и при протяженных линейных объектах.

Задача по определению геометрии может быть решена методикой координат или методикой контурных построений.

Решение задачи контроля прямолинейности контурными построениями.

Основным способом, относящимся к названной группе, является *створный*.

Створом называется вертикальная плоскость, проходящая через два твердых пункта и задающая начало отсчета для величин нестворностей пунктов, расположенных между выше названными двумя.

Нестворностью δ_i называется перпендикуляр, опущенный из исследуемой точки на створную плоскость.

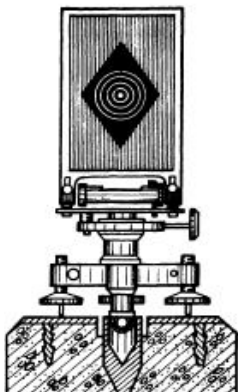
Если нестворность определяется от общей створной плоскости, проходящей через главные пункты створа, то *нестворность называется общей*. В том случае, когда общий створ делят на части, т.е. так называемые частные створы, измеряют *частные нестворности* Δ_i – длина перпендикуляра, опущенного из контролируемой точки на вертикальную плоскость частного створа.

Определение нестворностей может осуществляться способом измерения малых углов или способом подвижной марки.

Способ малых углов.

Устанавливают теодолит в I ориентируют на II и измеряют несколькими приемами угол β . По β и S_i – расстояние от точки до контролируемой.

Следовательно, углы необходимо измерять с большей точностью, а длину линий с точностью до сантиметра. Способ малых углов осуществляется высокоточными теодолитами Т1, Т2 или модификациями.



В способе подвижной марки измеряют непосредственно величину нестворности δ . Для этого подвижная марка снабжена микрометрическим винтом.

Отсчет по шкале этого винта, когда ось симметрии визирной цели проходит через центр знака, называют «местом нуля марки» и определяется при помощи теодолита вращением марки вокруг основной оси на 180° .

Подвижную марку устанавливают на створном знаке и по сигналу наблюдателя, ее визирную цель наводящим винтом передвигают до полного совмещения вертикальной оси этой цели с коллимационной плоскостью теодолита, ориентированного по створу I-II. Взяв при этом отсчет по шкале наводящего винта и отняв от него место нуля, находят величину нестворности δ_i наблюдаемой точки.

- ошибка визирования на неподвижную марку (ориентирование)
- угловая ошибка введения подвижной марки в створ
- угловая величина ошибки фокусирования
- расстояние от прибора до наблюдаемой точки.

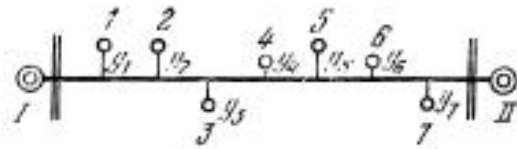
Створные измерения

В практике инженерно-геодезических работ находят применение различные программы створных измерений, основными из которых являются:

- программа общего створа;
- программа частей створа;

- программа последовательных створов;
- программа частных створов.

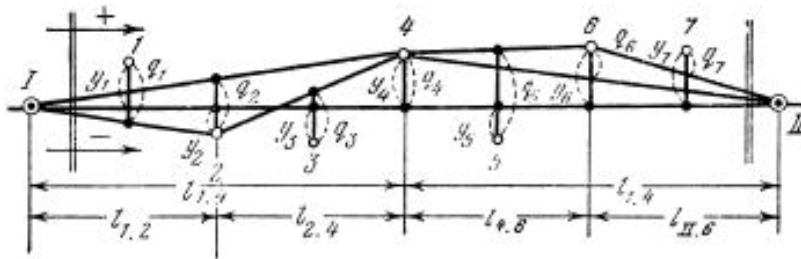
Программа общего створа



В программе общего створа нестворность каждой исследуемой точки определяется непосредственно от общего створа I-II, т.е. от одной створной плоскости.

Программа наблюдений заключается в определении нестворности в каждой точке в двух направлениях, прямом и обратном. Если разности нестворностей прямого и обратного направлений не превышают ошибок измерений (контроль), тогда находят среднюю нестворность:

Программа частей створа



Расстояние между пунктами I, II разделяют на четыре примерно равные части.

Вначале определяют положение средней точки 4 относительно общего створа $\delta_4 = \Delta_4$. Нестворности остальных точек находят относительно каждого

«четверть створа».

Приведение нестворностей Δ_i к общему створу δ_i выполняют на основе простых геометрических зависимостей, возникающих в подобных треугольниках, при этом учитывая знаки нестворностей. Если нестворность расположена «вправо» от общего створа «-», если «влево» – «+»

$$y_4 = q_4;$$

для точки 2

$$y_2 = q_2 + \delta_2,$$

где поправка δ_2 находится их отношения

$$\frac{\delta_2}{y_4} = \frac{l_{1.2}}{l_{1.4}}.$$

Таким образом

$$y_2 = q_2 + q_4 \frac{l_{1.2}}{l_{1.4}}.$$

Аналогично для точек 6 и 1.

Для точек 3, 5, 7

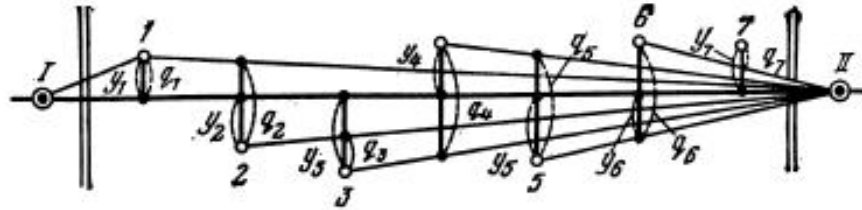
$$\left. \begin{aligned} y_3 &= q_3 + q_2 \frac{l_{3.4}}{l_{2.4}} + q_4 \frac{l_{1.3}}{l_{1.4}}, \\ y_5 &= q_5 + q_4 \frac{l_{5.11}}{l_{4.11}} + q_6 \frac{l_{4.5}}{l_{4.6}}, \\ y_7 &= q_7 + q_4 \frac{l_{7.11}}{l_{4.11}} + q_6 \frac{l_{7.11}}{l_{6.11}}. \end{aligned} \right\}$$

Для обратного хода

$$\left. \begin{aligned} y'_6 &= q'_6 + q'_4 \frac{l_{11.6}}{l_{11.4}}; \\ y'_7 &= q'_7 + q'_6 \frac{l_{11.7}}{l_{11.6}} + q'_4 \frac{l_{11.7}}{l_{11.4}}; \\ &\dots \dots \dots \\ y'_1 &= q'_1 + q'_2 \frac{l_{2.1}}{l_{2.1}} + q'_4 \frac{l_{4.1}}{l_{4.1}}. \end{aligned} \right\}$$

Программа последовательных створов

Сущность створных измерений по этой программе заключается в следующем. Частная нестворность Δ_1 пункта 1 определяется относительно створа I-II; затем прибор переносят в точку 1 и относительно частного створа 1-II измеряют Δ_2 ; в точке 2 и относительно створа 2-II определяют Δ_3 и т.д. Затем измерения производят в обратном направлении.



Искомые нестворности δ_i вычисляются для прямого хода:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= q_1, \\ y_2 &= q_1 \frac{l_{2,11}}{l_{1,11}} + q_2, \\ y_3 &= q_1 \frac{l_{3,11}}{l_{1,11}} + q_2 \frac{l_{3,11}}{l_{2,11}} + q_3, \\ &\dots \\ y_7 &= q_1 \frac{l_{7,11}}{l_{1,11}} + q_2 \frac{l_{7,11}}{l_{2,11}} + q_3 \frac{l_{7,11}}{l_{3,11}} + q_4 \frac{l_{7,11}}{l_{4,11}} + \\ &\quad + q_5 \frac{l_{7,11}}{l_{5,11}} + q_6 \frac{l_{7,11}}{l_{6,11}} + q_7; \end{aligned} \right\}$$

Для обратного

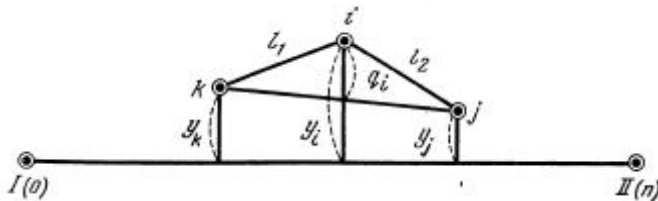
$$\left. \begin{aligned} y'_7 &= q_7, \\ y'_6 &= q_7 \frac{l_{6,1}}{l_{7,1}} + q_6, \\ y'_5 &= q_7 \frac{l_{5,1}}{l_{7,1}} + q_6 \frac{l_{5,1}}{l_{6,1}} + q_5, \\ &\dots \\ y'_1 &= q_7 \frac{l_{1,1}}{l_{7,1}} + q_6 \frac{l_{1,1}}{l_{6,1}} + q_5 \frac{l_{1,1}}{l_{5,1}} + q_4 \frac{l_{1,1}}{l_{4,1}} + \\ &\quad + q_3 \frac{l_{1,1}}{l_{3,1}} + q_2 \frac{l_{1,1}}{l_{2,1}} + q_1. \end{aligned} \right\}$$

Особенность программы:

Чем длиннее створ, тем эффективнее применять эту программу с одной и той же длиной шага (≈ 25 м). Если увеличить длину створа в два раза, а длину шага оставить прежней, точность определения средней точки понизится только в 1,3 раза, а если увеличить длину створа в 4 раза, точность понизится лишь в 1,8 раза.

Программа частных створов.

Из-за влияния внешних условий (боковой рефракции, качества изображений) визирование на всю длину створа может оказаться невыгодным или невозможным. В этом случае используется программа равных частных створов.



Для измерений по этой программе общий створ I-II разбивается на равные части и в створе I-2 определяется частная нестворность Δ_1 , затем теодолит переносится в точку 1 и в створе 1-3 определяется частная нестворность Δ_2 , и так до конца створа, когда в створе (n-1)-

II определяется частная нестворность последней промежуточной точки Δ_n . Величина нестворности δ_i любой i-й промежуточной точки является функцией частных нестворностей относительно каждого из частных створов, т.е. $\delta_i = f(\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n)$, может быть вычислена по измеренным частным нестворностям после решения системы линейных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} y_1 - y_2 \frac{l_{0,1}}{l_{0,2}} - q_1 &= 0; \\ y_2 - y_1 \frac{l_{2,3}}{l_{1,3}} - y_3 \frac{l_{1,2}}{l_{1,3}} - q_2 &= 0; \\ &\dots \\ y_i - y_{i-1} \frac{l_{i,i+1}}{l_{i-1,i+1}} - y_{i+1} \frac{l_{i-1,i}}{l_{i-1,i+1}} - q_i &= 0; \\ &\dots \\ y_{n-1} - y_{n-2} \frac{l_{n-1,n}}{l_{n-2,n}} - q_{n-1} &= 0. \end{aligned} \right\}$$

Отличительные особенности:

- 1 Программа позволяет выполнять измерения даже при неблагоприятных внешних условиях, когда удовлетворительно просматриваются лишь несколько точек створа;
- 2 В значительной степени исключаются ошибки за перефокусировку из прямого и обратного ходов.

Координатный метод контроля прямолинейности

Методика: 1. Задается система координат;

2. выполняется измерение x_i, y_i
3. находится уравнение регрессионной прямой
4. находятся уклоны

По координатам точек x_i, y_i выполняем их аппроксимацию по способу наименьших квадратов и получаем уравнение регрессионной прямой.

3.3. Контроль плоскостности. Общие требования. Методы контроля.

Постановка задачи

Необходимо определить принадлежность текущей точки к плоскости, отвечающей некоторым математическим условиям. Сумма уклонов исследуемых точек должна быть минимальна ($[\delta_i \delta_i] = \min$).

Эту задачу можно решить двумя способами: контурным и координатным.

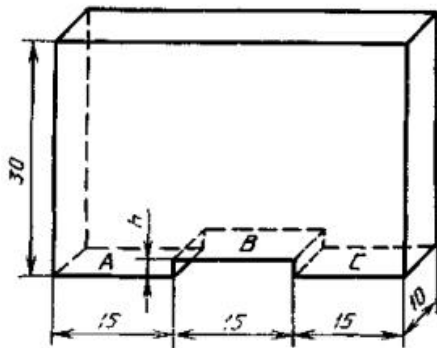
Контурный способ может быть реализован: механическим, оптическим, квантово-электронным способом.

Механические способы очень громоздки, применяются в машиностроении.

Для контроля прямолинейности, плоскостности и взаимного расположения поверхностей применяют поверочные линейки и плиты.

Поверочные линейки выполняются двух основных типов: лекальные и линейки с широкими рабочими поверхностями.

Поверочные плиты применяют главным образом для проверки больших поверхностей деталей способом «на краску», а также используют в качестве вспомогательных приспособлений при контроле деталей. Проверка плоскостности поверхностей деталей «на краску» при помощи поверочных плит производится так же, как и линейками с широкими рабочими поверхностями.

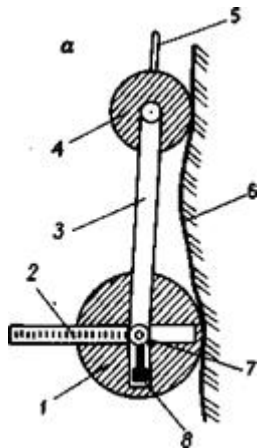


При контроле плоскостности крупногабаритных деталей прибегают к площадной съемке (нивелирование) поверхности. Для этого на исследуемой поверхности чаще всего строят сетку квадратов или прямоугольников, и положение точек поверхности определяют пространственными координатами. Следует, однако, различать три случая примерного положения конструкции при съемке поверхности: горизонтальное, вертикальное и наклонное. В первом случае наибольшая точность измерений предъявляется к нивелированию вершин сетки квадратов, во втором — к измерению отклонений вершин сетки от вертикали, в третьем — к измерению всех трехмерных координат с учетом величины наклона плоскости конструкции к горизонту. Третий случай является общим и наиболее сложным, но редко встречающимся в производстве, а первый и второй — частными, но наиболее простыми в реализации и, следовательно, наиболее распространенными. Если плоский элемент расположен в горизонтальной плоскости, то выполняют геометрическое или гидростатическое нивелирование, а если в отвесной, то боковое нивелирование коллимационной плоскостью теодолита. В нивелируемых точках устанавливают вертикально (горизонтально) нивелирную рейку по-перпендикулярно к референтной плоскости прибора.

При затруднениях в установке рейки на точке конструкции (камера, бассейн) для измерения вертикальности можно эффективно использовать рейку-копир на трехколесной тележке с подвесной отсчетной шкалой (рис. 3.1). На раме 3 тележки смонтировано заднее рабочее колесо 7 и симметричные относительно него два передних опорных колеса 4. На оси вращения колеса 7

укреплена на шарнире 7 отсчетная линейка 2, снабженная на конце маркировочным индексом. С линейкой 2 жестко соединен стержень, несущий на конце датчик вертикали (маятник) 8 с демпфером. Для обеспечения работы устройства при выверке вертикальности и горизонтальности выверяемой конструкции 6 датчик вертикали снабжен переключателем, обеспечивающим установку стрелы вдоль или перпендикулярно к оси линейки. В процессе измерений заднее колесо тележки устанавливают по индексу линейки в начальной точке трассы нивелирования и, протягивая тележку по характерным точкам профиля, что фиксируется по мерному тросику 5, нивелируют поверхность в заданных точках, доступ к которым затруднен или ограничен. При выверке плоскостности высокоточного оборудования применяют оптико-механические методы, в частности, автоколлиматор и оптический плоскомер. В последние годы апробированы и интерференционные методы.

По результатам нивелирования определяют условные отметки точек поверхности объекта. Если референтная плоскость параллельна базовым точкам плоского элемента (обычно принимают 3—4 точки, расположенные по углам детали и не находящиеся на одной прямой), то разность $h_i = H_i - H_{\text{усл}}$ определяет неплоскостность текущей точки поверхности. Такая характеристика неплоскостности условная, но она широко распространена в практике, особенно при контроле положения плоских элементов оборудования относительно осей технологических линий.

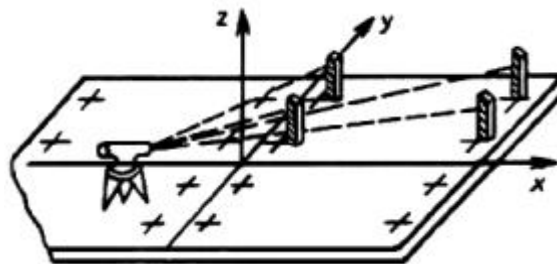


При изготовлении или сборке из готовых блоков ответственных плоских элементов оборудования (машиностроительных столов, станков, для формовки материалов — стекла, листовой стали, проката и др.) с целью разработки наиболее рациональной технологии обработки деталей необходимо использовать метод оптимальной плоскости, максимально приближающейся к семейству представительных точек объекта.

Рис. 3.1.

Нивелирная рейка на тележке: а — геометрическое нивелирование; б — боковое нивелирование

Оптический способ.



Механическая интерференция (муароскопия).

Для контроля плоскостности прямоугольной поверхности применяется классический шаговый метод по системе одинаковых прямоугольников или квадратов со стороной от 5 до 500 мм. Для этого микронивелиром последовательно трассируют ряд сечений рабочей поверхности, а затем определяют профиль продольных и поперечных сторон.

Метод продольных и поперечных сечений с использованием микронивелира.

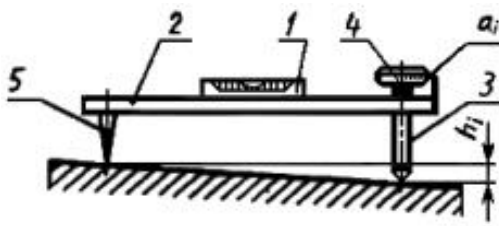
За отклонение от плоскостности принимают расстояние от наиболее удаленной точки поверхности до прилегающей плоскости.

При обработке результатов измерений используют вспомогательную плоскость, проходящую через первую точку, и от нее начинают измерения.

Количество контрольных точек выбирают в зависимости от размеров поверхности.

Сначала измерения проводят по внешнему замкнутому контуру. Причем величина невязки при замыкании контура не должна превышать предельную погрешность метода измерения. Затем проверяют промежуточные продольные сечения.

Микронивелир помещают последовательно на все проверяемые участки поверхности так, чтобы его опоры располагались на пронумерованных точках.



Микронивелир состоит из двух металлических линейек: нижней и верхней. К нижней линейке снизу прикреплены две ножевидные опоры, расстояние между которыми можно изменять в пределах до 1 м. На верхней линейке установлен уровень.

Предельная погрешность измерения уровнем с ценой деления 0,01 мм/м, составляет 8 мкм на 4м.

Определяют насколько каждая последующая точка выше или ниже предыдущей. Вычисляют отклонение каждой проверяемой точки от горизонтальной плоскости, проходящей через точку с порядковым номером 0. Эту плоскость принимают в качестве вспомогательной для определения рельефа поверхности.

Т.к. суммирование проводят по замкнутому контуру, то для точки 0 должны получить значение, равное нулю. Однако после суммирования для этой точки получают величину не равную 0. Эту невязку равномерно распределяют на все точки.

Определив отклонение точек от вспомогательной плоскости, переходят к определению положения тем же способом точек промежуточных продольных сечений.

Промежуточные значения отклонений (в делениях шкалы) включают в себя наклон поверхности к горизонту в продольном и поперечном направлениях.

Эту величину переводят в линейные единицы.

Если проверяемая плоскость имеет отклонение больше допустимого, то ее следует забраковать или отнести к более низкому классу.

Микронивелирование используют при контроле плоскостности столов, платформ и металлорежущих станков.

Метод горизонталей с использованием микронивелира.

Определив с помощью микронивелира отклонения от нулевой (исходной) плоскости высоты узловых отметок квадратной сетки, нанесенной на поверхности и соединив отметки, расположенные на одинаковой высоте, линиями, получают карту плоскостности в виде горизонталей. Обычно разность высоты соседних горизонталей принимается равной 1 мкм.

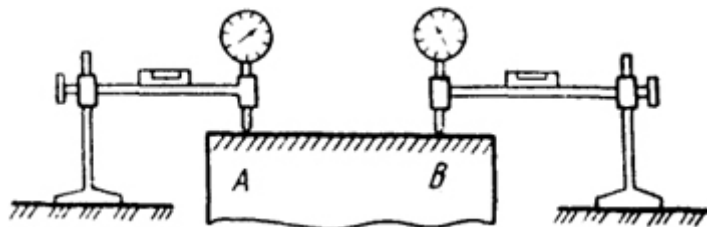
Применяют в микронивелирах электрические преобразования.

Помещают в одном из углов поверхности микронивелир и поворачивают вокруг вершины этого угла. На дуге отмечают две точки, в которых показания связанного с преобразователем указателя равны нулю. Проходя таким образом всю поверхность, каждый раз отмечают точки с нулевыми показателями и другие точки с возрастанием наклона через 2" от нуля.

Соединив точки одинакового уровня, получают систему горизонталей, характеризующих топографию поверхности.

Для проверки полученных горизонталей преобразователь перемещается вдоль намеченной линии, и если при этом стрелка указателя остается на нуле, то горизонтالي были найдены правильно. Намеченные линии вычерчиваются на поверхности и копируются на кальку.

Для измерения кольцевых поверхностей применяют специальные средства измерения. Для измерения колец и дисков микронивелиром существует три метода : окружной, радиальный и смешанный.



Измерение плоскостности колец по радиальному методу выполняют с помощью штанги 2 с уровнем 3, вращающейся относительно оси кольца на вспомогательном подпятнике 4, имеющем втулку. На конце штанги смонтированы два индикатора 1, измерительные наконечники которых касаются рабочих поверхностей проверяемого кольца, и в центре – уровень. Вращая штангу на угол 7,5°, регулируют подставку по уровню, а по индикаторам фиксируют отсчеты. По результатам измерений строят графики рельефа, математически обрабатывают и определяют плоскостность. Точность измерения $\pm 0,0125$ мм.

3.4. Контроль радиальности. Общие требования. Методы контроля.

Задача. Необходимо определить принадлежность текущей точки к заданной или оптимальной радиальной кривой.

Уклонением от радиальности называется разность заданного или оптимального радиуса от его фактического значения в текущей точки. Радиальность всегда задается центром кривизны (центром окружности) и радиусом.

$$\Delta R = R_i - R_0$$

R_0 – радиус референтной окружности

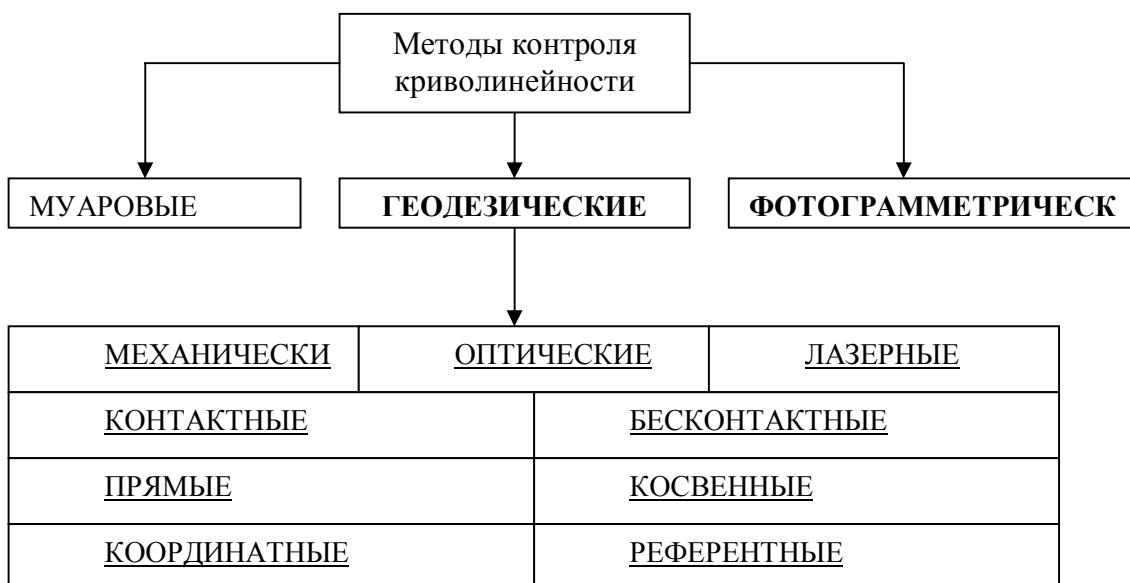
R_i – радиус фактической окружности

По технической сущности организации измерений различают геодезические, муаровые, фотограмметрические.

Наиболее используемыми являются геодезические, которые в свою очередь могут быть дифференцированы на: механические, оптические и лазерные; контактные и бесконтактные; прямые и косвенные; координатные и референтные методы.

По физической сущности построения средств измерений методы классифицируются на: механические, оптические и лазерные. В настоящее время наибольшее развитие получили лазерные методы, которые обладают рядом преимуществ: бесконтактностью, возможностью дистанционного измерения, высоким быстродействием.

Классификация методов контроля криволинейности



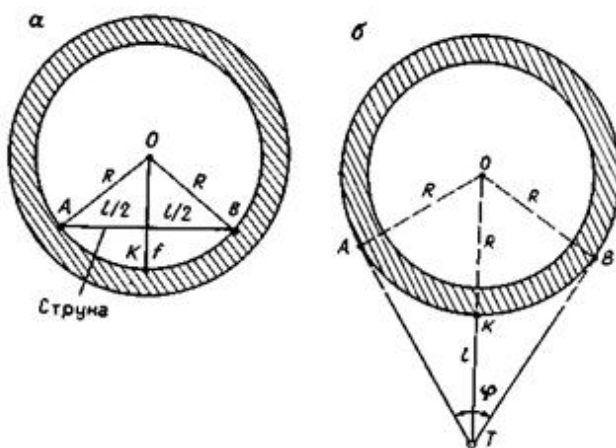
По пространственному соотношению средства измерений с контролируемой поверхностью объекта подразделяются на контактные и бесконтактные. При контактном методе функциональный элемент прибора непосредственно соприкасается с поверхностью объекта, а при бесконтактном – нет.

По выполнению измерений и получению конечной информации различают прямые и косвенные методы контроля. В прямом методе значения искомой величины определяют непосредственно по отсчетам прибора. При косвенном значению искомой величины находят по результатам измерений другой величины, связанной с искомой определенной физической или геометрической зависимостью.

По существу все прямые и косвенные методы условно можно классифицировать на линейные и линейно-угловые.

К линейным относятся методы в которых измеряют линии.

Метод с применением струны.



Для непосредственного измерения внутренних диаметров (лучше радиусов) малогабаритных деталей используют рулетку, нутромер с микрометрической головкой или с индикатором часового типа. В крупногабаритных деталях радиус (диаметр) измеряют либо непосредственно с помощью рулетки, либо получают косвенно из специальных измерений, используя способ "наездника" с помощью Струны и линейки. Струну известной длины хорошо натягивают, прижимают концами к внутренним стенкам цилиндра и при помощи линейки с миллиметровыми делениями измеряют стрелу прогиба- расстояние от стенки до струны в ее середине по перпендикуляру к ней. Искомый внутренний радиус R_l , рассчитывают по формуле

$$R = \frac{l^2}{8f} + \frac{f}{2}$$

где l – длина рабочей части струны. Погрешность радиуса получается по формуле

$$m_R = R \cdot \sqrt{\left(2 \frac{m_l}{l}\right)^2 + \left(\frac{m_f}{f}\right)^2} \approx \frac{m_l}{f} R$$

где m_l и m_f — погрешности измеряемых величин. При $R = 6$ м, $l = 8,5$ м, $f = 1,76$ м, $m_l = 2$ мм, $m_f = 1$ мм погрешность $m_R = 4,4$ мм, причем доминирующее влияние на нее оказывает погрешность измерения стрелы изгиба. Если ее измерять нутромером с микрометром, то погрешность определения радиуса можно уменьшить до 2 мм. Практически обеспечивается точность радиуса в пределах 0,05—0,1 % и выше.

Внешний радиус (диаметр) цилиндрической оболочки можно получить из измерений теодолитом угла (f) и расстояния l от теодолита по направлению биссектрисы до точки K оболочки. Внешний радиус составит

$$R = l \frac{\sin(\varphi/2)}{1 - \sin(\varphi/2)}$$

Контроль измерений производят повторными наблюдениями с других точек, расположенных на взаимно перпендикулярных осях. Погрешность вычисляют по формуле

$$m_R = \frac{\sqrt{[l m_l \sin(\varphi/2)]^2 + [l \cos(\varphi/2) \frac{m_f}{2}]^2}}{1 - \sin(\varphi/2)},$$

где m_l и m_f — погрешности измеряемых величин.

Измерение внешнего диаметра осуществляется и способом обкатывания цилиндрической конструкции мерным роликом, например в процессе работы вращающейся печи, что отвечает рабочему состоянию деталей. Мерный ролик вводится в контакт с поверхностью детали (корпуса печи, опорного ролика) и вращается вместе с ней. При отсутствии скольжения мерного ролика по поверхности обмеряемой детали искомый диаметр вычисляют по формуле $D = (n_2/n_1) \cdot d$, где d – диаметр мерного ролика; n_2, n_1 — число оборотов детали и мерного ролика за время измерения.

По структурной сущности геодезические измерения делятся на координатные и контурные.

При контроле криволинейности контурным методом в зоне исследуемого объекта формируется физическая референтная кривая, и непосредственно от нее определяются отклонения контролируемой кривой.

При координатном способе на окружности выбирается n – точек. Электронным тахеометром измеряют координаты. В каждом треугольнике вычисляем R_i , h_{i-0} угол его ориентирования и координаты X_0 , Y_0 .

В системе при n точек, аналитически формируется k независимых треугольников.

При нормальном распределении случайных величин R_i оптимальное значение радиуса определяем как среднее арифметическое.

Выполнив оптимизацию R_i находим координаты центров окружностей.

Зная координаты текущих точек i (X_i , Y_i) и координаты X_0 , Y_0 центра окружности, находим фактические радиусы.

3.5. Контроль соосности. Общие требования. Методы контроля.

Задача.

Контроль соосности сводится к тому, что в некоторой пространственной системе координат задана референтная прямая; необходимо определить принадлежность текущей точки к данной прямой.

Контроль соосности отличается от контроля прямолинейности тем, что контролю подвергаются следующие параметры:

- 1) Линейные параметры – проекции на координатные плоскости линейной величины, расположенной по перпендикуляру от прямой до текущей точки.

- 2) Угловые параметры – это взаимное ориентирование осей элементов выверяемого объекта, либо оси выверяемого объекта относительно общей (проектной) оси.

Выверку обычно производят струнным и оптическим способами. Первый способ используется в основном на расстоянии 5—10 м, а оптический на расстояниях до 50 м и более.

Применение струнного способа. В выверяемое отверстие вставляют струну, перебрасывают ее через два блока и натягивают грузами. Регулируя положение блоков в плане и по высоте, добиваются соосного размещения струны относительно базового отверстия. Для обеспечения эквидистантности струны от конструкции базового отверстия применяют нутромер, представляющий собой сборную металлическую штангу с коническими, сферическими или уголковыми упорами (наконечниками). Расстояние между упорами изменяется при помощи винтового микрометра. Точность отсчета по микрометру 0,01 мм. Для повышения точности измерения расстояния контакт между упором и струной фиксируют не визуально, а электрически (по звуковому сигналу звонка или генератора).

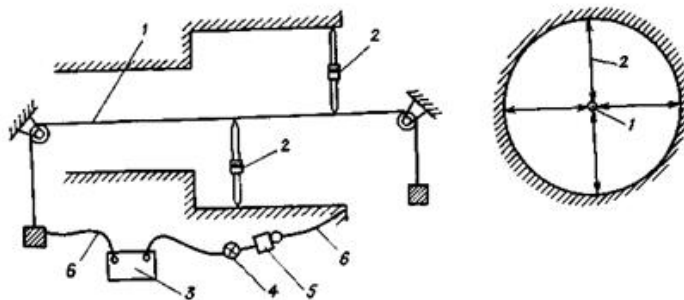


Схема подключения генератора включает: батарею, сигнальную лампочку, звуковой генератор и провода. Иногда звуковой генератор дополняют наушниками. В практике погрешность струнного метода равна 0,03-0,05 мм. Для изменения расстояния между упорами одна штанга делается телескопической (снабжается стандартными приставками). Обычно нутромером контролируют расстояние от 0,5 до 1,5 м.

При оптическом методе выверки соосности используют зрительную трубу теодолита, прибора проверки соосности (ППС-11, автоколлиматора) и центрированную визирную марку (центроискатель), размещаемую сначала в базовых, а затем в контролируемых отверстиях (расточках). Наиболее прогрессивным методом оптической выверки соосности являются методы оптической алиниометрии и авторефлексии, применяемые в приборе проверки соосности ППС-11, точном оптическом алиниометре FF 01 (ГДР) и др.

В микротелескоп ППС-11 входят следующие блоки: зрительная труба, прецизионный уровень, нивелирная подставка и рама для крепления зрительной трубы в отверстиях оборудования.

На защитном стекле (рис. 3.2) нанесена прозрачная подсвечивающаяся шкаловая марка 1 - авторефлектор. За ней размещены плоскопараллельная пластинка 2 оптического микрометра, вращающаяся вокруг горизонтальной и вертикальной осей, объектив 3, фокусирующая линза 4 и сетка нитей 5, которая рассматривается через микроскоп 6. При смене окуляров микроскопа труба может иметь увеличение 30 или 45^x.

Кроме измерения отклонений от створа с применением микрометра трубой ППС-11 можно производить измерения несоосности (нестворностей) по принципу авторефлексии. При этом на объекте (расточке подшипника) устанавливается зеркальная марка, располагаемая своей плоскостью нормально к оси расточки. Если авторефлексионную марку зрительной трубы подсветить, например автоколлимационным окуляром, то ее изображение, отраженное зеркальной маркой в расточке, получится на сетке нитей либо совмещенное с нитями сетки (когда зеркало расположено нормально к линии визирования), либо смещенное относительно линий сетки (когда зеркало развернуто на некоторый угол j). Измерив по шкале рефлексии марки смещение D ее центра с нити сетки (горизонтальной или вертикальной), можно вычислить угол j искривления оси расточки относительно заданного прибором двухстороннего створа

$$\varphi = \arctg \frac{D}{2L}$$

где L — расстояние от прибора до зеркальной марки.

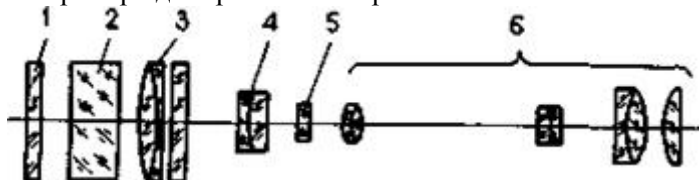


Рис. 3.2. Оптическая схема трубы микротелескопа

Центрировочные визирные марки делают цилиндрическими с подпружиненными шаровыми упорами, контактирующими со стенками отверстия, и коническими. Их устанавливают на торцах отверстия как заглушки. В центре торцевой части таких марок делается насечка (отверстие) или круговая линейка, используемые для наведения прибора и измерения несоосности. Такие приспособления получили распространение в работах малой и средней точности.

При монтаже аппаратур технологического оборудования машиностроительного комплекса (компрессоров, насосов, генераторов) используют визирную марку НИИТМАШ 13 (рис. 3.3). Корпус 6 марки посредством четырех цилиндрических опор 5 с регулировочным винтом 4 опирается на внутренние стенки отверстия 3. В центральной части корпуса укреплен поворотный кронштейн 1, в котором размещен подвижный в радиальном направлении подпружиненный шток 2. Он содержит в центре марки измерительную шкалу. При вращении оправы кронштейна в отверстии изделия подвижный шток при помощи пружины 7 все время прижимается к стенкам. Величина отклонения марки от центра измеряется штоком по разности его двух противоположных положений. Для ускорения процесса центрирования марки ее снабжают дополнительным штоком, установленном под углом 90° к первому.

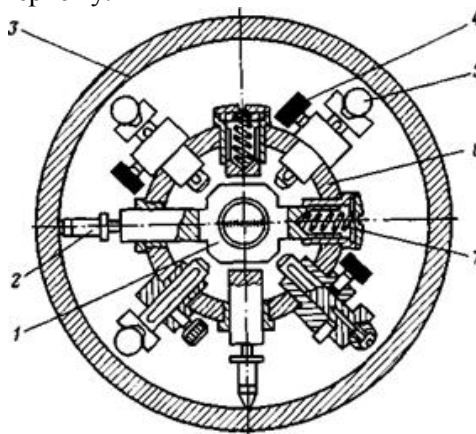
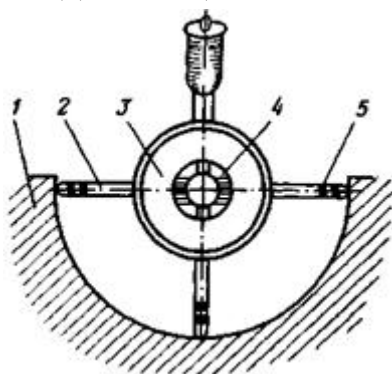


Рис. 3.3. Визирная марка НИИТМАШ для измерения соосности отверстий

Центроискатель расточный (ЦИР) предназначен для автоматического определения центра расточек цилиндров, корпусов подшипников и диафрагм, а также обозначения их визирной маркой. Действие ЦИР основано на том, что центром расточки 1 является центр окружности (рис.



3.4), проведенной через концы трех его ножек 2. Ножки прижимаются специальными пружинами к конусу, расположенному в корпусе 3 центроискателя с маркой 4. Перемещением конуса вдоль оси расточки можно выдвигать ножки на одинаковую величину до 25 мм. Для использования в расточках разного диаметра на ножки прибора накручивают удлинители 5 стандартного микронутромера. В некоторых ЦИР для измерения радиуса расточки используют четвертую ножку, вращающуюся вокруг конуса и оборудованную на конце индикатором часового типа, контактирующем с поверхностью расточки.

Рис. 3.4. Центроискатель расточный

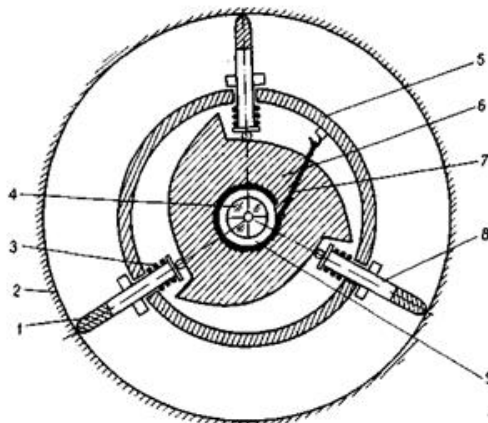


Рис. 3.5. Центроискатель КИСИ

Для выполнения проверочных работ при входном контроле ответственного тепломеханического оборудования (корпус реактора, парогенератор, циркуляционный насос, трубопроводы главного циркуляционного контура) можно использовать центроискатель, автоматически материализующий ось патрубка или трубопровода.

Центроискатель, разработанный автором в КИСИ, состоит из трех основных частей: цилиндрического корпуса 5, поворотного диска 6 и подвижных наконечников 8 (рис.3.5). Цилиндрический корпус во внутренней части снабжен полый цилиндрической осью 9, а с внешней стороны — кожухом и упорной крышкой. Поворотный диск содержит полу цилиндрическую втулку, насаженную на цилиндрическую ось корпуса и вращающуюся на этой оси, марку круглого сечения с центральным отверстием. Рабочая часть поворотного диска разделена на три сектора с переменным профилем на торце, а внешняя сторона цилиндрической втулки является барабаном для пружины растяжения 7, соединяющей поворотный диск с кожухом корпуса. С внешней стороны кожуха в корпус входят три подвижных наконечника, расположенные друг относительно друга под углом 120° и снабженные контактными упорами на обоих концах, причем один из этих концов находится в постоянном контакте с торцом поворотного диска, а второй оборудован сменными (телескопическими) штангами 1 с концевыми упорами, контактирующими с выверяемой конструкцией 2. Каждый подвижный наконечник, входящий в корпус, снабжен пружиной сжатия 3. В полый цилиндрической оси корпуса размещено визирное устройство (оптическая или лазерная труба) или целевая марка 4. С внешней стороны к корпусу прикреплен ручка-держатель.

Работа с центроискателем ведется следующим образом. Подобрав сменные (телескопические) штанги 7 необходимого размера (в зависимости от внутреннего диаметра конструкции) и закрепив их в центроискателе, вставляют его в отверстие конструкции 2. При этом одной рукой придерживают корпус 5 за ручку, а второй поворачивают поворотный диск 6 при помощи рукоятки по ходу часовой стрелки до упора. Благодаря постепенному увеличению вырезов поворотного диска 6 подвижные наконечники 8 со сменными (телескопическими) штангами 1 посредством пружин 3 втягиваются внутрь корпуса 5 и устройство свободно вставляется в отверстие конструкции 2 так, чтобы поворотные наконечники располагались в плоскости, перпендикулярной к оси конструкции. Затем отпускают рукоятку, а растянутая пружина 7 поворачивает поворотный диск против хода часовой стрелки, выталкивая сменные (телескопические) штанги 1 до получения их контакта со стенками конструкции 2, чем и останавливается дальнейший разворот поворотного диска. Усилием пружины 7 устройство надежно закрепляется в сечении конструкции 2. Симметричность подвижных наконечников 8 и переменного профиля поворотного диска 6 относительно оси корпуса 5 обеспечивает автоматическое размещение измерительного устройства или целевой марки 4 на оси конструкции 2 цилиндрического или конического сечения.

Квантово-электронный способ контроля.

В этом случае референтная пространственная прямая материализуется осью симметрии сформированного лазерного луча, который строго ориентируется в системе координат выверяемого объекта.

На исследуемые точки устанавливают регистрационные устройства (центроискатели), имеющие полупрозрачные экраны.

Анализируя расположение изображения источника излучения и биссектора экрана, берут отсчеты a_i , b_i .

3.6. Контроль параллельности, перпендикулярности, угловарности. Общие требования. Методы контроля.

Задача.

В некоторой плоской системе координат задана референтная фигура, в виде двух прямых. Необходимо определить взаимное угловое расположение контролируемого объекта и некоторой прямой, определенным образом заданной в той же системе координат.

Контур задается двумя парами точек 1 (X_1, Y_1), 2 (X_2, Y_2) и 1' (X'_1, Y'_1), 2' (X'_2, Y'_2). Каждая пара точек определяет положение прямой, описываемой выражением

- 1). если угловые коэффициенты прямопропорциональны, то этот параметр является параллельностью, ($K_1=K_2$)
- 2). если угловые коэффициенты обратнопропорциональны, то этот параметр является перпендикулярностью ($K_1=1/K_2$)
- 3). При любом другом расположении элементы угловарности.

Уклонение геометрической характеристики от номинального значения является величина, определяемая из разности фактического значения расположения и требуемого.

Все контурные методы можно подразделить на: механические, оптические и квантово-электронные.

Механический способ.

Египетский треугольник



Оптический способ.

Параллельность.

В протяженных направляющих со сложным креплением (подкрановые пути) с большими пролетами выверку параллельности производят от двух параллельных (в общем случае непараллельных) створов аналогично выверке прямолинейности направляющей. В ряде случаев при выверке параллельности используют коллимационную плоскость теодолита, ориентированную параллельно базовой плоскости оборудования. При этом теодолит устанавливают в точке T на удалении a_0 от базовых точек A и B , которые задают линию, параллельную оси оборудования (рис. 3.6, а), и визуально ориентируют его. Приложив в указанных точках линейки со шкалами и взяв по ним отсчеты a_1 и a_2 , находим разность $Da = a_2 - a_1$. Если она не равна нулю то теодолит необходимо повернуть на угол $Da = r(a_2 - a_1)/(s_2 - s_1)$, где s_1, s_2 - удаления базовых точек от теодолита. Для контроля отложения угла Da целесообразно вычислить отсчет a_T по линейкам, соответствующий параллельности визирной оси теодолита заданной базовой линии

$$a_0 = a_1 - \frac{a_2 - a_1}{s_2 - s_1} s_1 = a_2 - \frac{a_2 - a_1}{s_2 - s_1} s_2$$

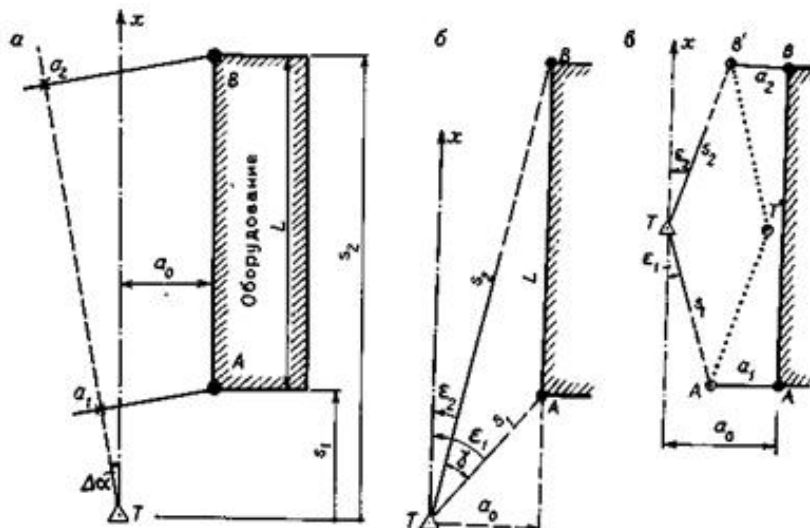


Рис.3.6. Схема ориентирования теодолита по направлению, параллельному оси конструкции

Если контролируемый объект лежит слева от коллимационной плоскости теодолита, то величинам a_1 и a_2 , присваивают знак минус. Тогда положительное значение поправки Da будет указывать на необходимость поворота теодолита по ходу, а отрицательное - против хода часовой стрелки.

Погрешности искоемых величин будут

$$m_{a_{1,2}} = \frac{m_a \sqrt{2}}{L} \rho; \quad m_{a_0} = m_a \sqrt{1 + 2 \frac{s_1}{L} (1 + \frac{s_1}{L})}$$

где L — длина базовой линии.

Если точки A и B оборудования маркированы, но недоступны для установки реек (линеек), то задача построения параллельной плоскости решается, следующим образом. Выбрав пункт T , из которого видны точки 1 и 2 объекта, устанавливают в нем теодолит и измеряют угол γ (рис.3.6,б), При известных расстояниях до базовых точек (при полной недоступности их получают косвенным

способом или определяют конструктивно) удаление a_0 параллельной плоскости от базовой линии (плоскости) определяют по формуле

$$a_0 = \frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma$$

Заметим, что эта формула справедлива для случая, когда пункт T выбран в промежутке между базовыми точками, как это показано на рис. 17.1, в.

В случае, если точки визирования A' и B' отнесены от точек A и B базовой плоскости соответственно на расстояния a_1 и a_2 , например, если видны края строительных конструкций, то искомое расстояние определяют из решения квадратного уравнения, а именно

$$a_0 = b \pm \frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma \sqrt{1 + \frac{b^2 - c}{\left(\frac{s_1 \cdot s_2}{L} \sin \gamma\right)^2}};$$

$$b = \frac{s_1^2 a_2 + s_2^2 a_1 - s_1 s_2 (a_1 + a_2) \cos \gamma}{L^2};$$

$$c = \frac{s_1^2 a_2^2 + s_2^2 a_1^2 - 2 s_1 s_2 a_1 a_2 \cos \gamma}{L^2};$$

$$L^2 = s_1^2 + s_2^2 - 2 s_1 s_2 \cos \gamma.$$

Перпендикулярность.

Наиболее простой случай выверки перпендикулярности имеет место при сопряжении двух осей или плоских конструкций, например, панелей, которые должны быть расположены друг к другу под прямым углом (рис. 3.7, а). Теодолит, установленный в точке T , расположенной на возможно близком расстоянии от плоскости конструкции, ориентируют по оси x . В этом положении прибора методом бокового нивелирования по реечке с миллиметровыми делениями или при помощи специальной марки с микрометрической головкой и магнитной опорной пяткой измеряют расстояния a_1 и a_2 — отклонения точек 1 и 2 конструкции от коллимационной плоскости теодолита. Далее, повернув теодолит на 90° , измеряют аналогичные отклонения b_1 и b_2 для точек 1 и 3 от оси y . Наблюдения производят при двух положениях вертикального круга, ориентируя каждый раз теодолит по одной и той же фиксированной на оси точке, и из результатов двух наблюдений находят средние отклонения. Искомый угол ω между конструкциями определяют по формуле

$$\omega = 90^\circ - \left(\arctg \frac{a_2 - a_1}{s_a} + \arctg \frac{b_2 - b_1}{s_b} \right).$$

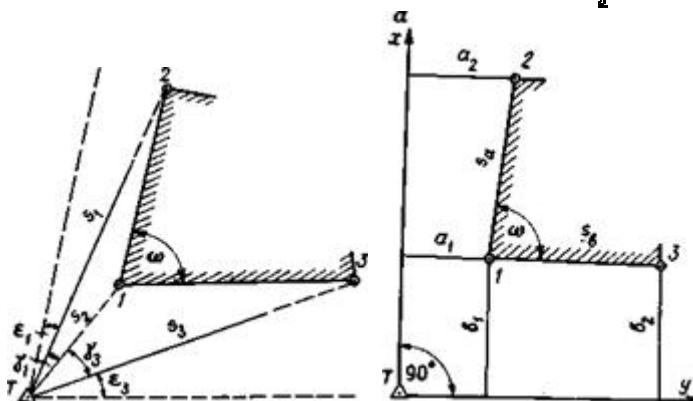


Рис. 3.7. Схема контроля перпендикулярности конструкций способами:

а — бокового нивелирования; б — измерения угла непараллельности

Погрешность m_w измеренной величины угла будет

$$m_w = \rho \sqrt{2 \left[\left(\frac{m_a}{s_a} \right)^2 + \left(\frac{m_b}{s_b} \right)^2 \right]},$$

где s_a, s_b — длины сторон искомого угла.

При $s_a = s_b = 10$ м, $m_a = m_b = 0,2$ мм получим $m_w = 4''$.

Контроль перпендикулярности закрепленных на фундаменте осей оборудования

Если в точке пересечения осей можно установить теодолит, то такая задача решается измерением прямых углов и анализом результатов. Если же точка недоступна для установки теодолита, то применяют способ продолженных створов, измерив угол между ними, либо способ

трилатерации. При этом рулеткой измеряют хорды c_1, c_2, c_3, c_4 и расстояния S_i между точками осей.

По измеренным сторонам, можно вычислить необходимые углы:

$$\alpha_{12} = \arccos \frac{s_1^2 + s_2^2 - c_1^2}{2s_1s_2}$$

3.7. Контроль геометрических параметров расположения

К названной группе контроля относятся: номинальный наклон (вертикальность, горизонтальность, заданный наклон), параллельность, перпендикулярность, ангулярность, соосность.

Контроль номинального наклона

Контролем номинального наклона называется выверка наклона какой-либо поверхности. Например:

- контроль вертикальности угол наклона 90° ;
- контроль горизонтальности угол наклона 0° ;
- условие заданного наклона от 0° до 90°

Контроль горизонтальности

Постановка задачи. В некоторой горизонтальной системе координат задан объект. Необходимо определить его продольный и поперечный угол наклона. Следует иметь в виду, что контролировать горизонтальность имеет смысл на расстояниях не более 100м, т.к. на расстояниях более 100м на горизонтальность оказывает влияние кривизны уроченной поверхности (при монтаже оборудования нередко возникает потребность в точности порядка 0,02-0,01 мм. Для решения этой задачи существуют следующие методы:

1. геометрическое нивелирование
2. микронивелирование
3. гидростатическое нивелирование
4. методы, основанные на специальных лазерных интерферометрах

Выверка наклона – это определение углов наклона между двумя точками относительно уроченной поверхности. Также используют теодолиты, тахеометры (определение превышений методом тригонометрического нивелирования).

Геометрическое нивелирование.

Используют метод коротких лучей до 25 м. Применяют специальные штриховые рейки и высокоточные нивелиры типа Н-05 или подобные ему. При многократных измерениях можно достигнуть точность, порядка 0,002 мм.

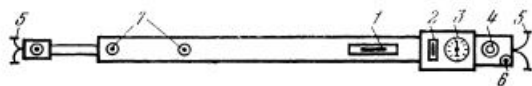
Т.к. при монтаже часто возникает задача неравенства плеч, то инструмент должен быть специально поверен и отъюстирован.

В цеховых условиях возникает вибрация. Для ее ослабления используют:

- методику нивелирования с использованием резинового коврика;
- методику нивелирования с утяжелением головки штатива.

Микронивелирование.

Используют уровни с ценой деления $20''$ (0,1 мм/м) и $10''$ (0,05 мм/м). Они используются при контроле объектов малой протяженностью.



Конструкция микронивелира с уровнем с микрометрическим винтом.

Если микронивелир находится на горизонтальной плоскости, то пузырек уровня должен быть в нуль-пункте. При этом отсчет по микрометру определяет место нуля.

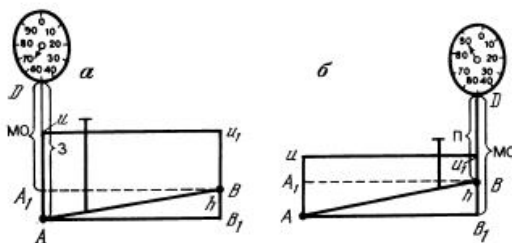
Определение номинального наклона осуществляется методикой пошагового нивелирования.

Предварительно контролируемый объект разбивают на отрезки, соответствующие базе прибора. Каждый отрезок накернивается, после чего выполняется нивелирование. Для этого в пределах каждого отрезка прибор устанавливается дважды.

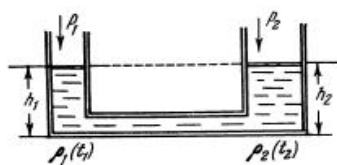
1-е положение – жесткий амортизатор вперед

2-е положение – жесткий амортизатор назад

Дважды вычисляют h , и если разность превышений не превосходит допуска, то конечный результат – есть среднее арифметическое



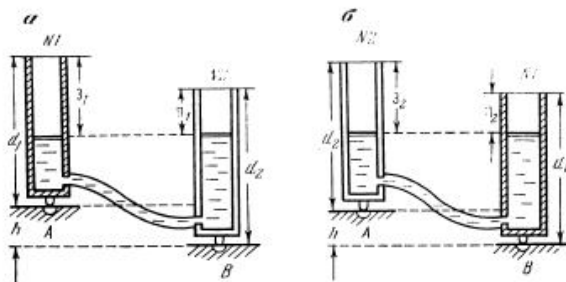
Основной недостаток метода микронивелирования – накопление ошибок при выполнении хода от начальной точки к конечной.



Метод гидростатического нивелирования.

Гидростатическое нивелирование основано на принципе, что: свободная поверхность жидкости всегда устанавливается нормально к направлению силы тяжести и в сообщающихся сосудах располагается на одном уровне независимо от массы жидкости и поперечного сечения сосуда.

- 1). Гидростатическая система с измерением столбов жидкости в измерительных головках гидросистемы.



Прибор состоит из двух стеклянных сосудов 1, соединенных между собой жидкостным (водяным) 4 и воздушным 3 шлангами. Каждый сосуд помещается в бронзовом корпусе и сверху герметически закрывается крышкой, в середине которой проходит микрометрический винт с головкой 2. Цена деления винта 0,01 мм.

Момент контактирования острия микрометрического винта с жидкостью (мениск) определяется визуально.

l_1, l_2 – расстояние от нуля шкалы до опорной плоскости сосудов.

a_1, a_2 – отсчеты по головкам правого и левого сосудов.

Основными источниками ошибок гидростатического нивелирования являются:

- 1). Неравновесие жидкости в сосудах и влияние явления капиллярности;
- 2). Неточность контактирования острия винта и жидкости (мениск)
- 3). Влияние ошибок установки прибора на нивелируемую поверхность
- 4). Влияние перепадов давления и температуры

Контроль вертикальности

Контроль вертикальности может быть осуществлен: механическими, оптическими и квантово-электронными способами.

Механический способ.

Наиболее простая установка в вертикальное положение строительных конструкций производится по нитяному отвесу. Чтобы уменьшить влияние основного источника ошибок этого способа - колебания нити под влиянием воздушных потоков, используют тяжелые отвесы.

Нить отвеса подвешивают к оголовке конструкции на небольшой консоли (10-15 см), приваренной или привинченной к колонне, и линейкой измеряют расстояние от грани колонны до нити отвеса вверху и в основании, по разности которых определяют линейную величину наклона. Точность вертикальной установки при помощи отвеса составляет в среднем около 1/1000 высоты. Способ применяют для предварительного монтажа конструкций.

Главным источником ошибок здесь является колебание нити отвеса, и следует принимать все меры предосторожности, чтобы уменьшить амплитуду и этого колебания. В благоприятных внешних условиях и при тщательной регулировке датчика электронный отвес обеспечивает высокую точность измерений (при общем диапазоне смещений до 10 мм инструментальная ошибка не превышает 0,1 мм).

Оптические способы могут быть осуществлены:

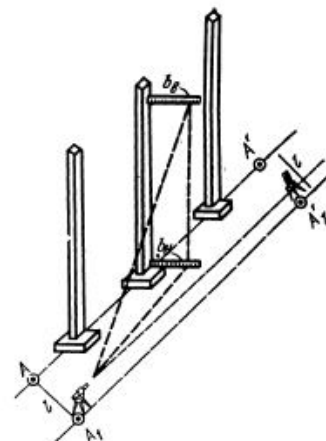
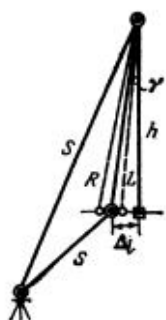
1. Методикой вертикального проектирования
2. Методикой бокового нивелирования
3. Методикой непосредственного формирования вертикальной оптической оси

Методика вертикального проектирования.

Нужно определить крен сооружения. Устанавливают теодолит в створе контролируемого объекта. Визируют на верхнюю точку, опускают вниз и по линейке делают отсчет a . Получают относительный угол:

Источники ошибок:

1. Наклон вертикальной оси вращения теодолита
2. Влияние оси визирования
3. Нестворность установки теодолита



4. Влияние рефракции

Метод бокового нивелирования.

l – около 1 м.

На расстояние l от оси ряда разбивают параллельную ось и закрепляют ее вначале и в конце знаками. Устанавливают теодолит и марку. Теодолит ориентируют по марке.

Поднимая или опуская зрительную трубу берут отсчет по переносной рейке, устанавливаемой в нижней и верхней частях каждой колонны перпендикулярно к ее боковой поверхности.

Разность b_v и b_n характеризует ее поперечный наклон в линейной мере:

$$\Delta l = b_n - b_v,$$

а колебание разностей

$$\Delta a = l - b_n$$

показывает точность плановой установки основания конструкций.

Ошибки:

- Ошибка построения параллельного створа
- Ошибка центрирования теодолита и марки
- Ошибка горизонтирования прибора
- Ошибка за наклон рейки
- Ошибка отсчета по боковой рейке
- Ошибка за влияние рефракции

Формирование непосредственной вертикальной оси

Прибор вертикального проектирования (PZL 100) – обеспечивает установку вертикали при высоте сооружения до 100 м порядка 1 мм. Вертикаль задается при четырех положениях трубы (через 90°)

PZL должен удовлетворять основному требованию: вертикальная часть линии визирования должна совпадать с осью вращения прибора и линией центрирования.

Для построения зенит-прибором оптической вертикали в намеченных направлениях оставляют в перекрытиях небольшие сквозные отверстия. Прибор центрируют над исходной опорной точкой, приведя линию визирования в отвесное положение. На монтажном горизонте выводят на оптическую вертикаль особые консольные марки. Часто вместо марок укрепляют прозрачные палетки с сеткой прямоугольных координат, по которым отсчитывают положение проектируемой вертикали. Для контроля и повышения точности установки отсчеты по палетке производят при четырех положениях окуляра и фиксируют среднюю точку.

3.8. Контроль взаимных уклонов формы и расположения. Общие требования. Методы контроля.

Суммарное отклонение формы и расположения - отклонение, являющееся результатом совместного проявления отклонения формы и отклонения расположения рассматриваемой поверхности или рассматриваемого профиля относительно заданных баз.

Количественно суммарные отклонения формы и расположения оцениваются в соответствии с определениями, приведенными ниже по точкам реального рассматриваемого элемента относительно прилегающих базовых элементов или их осей.

Суммарный допуск формы и расположения - предел ограничивающий допускаемое значение с отклонения формы и расположения.

Поле суммарного допуска формы и расположения - область в пространстве или на заданной поверхности, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности (профиля) в пределах нормируемого участка.

Радиальное биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (рис.3.8).

Радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения его центра относительно базовой оси. Оно не включает в себя отклонений формы и расположения образующей поверхности вращения.

Допуск радиального биения - наибольшее допускаемое значение радиального биения.

Поле допуска радиального биения - область на плоскости, перпендикулярной базовой оси, ограниченная двумя концентрическими окружностями с центром, лежащим на базовой оси, и отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску радиального биения T (рис.3.9).

Торцовое биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцовой поверхности, до плоскости, перпендикулярной базовой оси (рис.3.10).

Примечание. Торцовое биение определяется в сечении торцевой поверхности цилиндром заданного диаметра, соосным с базовой осью, а если диаметр не задан, то в сечении любого (в том числе и наибольшего) диаметра торцевой поверхности.

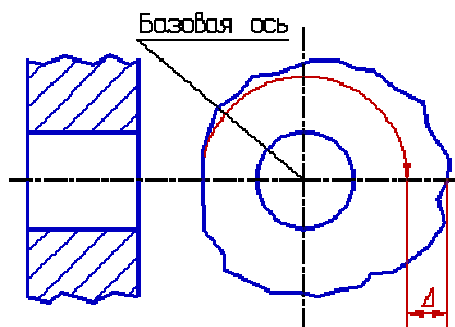


Рис.3.8. Радиальное биение



Рис.3.9. Поле допуска радиального биения

При номинальной плоской форме торца торцовое биение является результатом совместного проявления отклонения от общей плоскости точек, лежащих на линии пересечения торцевой поверхности с секущим цилиндром, и отклонения от перпендикулярности торца относительно оси базовой поверхности на длине, равно диаметру рассматриваемого сечения. Торцовое биение не включает в себя всего отклонения от плоскостности рассматриваемой поверхности.

Допуск торцового биения - наибольшее допускаемое значение торцового биения.

Поле допуска торцового биения - область на боковой поверхности цилиндра, диаметр которого равен заданному или любому (в том числе и наибольшему) диаметру торцевой поверхности, а ось совпадает с базовой осью, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску торцового биения T , и перпендикулярными базовой оси (рис.3.11).

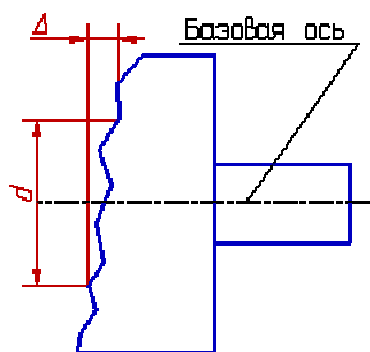


Рис.3.10. Торцовое биение

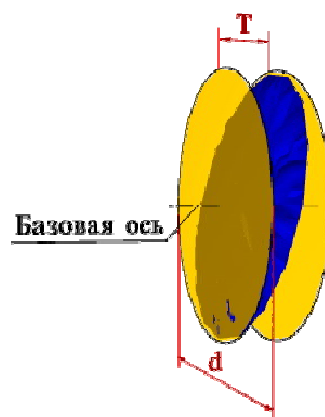


Рис.3.11. Поле допуска торцового биения

Биение в заданном направлении - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения в сечении рассматриваемой поверхности конусом, ось которого совпадает с базовой осью, а образующая имеет заданное направление, до вершины этого конуса (рис.3.12).

Направление рекомендуется задавать по нормали рассматриваемой поверхности.

Биение является результатом совместного проявления в заданном направлении отклонений формы профиля рассматриваемого сечения и отклонений расположения оси рассматриваемой поверхности относительно базовой оси.

Допуск биения в заданном направлении - наибольшее допускаемое значение биения в заданном направлении.

Поле допуска биения в заданном направлении - область на боковой поверхности конуса, ось которого совпадает с базовой осью, а образующая имеет заданное направление, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии вдоль образующей конуса, равном допуску биения T , и перпендикулярными базовой оси (рис.3.13).

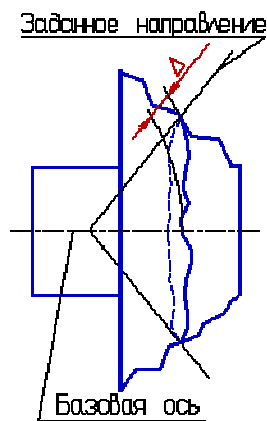


Рис.3.12. Биение в заданном направлении

Термины применяются только к поверхностям с номинальной цилиндрической формой.

Полное радиальное биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси (рис.3.14).

Полное радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от цилиндричности рассматриваемой поверхности и отклонения от ее соосности относительно базовой оси.

Допуск полного радиального биения - наибольшее допускаемое значение полного радиального биения.

Поле допуска полного радиального биения - область в пространстве, ограниченная двумя цилиндрами, ось которых совпадает с базовой осью, а боковые поверхности отстоят друг от друга на расстоянии, равном допуску полного радиального биения T (рис.3.15).

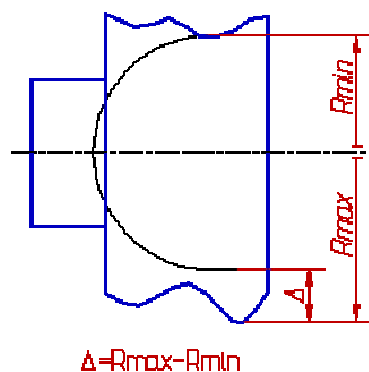


Рис.3.14. Полное радиальное биение

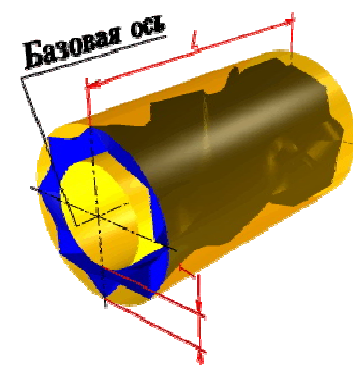


Рис.3.15. Поле допуска полного радиального биения

Термины применяются только к торцовым поверхностям с номинальной плоской формой.

Полное торцевое биение - разность Δ наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси (рис.3.16).

Полное торцевое биение является результатом совместного проявления отклонения от плоскостности рассматриваемой поверхности и отклонения от ее перпендикулярности относительно базовой оси.

Допуск полного торцевого биения - наибольшее допускаемое значение полного торцевого биения.

Поле допуска полного торцевого биения - область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстоянии, равном допуску полного торцевого биения T и перпендикулярными базовой оси (рис.3.17).

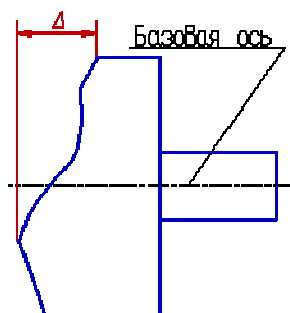


Рис.3.16. Полное торцевое биение

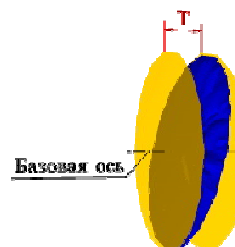


Рис.3.17. Поле допуска полного торцевого биения

4. Исполнительные геодезические съёмки.

4.1. Назначение и точность исполнительных съёмок. Методы исполнительных съёмок. Геодезическая основа. Методы съёмки скрытых сооружений. Съёмка смонтированных конструкций и оборудования. Составление исполнительной документации. Ведение оперативных и дежурных генпланов. Составление окончательного исполнительного генплана законченного строительством сооружения.

Исполнительные съёмки проводятся для установления точности вынесения проекта сооружения в натуру и выявления всех отклонений, допущенных в процессе строительства, а также для определения фактических координат и отметок построенных объектов, размеров отдельных частей, расстояний между колодцами подземных сетей и других аналитических данных, необходимых для составления исполнительной документации. Исполнительные съёмки ведутся в процессе строительства по мере окончания отдельных этапов строительных и монтажных работ (котлованов и траншей, фундаментов конструкций) и завершаются окончательной планово-высотной съёмкой готового сооружения.

Геодезической основой исполнительных съёмок являются:

а) в пределах отдельных зданий, цехов, установок - закрепленные оси фундаментов и сеть рабочих реперов;

б) в пределах строительной площадки - пункты разбивочной основы, дополненные полигонометрическими и нивелирными ходами;

в) за пределами строительной площадки - пункты геодезического обоснования, созданного в процессе изысканий для съёмочных и трассировочных работ, а также специально развитые плановые и высотные сети.

Исполнительная съёмка обычно производится с пунктов геодезического обоснования аналитическими способами: полярным способом, промерами по перпендикулярам и створам, линейными и угловыми засечками. Отметки точек определяют геометрическим нивелированием от ближайших реперов. Съёмка подсобных построек, расположенных за пределами площадки, может быть произведена и методом мензульной съёмки в масштабе составления исполнительного плана.

Геодезическая основа и способы съёмок по точности должны обеспечить на промышленных и городских площадках составление исполнительного плана в масштабе 1 :500, на площадках гидроузлов, аэродромов, мостовых переходов - в масштабе 1 : 1000—1 : 2000.

При исполнительных съёмках особое внимание обращают на так называемые скрытые элементы сооружения : котлованы, фундаменты, подземные трубопроводы, кабельные линии, которые должны быть засняты до засыпки их земель.

В подземных коммуникациях определяют координаты углов поворота, центров узловых колодцев, мест пересечений с другими коммуникациями. Измеряют диаметры труб и расстояния между колодцами. Выявляют вводы отдельных сетей в здания и сооружения. Нивелированием находят отметки дна и бровок котлованов и траншей, лотков и крышек колодцев, верха труб. В воздушных трубопроводах и линиях электропередач проверяют расстояния между опорами, отметки траверсов, габариты приближений.

На дорожных линиях проверяют элементы кривых, привязывают к геодезической основе вершины углов поворота, точки пересечений и примыканий, центры стрелочных переводов железных дорог, определяют отметки головок рельсов и дорожного полотна. В местах, где около зданий и наземных сооружений проходит железнодорожная линия, промеряют расстояние от оси линии или крайнего рельса до ближайшего выступа здания, чтобы установить, выдержан ли габарит приближения строений, т. е. соблюдено ли минимальное расстояние, обеспечивающее движение подвижного состава. Для нормальной колеи габарит приближения вновь строящихся зданий равен 3 м.

Исполнительная съёмка выполненной вертикальной планировки ведется методом нивелирования поверхности и проложения отдельных ходов по характерным точкам. Отметки берут по отмостам зданий; в местах пересечений и переломов профиля дорог, тротуаров, проездов; по дну открытых лотков, водоотводных каналов, кюветов, у решеток дождеприемников.

В открытых местах нивелирование производится по квадратам со сторонами 10-20 м или по поперечникам.

В фундаментах определяют положение всех закладных частей и их отметки, а также проверяют размеры строительных блоков, проемов, шахт и т. д.; отметки основания, верха, опорных площадок фундамента. В зданиях привязывают к геодезическим пунктам все углы для определения их координат, а также производят промеры по периметру на уровне цоколя, фиксируя в абрисе размеры всех выступов и проемов. При этом требуется, чтобы относительная

разность в длине здания, полученная в результате промеров рулеткой и вычисленная по координатам углов, не превышала 1/1500. Для достижения такой точности необходимо, чтобы относительная ошибка взаимного положения пунктов геодезического обоснования, к которым привязываются углы здания, была не ниже 1/3000.

В сооружениях, имеющих круглую форму, определяют координаты центра и длину радиуса.

В установленных конструкциях определяют положение геометрических осей верхнего и нижнего сечений колонн, панелей, рам, ферм, арок, отдельно стоящих фундаментов под оборудование относительно разбивочных осей, а также взаимное их расположение, отметки верхних опорных поверхностей указанных элементов, перекрытий и др. При определении положения конструкций в плане применяются традиционные способы: полярный, засечек, перпендикуляров, створов и др.

Для определения вертикальности колонн, панелей и других аналогичных конструкций применяют способ наклонного проектирования и бокового нивелирования.

При возведении сборных зданий и сооружений при исполнительной съемке осуществляют также контроль геометрических параметров в узлах сопряжений конструкций. При этом контролируются размеры зазоров между соединяемыми конструкциями, уступов, площадок опирания конструкций и т. д. Эти измерения производятся с помощью металлической линейки, угольника и отвеса.

Исполнительная съемка положения технологического оборудования выполняется геодезическими методами от знаков, закрепляющих основные и параллельные оси, или от пунктов опорной или разбивочной сетей. Контроль от основных технологических осей чаще выполняют по геодезическим знакам на технологическом оборудовании, применяя струнно-оптический или оптический способы. При наличии закрепленных параллельных осей съемка оборудования может выполняться достаточно быстро при использовании различных шаблонов.

Во многих случаях для характеристики расположения оборудования и конструкции сооружения в целом вычисляют параметры различного рода вероятнейших оформляющих поверхностей. Так, для сооружений прямолинейного типа вычисляются параметры вероятнейшей прямой

$$y = Ax + C.$$

Для нахождения величин A и C решается система нормальных уравнений

$$\begin{cases} [xx] A + [x] C - [xy] = 0, \\ [x] A + nC - [y] = 0, \end{cases}$$

где x и y — соответственно абсциссы и ординаты точек (элементов оборудования или конструкций); n — число всех наблюдаемых точек. Уклонение любой точки от вероятнейшей прямой вычисляется из уравнения

$$\Delta y_j = y_j - Ax_j - C,$$

где y_j — ордината точки j .

Для характеристики положения оборудования или конструкций по высоте вычисляют оформляющую в виде вероятнейшей плоскости, уравнение которой имеет вид

$$Ax + By + C = H,$$

где x , y , H — координаты точек.

Параметры A , B и C определяются по методу наименьших квадратов. Уклонения точек по высоте относительно вероятнейшей плоскости рассчитываются из уравнений

$$\Delta H_j = H_j - (Ax_j + By_j + C).$$

Аналогичным образом можно рассчитать параметры вероятнейших оформляющих поверхностей любого вида.

Одновременно с исполнительными съемками ведется журнал отступлений от проекта, в котором по каждому сооружению указывают для важнейших элементов размеры отклонений от проектного положения в плане и по высоте. Если размеры этих отклонений не превышают допусков, установленных Строительными нормами и правилами, то отмечают, что отклонений нет.

Допустимая средняя квадратическая ошибка геодезического контроля положения строительных конструкций должна определяться по формуле

$$m = \frac{1}{5} \delta,$$

где δ — допускаемое отклонение от проекта в положении конструкции, взятое из соответствующей главы СНиП.

В зависимости от размеров и типа предприятия, а также принятых методов проектирования рабочий проект генерального плана предприятия составляют в масштабе 1 :500 на всю площадку

или общий план в масштабе 1 : 1000, а на отдельные сложные объекты дополнительно составляют детальные генеральные планы в масштабе 1 : 200— 1 : 500.

Проектный генеральный план разрабатывается и уточняется на всех стадиях проектирования, он является основным документом для вынесения проекта в натуру.

Исполнительный генеральный план составляют в результате исполнительных съемок, законченных строительством постоянных и временных сооружений. В отличие от проектного генплана, на котором здания наносят по осям стен, а инженерные сети - по продольным осям, на исполнительном генеральном плане показывают действительные площадки, занимаемые зданиями и сооружениями, со всеми выступами, отстоями, кюветами и т. д.

Различают исполнительные генпланы текущие и окончательные.

Текущий, или оперативный, исполнительный генеральный план ведется с начальной стадии работ и отражает весь ход строительства постоянных, вспомогательных и временных зданий и сооружений. Этот генплан служит основой для решения таких вопросов, возникающих в процессе строительства, как организация противопаводковых мероприятий, размещение временных построек, уточнение проектного генерального плана с учетом тех изменений, которые выявились при возведении части сооружений в натуре, и др.

Особо важное значение текущий генплан имеет для строительства подземных коммуникаций. Только имея план уже уложенных коммуникаций, можно правильно организовать работу механизмов и принять меры предосторожности, чтобы во время рытья новых траншей не задеть и не повредить уже построенные сети.

Текущий генплан составляют в условной (строительной) системе координат в масштабе 1:1000 или 1:2000 в зависимости от размеров площадки и сложности сооружений. Материалами для его составления являются съемки местности и исполнительные чертежи разбивок и съемок готовых сооружений.

На основании текущего генерального плана и дополнительных съемок периодически составляют дежурный план строительства. На этот план наносят все возводимые постоянные и временные здания и сооружения и на определенную дату условными знаками (штриховкой и раскраской) обозначают выполненные на отдельных объектах стадии строительных работ. В экспликациях на полях плана указывают основные объемы выполненных работ.

Масштаб дежурного плана выбирают с таким расчетом, чтобы на плане можно было изобразить все детали строящегося сооружения и в то же время им было бы удобно пользоваться (1:2000—1:5000).

Для составления дежурных планов крупных строек целесообразно применять крупномасштабную аэрофотосъемку. По аэрофотоснимкам составляют фотопланы или фотосхемы (в зависимости от требуемой точности), дающие наиболее полное и наглядное представление о ходе строительных работ.

Окончательный исполнительный генеральный план составляют после завершения строительства. На план наносят все построенные по проекту постоянные здания и сооружения, подлежащие сдаче в эксплуатацию. Окончательный генеральный план является основным документом построенного сооружения, по которому решаются все инженерные задачи по его эксплуатации, реконструкции и расширению, и должен составляться на твердой геодезической основе с наибольшей точностью, детальностью и полнотой, которые только допускает масштаб. План составляется на основании материалов исполнительных съемок, выполняемых по мере возведения объектов.

Комплект окончательного исполнительного генерального плана состоит из общего (сводного) генерального плана в масштабе 1:1000— 1:2000, генеральных планов отдельных установок и сложных узлов в масштабе 1:200—1:500, специализированных планов коммуникаций в масштабе 1: 1000-1:2000.

Для небольших предприятий целесообразнее бывает вместо первых двух генеральных планов составлять один в масштабе 1:500. Для крупных объектов сводный генеральный план составляют в масштабе 1: 2000—1: 5000.

Так как исполнительный генеральный план является уникальным документом и размножению не подлежит, то его составляют в цветных условных знаках, что значительно улучшает читаемость и наглядность его,

На сводный генеральный план наносят:

- а) все сохранившиеся пункты триангуляции, полигонометрии, строительной сетки, грунтовые и стенные реперы;
- б) спланированный рельеф;
- в) все построенные по проекту здания и сооружения коммуникации;

г) зеленую зону, скверы, площадки открытых складов, навесы, ограды и др.

В подземных сетях дают по возможности все колодцы, доводя сами сети лишь до вводов в здания. Разводку сетей внутри зданий, а также размещение фундаментов и оборудования в них на сводном плане не показывают.

Чтобы не затруднять читаемость сводного генплана, на него наносят лишь минимальную цифровую нагрузку: наименования геодезических пунктов, номера узловых колодцев, высоты рельефа в характерных местах. Координаты и отметки зданий и сооружений подписывают только в тех местах, где это позволяет ситуация.

На исполнительные генеральные п л а н ы у з л о в (установок, цехов, агрегатов) в крупном масштабе (1:200—1:500, а особо сложных—1:100) наносят весь комплекс сооружений узла: фундаменты, трубопроводы и кабельные линии с детальной разводкой и колодцами и с указанием в характерных точках отметок. На вводах сетей и углах зданий подписывают координаты.

На фундаментах и эстакадах показывают контуры установленного оборудования. На сооружениях, за деформациями фундаментов которых ведут наблюдение, показывают расположение осадочных марок, реперов, плановых знаков, термических скважин, установленных для этой цели.

Н а с п е ц и а л и з и р о в а н н ы х исполнительных генпланах дают полную числовую характеристику наносимых сооружений. В зависимости от назначения предприятия и насыщенности теми или иными видами подземных коммуникаций может быть различное деление специализированных планов.

В общем можно рекомендовать составление следующих видов планов:

- 1) горизонтальной и вертикальной планировки;
- 2) канализации;
- 3) водопроводных сетей, теплофикации;
- 4) продуктопроводов и технологических трубопроводов;
- 5) кабельных линий, воздушных сетей.

Для ориентировки на все специализированные планы коммуникаций наносят геодезическую сеть и главнейшие объекты ситуации. К планам прилагают исполнительные продольные профили коммуникаций.

Исполнительные генеральные планы составляют на подрамниках, величина которых зависит от масштаба генплана и размеров сооружения,

На подрамники наклеивают рулонную чертежную бумагу высокого качества, разбивают на ней координатную сетку и подписывают абсциссы и ординаты в строительной системе.

При строительстве территориально-производственных комплексов может оказаться, что строительная сетка на площадке каждого предприятия выбрана применительно к местности и имеет свое начало и направление. В этом случае составление сводного генплана комплекса необходимо делать в общей для всей территории системе координат, принятой при изысканиях.

В этой системе составляют план всей межзаводской территории. На площадках же каждого предприятия по перевычисленным координатам наносят свою строительную сетку и относительно нее составляют генеральный план этого предприятия.

Общий порядок составления генерального плана следующий:

- а) наносят все пункты геодезической основы; здания и другие строения, железные и шоссейные дороги; подземные и надземные коммуникации; прочную ситуацию (газоны, скверы, зеленую зону, ограды и т. д.);
- б) изображают рельеф;
- в) производят зарамочное оформление.

Сначала всю нагрузку наносят в карандаше и только после проверки и взаимной увязки производят окраску отдельных сооружений и вычерчивание плана тушью.

Все здания и строения наносят по исполнительным координатам углов. Детальная конфигурация зданий со всеми выступами и проемами дается на основании абрисов исполнительных промеров. Отдельные вспомогательные постройки на межзаводской территории можно нанести и по материалам топографической съемки этой территории.

Дороги наносят по координатам углов поворота, пересечений и примыканий. Кривые, пикетаж, искусственные сооружения даются по исполнительному плану дороги.

Подземные коммуникации наносят по исполнительным координатам углов поворота и узловых колодцев. Положение отдельных колодцев и других сооружений на линии находят путем откладывания расстояний, измеренных между ними в натуре. Построения увязывают между точками, нанесенными по координатам. При этом проверяют расстояния от колодцев до изображенных на плане ближайших зданий и строений, сравнивая результаты с промерами в натуре. Этим контролируют положение на плане как колодцев, так и зданий.

По материалам исполнительного нивелирования наносят отметки на спланированной территории. Горизонтالي проводят через 0,25—0,50 м в зависимости от уклонов местности и масштаба составляемого плана.

На территориях, где вертикальная планировка не проводилась, рельеф наносят на генплан по материалам съемки этой территории в период изысканий.

После тщательной корректуры составленного генерального плана вычерчивают его принятыми цветными условными знаками. В зарамочных оформлениях приводят перечень характерных условных знаков с объяснениями и ведомость основных объемов выполненных строительно-монтажных работ. Кроме того, помещают картограмму, показывающую расположение отдельных видов исполнительных генеральных планов на территории предприятия или комплекса.

Исполнительные планы на отдельные виды коммуникаций часто составляют на отдельных бланковках, которые получают путем копирования со сводного генерального плана на восковку основной ситуации и геодезической опоры и размножения этой копии литографским способом или светокопированием. На эти бланковки наносят условными знаками отдельные виды коммуникаций со всеми сооружениями на них, координатами, отметками и расстояниями.

К исполнительному генеральному плану прилагают:

- а) схему геодезической основы площадки и вблизи лежащей территории с каталогами координат пунктов и ведомостями высот реперов и марок;
- б) всю полевую геодезическую документацию, накопленную в процессе строительства и сброшюрованную по отдельным сооружениям;
- в) пояснительную записку по геодезическим работам и наблюдениям за осадками и деформациями отдельных сооружений в период строительства.

5. Геодезические работы при планировке и застройке городов.

5.1. Планировка и проектирование городской территории. Составление и расчёт проекта красных линий. Вынесение в натуру и закрепление красных линий, осей проездов, зданий и сооружений. Составление плана организации рельефа и земляных масс. Вынос в натуру проекта организации рельефа.

Геодезические работы, выполняемые для целей составления проектов планировки и застройки городов и населенных пунктов и вынесения проектов в натуру, по видам и содержанию весьма разнообразны и зависят от размера территории, охваченной проектированием, и от стадий проектирования.

Разработка проектов планировки и застройки населенных мест выполняется на основе СНиП, в котором города, поселки и сельские населенные пункты в зависимости от численности населения подразделяются на группы.

При проектировании ставится условие, чтобы составленный проект планировки и застройки города создавал своеобразный архитектурный облик и выразительность объемно-пространственной композиции города с учетом природно-ландшафтных, национально-бытовых и других местных особенностей и предусматривал мероприятия по охране окружающей среды.

Проектирование новых и реконструкция существующих городов и поселков производятся на основе перспективных планов развития народного хозяйства, схем размещения производительных сил и населения по экономическим районам, а также схем и проектов планировки и осуществляются по следующим проектным этапам:

- 1) генеральный план города;
- 2) проект детальной планировки отдельных районов и микрорайонов,
- 3) проект застройки жилых районов, микрорайонов, улиц и площадей.

Каждый этап обычно разрабатывают при двухстадийном проектировании. Для важнейших районов страны разрабатываются и утверждаются проекты районной планировки, в которых решается проблема рационального размещения городов и поселков, а также промышленных, энергетических и транспортных сооружений.

Схема районной планировки составляется на картах масштаба 1:100000 или 1:50000. Проектные планы населенных пунктов района выполняются в масштабе 1 : 25 000. Генеральный план города или поселка разрабатывается на расчетный срок 25-30 лет. При этом предусматривается резерв территории, обеспечивающий возможность дальнейшего развития населенного пункта за пределами этого расчетного срока.

При разработке генерального плана осуществляется зонирование территории по видам ее использования для создания взаимоувязанной планировочной структуры.

При зонировании выделяются следующие функциональные зоны:

с е л и т е б н а я - для размещения жилых районов, общественных центров (административных, научных, учебных, медицинских, спортивных и др.), зеленых насаждений общего пользования;

п р о м ы ш л е н н а я - для размещения промышленных предприятий и связанных с ними объектов;

к о м м у н а л ь н о - с к л а д с к а я - для размещения баз и складов, гаражей, трамвайных депо, троллейбусных и автобусных парков и т. п.;

в н е ш н е г о транспорта- для размещения транспортных устройств и сооружений пассажирских и грузовых станций, портов, пристаней и др.

На территориях сельских населенных пунктов выделяют селитебную и производственную зоны. Селитебную часть города или поселка размещают с наветренной стороны для ветров преобладающего направления, а также выше по течению рек по отношению к промышленным и сельскохозяйственным предприятиям с технологическими процессами, способствующими выделению в окружающую среду вредных веществ.

Территории для строительства новых городов или поселков выбирают преимущественно на землях несельскохозяйственного назначения или малопригодных для сельского хозяйства.

Размещение объектов строительства в землях государственного лесного фонда допускается на участках, не покрытых лесом или занятых малоценными насаждениями. Выбор площадок для строительства по их размеру и местоположению обосновывается технико-экономическими расчетами.

На территориях, прилегающих к городам, при разработке проекта планировки предусматривают организацию пригородных зон, предназначенных для использования в качестве резервов последующего развития города и для размещения объектов хозяйственного обслуживания, а также зеленых зон, предназначенных для организации отдыха населения, улучшения микроклимата, состояния воздушного бассейна и санитарногигиенических условий.

Основным структурным элементом при составлении проекта планировки селитебной части является микрорайон, ограниченный красными линиями магистральных и жилых улиц. Красными линиями называют границы, отделяющие территорию жилых районов и микрорайонов от всех видов улиц города. Здания вдоль улиц размещают по линии застройки, которая отступает от красной линии в глубь территории микрорайона на магистральных улицах не менее 6 м, на жилых - не менее 3 м. Ширина улиц в пределах красных линий принимается:

для магистральных улиц общегородского значения 75 м

..... регулируемого движения 60 м

..... районного значения 35 м

для жилых улиц многоэтажной застройки 25 м

..... одноэтажной 15 м

В малых и средних городах ширину магистральной улицы общегородского значения в красных линиях допускается уменьшать до 45 м.

СНиП предусматривает следующие наибольшие продольные уклоны и наименьшие значения радиусов: скоростные дороги: $i_{\max} = 40\%$; $R_{\min} = 600$ м; магистральные дороги:

а) общегородского значения $i_{\max} = 50\%$; $R_{\min} = 400$ м

б) районного значения $i_{\max} = 60\%$; $R_{\min} = 250$ м.

в) местного значения $i_{\max} = 80\%$; $R_{\min} = 125$ м.

Для площадей продольные и поперечные уклоны не должны превышать 30 %.

Инженерные сети городов проектируют как комплексную систему, объединяющую все надземные, наземные и подземные сети с учетом их развития на расчетный период.

Для разработки г е н е р а л ь н о г о п л а н а при составлении проекта планировки города или поселка используется топографический план масштаба 1 : 5000. При планировке крупнейших и крупных городов для разработки генерального плана допускается использовать топографические планы масштаба 1 : 10 000, а для малых городов и поселков - масштаба 1 : 2000. Планы района, прилегающего к городу, составляются в масштабе 1 : 25 000.

Одновременно с разработкой генерального плана планировки города разрабатывается план размещения первоочередного строительства из расчета на ближайшие 5-10 лет.

П р о е к т д е т а л ь н о г о п л а н и р о в к и жилых районов и мнкрорайонов разрабатывается на основе утвержденного генерального плана и плана размещения первоочередного строительства на расчетный срок в 3-5 лет. Проект детальной планировки (ПДП) включает следующие документы:

а) план красных линий в масштабе 1 : 2000 или 1 : 1000. На планах красных линий особо выделяют опорную застройку, т. е. такие существующие здания и сооружения, которые приняты в качестве опорных для определения положения красных линий в натуре;

б) разбивочные чертежи красных линий в масштабе 1:2000 с привязками красных линий к опорным зданиям, пунктам триангуляции и полигонометрии;

в) поперечные профили улиц в масштабе 1: 100 или 1:200 с нанесением наземных и подземных коммуникаций;

г) схему вертикальной планировки, совмещенную с планом красных линий, на которой показывают проектные и фактические отметки осей проездов и пересечений красных линий;

д) эскизы застройки в масштабе 1 : 2000 или 1 : 1000, определяющие основные принципы архитектурно-планировочной организации застройки жилых районов, улиц и площадей.

К проекту детальной планировки составляется пояснительная записка, в которой приводят характеристику существующего состояния района, описывают природные и инженерностроительные условия, технико-экономические показатели и обоснования принятых решений по всем разделам проекта.

Проект застройки и жилых районов, микрорайонов улиц и площадей разрабатывается на основе проекта детальной планировки и эскиза застройки в две стадии: технический проект и рабочие чертежи.

Основными документами технического проекта на застройку являются ситуационный план проектируемого строительства, генеральный план застройки и макет застройки.

Рабочие чертежи разрабатывают на объем строительства последующего года на основе утвержденного технического проекта.

В комплекс проектных документов входят:

а) генеральный план участка застройки в масштабе 1 : 500-1 : 1000 с показанием размещения проектируемых, сохраняемых и реконструируемых зданий и сооружений, участков общественных зданий, зеленых насаждений, площадок, проездов и др.;

б) разбивочный чертеж в масштабе 1:500-1: 1000 с показанием привязок уточненного размещения зданий и сооружений, зеленых насаждений, спортивных и других площадок, проездов и подходов к зданиям, хозяйственных дворов и др.;

в) комплект чертежей, принятых к строительству зданий и сооружений;

г) чертежи по вертикальной планировке территории в масштабе 1:500-1:1000 с показанием проектных горизонталей, проектных отметок и уклонов, картограммы земляных работ и распределения земляных масс, поперечных профилей улиц и проездов и другие документы.

Вертикальная планировка выполняется с целью обеспечения отвода поверхностных вод с улиц, площадей и внутриквартальных территорий, а также приведения уклонов на улицах, площадях и перекрестках к допустимой величине.

При составлении проекта вертикальной планировки предусматривают отвод поверхностных вод со всего бассейна стока. В городах и поселках предусматривают ливневую канализацию закрытого типа. Применение открытых водоотводящих устройств (канав, кюветов, лотков) допускается только в районах 1-2-этажной застройки, в сельских населенных пунктах и на территории парков с устройством мостиков или труб на пересечениях с улицами, дорогами, проездами, тротуарами.

В первой стадии проектирования составляется схема вертикальной планировки на всю территорию города в масштабе 1 : 5000 и разрабатывается технический проект по вертикальной планировке для первоочередного строительства в масштабе 1:2000. Во второй стадии составляются рабочие чертежи вертикальной планировки, которые разрабатываются в масштабе 1:500 в составе проекта застройки отдельного микрорайона с охватом всей территории микрорайона в пределах красных линий.

Таким образом, для составления генерального проекта планировки требуется съемка масштаба 1:5000 всей городской территории, включая и районы предполагаемого развития города.

Для разработки проекта детальной планировки производится съемка в масштабе 1:2000 на отдельных участках городской территории, а внутри этих участков в выборочном порядке - съемка масштаба 1 : 500 для составления проекта застройки. Это обстоятельство необходимо учитывать при подсчете требуемой точности и густоты геодезического обоснования. Принято плановое геодезическое обоснование городской территории по точности определения координат пунктов рассчитывать, исходя из требований масштаба 1:500, а густоту пунктов обоснования - из требований масштаба предстоящих съемок отдельных участков городской территории. Однако создаваемое в городах геодезическое обоснование в виде триангуляции, полигонометрии, нивелирования предназначается не только для производства крупномасштабных топографических съемок, но и для вынесения проекта планировки и застройки в натуру, а также обеспечения детальных разбивочных работ при строительстве зданий и сооружений и для наблюдений за их деформациями, что повышает требования к точности этого обоснования.

Освоение и застройка территорий, отведенных под населенные пункты, осуществляется в соответствии с утвержденным проектом генерального плана города или поселка. На основе генерального плана разрабатывается проект детальной планировки (ПДП), в состав документов которого входит проект красных линий, составленный на плане масштаба 1 : 2000.

Привязка проектных линий к местности осуществляется с использованием капитальных зданий и сооружений, существующих на местности и нанесенных на плане. Такие здания называют опорными. На рис. 5.1 представлен фрагмент проекта красных линий, на котором показаны опорные здания. При отсутствии на планируемой территории опорных зданий привязку проекта красных линий к местности задают характерными точками ситуации или рельефа.

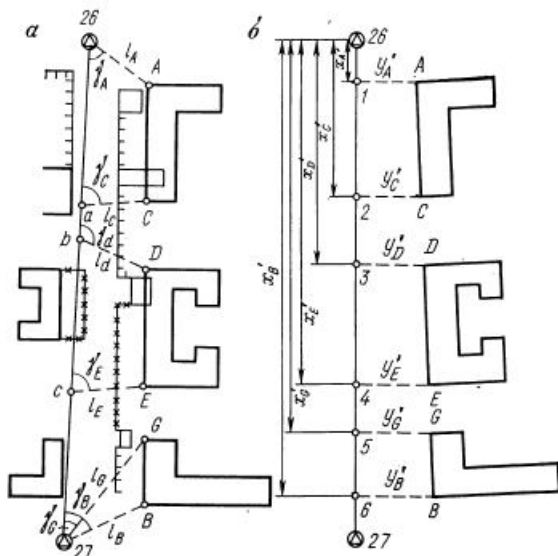


Рис.5.1

При определении координат графически по плану учитывают деформацию бумаги. Установлено, что линейная деформация бумаги при печатании карт и планов может достигать 2 %, при этом в различных направлениях величина деформации различна.

Для увеличения точности определения графических координат и исключения деформации бумаги расстояние от координатной сетки до определяемой точки измеряют по плану от двух сторон квадрата, внутри которого расположена точка. Из двух измерений берут среднее значение.

Для вычисления аналитических проектных координат углов кварталов по красным линиям или точек пересечения осей проездов между опорными точками проекта красных линий, координаты которых получены путем привязки исходных точек к пунктам полигонометрии или из графического определения по плану, намечают ходы типа теодолитных, образующие системы узловых точек или замкнутых полигонов. Длины линий и углы в таких ходах выбирают по размерам кварталов, ширине проездов и значениям углов поворота, указанных на проекте красных линий. Из системы ходов с одной узловой точкой, опирающейся на углы опорных зданий, можно получить координаты угловых точек кварталов.

Для контроля по точкам вынесенных в натуру красных линий и осей проездов прокладывают исполнительные ходы. Отклонение полученных координат точек от проектных характеризует точность выноса проекта.

На участке предстоящих в ближайшее время строительных работ вынесение в натуру углов кварталов, красных линий или точек пересечения осей проездов по вычисленным координатам осуществляют от знаков полигонометрических ходов. В тех местах, где точки проекта красных линий вынести в натуру непосредственно с пунктов полигонометрии невозможно или затруднительно, прокладывают специальные теодолитные ходы, с пунктов которых и производят разбивку в натуре точек проекта красных линий. Ошибки выноса отдельных точек проекта планировки в натуру по отношению к пунктам геодезического обоснования не должны превышать: ± 5 см в районах многоэтажной застройки, ± 8 см в районах малоэтажной застройки, ± 10 см на незастроенных территориях.

Способ вынесения той или иной точки проекта в натуру выбирают при составлении проекта в зависимости от условий местности и расположения точек планового обоснования. Наиболее распространен полярный способ.

Предположим, что точки А и В, являющиеся углами запроектированного квартала, намечено вынести в натуру способом полярных координат от полигонометрических пунктов 26 и 27 (см.рис.25.1, а). Для вынесения вычисляют разбивочные элементы, состоящие из длин линий 26- А и 27- В, которые обозначены соответственно через l_A и l_B , и дирекционных углов этих линий α .

Эти элементы находят из решения обратных задач по координатам пунктов 26 и 27 и проектным координатам углов квартала А и В. По вычисленным дирекционным углам α определяют значение разбивочных углов $\gamma_{\text{л}}, \gamma_{\text{в}}$. Для вынесения точек С, Е, . . . капитальной застройки пользуются створными точками а, b, с, устанавливаемыми на линиях полигонометрических ходов при помощи теодолита. При отсутствии в натуре зданий или сооружений между линией полигонометрии и красной линией застройки для вынесения углов запроектированных зданий может быть применен способ перпендикуляров (прямоугольных координат). Для вынесения каждой точки в натуру вычисляют длину перпендикуляров (условных ординат) $y'_{\text{А}}, y'_{\text{С}}, y'_{\text{Е}}, \dots$ (рис. 5.1, 6), опущенных из точек проекта на линию полигонометрии 26-27, и удаления (условные абсциссы) $x'_{\text{А}}, x'_{\text{С}}, x'_{\text{Е}}, \dots$ оснований этих перпендикуляров от полигонометрического знака 26 по формулам преобразования координат из геодезической x, y системы в условную x', y' .

Точки проекта А, С, D, Е, G и В в этом случае получают, откладывая расстояния $x'_{\text{А}}, x'_{\text{С}}, \dots$ от полигонометрического знака 26 и длины перпендикуляров $y'_{\text{А}}, y'_{\text{С}}, \dots$ от полигонометрической линии 26-27. Перпендикуляры восставляют при помощи теодолита, устанавливаемого последовательно в точках 1, 2, 3, 4, 5 и 6, закрепленных в створе линии полигонометрии.

Для вынесения проекта планировки в натуру составляют разбивочный чертеж, на котором изображают схему разбивки и подписывают все рассчитанные разбивочные элементы. Кроме необходимых элементов, для вынесения точек в натуру на разбивочном чертеже подписывают размеры, обеспечивающие надежный контроль правильности выполненных измерений.

При детальной разбивке здания вокруг него строят обноску сплошную или в виде отдельных скамеек, на которую выносят и закрепляют продольные и поперечные строительные оси. Пользуясь этими осями, выполняют разбивку фундамента и всех сооружений нулевого цикла.

Исходными документами для производства работ по вертикальной планировке являются рабочий чертеж планировки с проектными высотами и рабочими отметками и картограмма земляных работ.

Территория, на которой будут выполняться планировочные работы, должна быть обеспечена необходимым количеством реперов. Рекомендуется иметь 1 репер на 1 км² планируемой поверхности и, кроме этого, реперы вблизи больших выемок и насыпей. При производстве работ следует руководствоваться допусками.

Вынос в натуру проекта вертикальной планировки начинают с разбивки проездов. В натуре закрепляют кольями оси проездов, все пикеты и точки перегиба рельефа через 10-20 м. На кольях указывают в сантиметрах величину насыпи и выемки грунта. В случаях, когда рабочие отметки незначительны, кольца устанавливают по нивелиру на уровень проектных высот. В местах, где слой насыпи больше 1-2 м, устанавливают деревянные лекала с визирками на проектном уровне. На всех пикетах и характерных точках разбивают проектные поперечные профили, на которых закрепляют положение оси проезда, лотка, бортового камня, тротуара и других характерных точек. На участках устройства насыпей без искусственного уплотнения грунт следует отсыпать с запасом на осадку, величина которой указывается в проекте. Как правило, сначала выполняются черновые планировочные работы, в результате которых производятся срезка, перемещение и подсыпка основных масс грунта, а после и их окончательная планировка, перед которой всю разбивку следует восстановить. Проектные высоты при окончательной планировке должны выноситься со средней квадратической ошибкой около 5 мм относительно исходных реперов.

По окончании планировки проездов приступают к внутриквартальной планировке, а для промышленных предприятий к планировке технологических площадок. При этом для разбивки используют либо метод квадратов, либо метод задания в натуре оформляющих плоскостей. В первом случае в пределах планируемой площадки разбивают сетку квадратов со сторонами 10÷20 м. В вершинах квадратов забивают кольца с указанием величины рабочих отметок. Во втором случае забивают кольца по линии нулевых работ оформляющих плоскостей и при необходимости дополнительные кольца внутри плоскости.

При выносе в натуру вертикальной планировки используют формулу для вычисления отсчетов по рейке, соответствующих проектным высотам точек,

$$b = H_j - H_{np}$$

где $H_j = \text{Нисх} + a$ - горизонт инструмента; Нисх - высота исходного репера; а - отсчет по рейке на репере; b - отсчет по рейке, соответствующий проектной высоте в i-й точке; H_{np} - проектная высота i-й точки.

В ряде случаев целесообразно при выносе в натуру проекта вертикальной планировки пользоваться наклонным лучом нивелира, установленным параллельно проектному уклону планировки.

По мере производства планировочных работ проводится контрольное нивелирование для определения фактических отметок спланированных поверхностей и их отклонения от проектных.

Оперативный контроль планировочных работ осуществляется при помощи визирок.

В последнее время при контроле работ по вертикальной планировке применяют лучевые способы, позволяющие повысить качество планировочных работ и поднять производительность труда. Электронно-оптический прибор управления лучом (ПУЛ) устанавливается в точке с известной высотой, и его лучу задают проектный уклон. На режущем органе землеройной машины устанавливают фотоприемник, который соединяется с системой управления, ведущей машину по заданному уклону.

Большой эффект дает применение лазерных приборов, позволяющих задавать проектные плоскости и управлять планировочными машинами. От видимой «лазерной плоскости» или оси лазерного пучка можно выносить в натуру проектное положение точек, а также осуществлять контроль в процессе строительных работ.

5.2. Геодезические работы при строительстве гражданских зданий. Виды гражданских зданий и состав геодезических работ на этапах возведения. Геодезическая разбивочная основа на строительной площадке. Построение и закрепление разбивочных осей.

Геодезические работы при возведении подземной части зданий («нулевого цикла»). Разбивка свайного основания. Разбивка монолитных и сборных фундаментов. Геодезический контроль при возведении надземной части зданий. Построение базовой разбивочной основы на исходном горизонте. Проектирование разбивочных осей и передача высот на монтажные горизонты. Развитие разбивочных осей на монтажном горизонте. Геодезические работы при возведении надземной части зданий различной конструкции.

К гражданским зданиям относятся жилые, общественные и производственные здания. В группу производственных зданий входит и часть сооружений: здравоохранения (бальнео- и грязелечебницы и т.п.), физкультурно-оздоровительные и спортивные (открытые и крытые стадионы, оздоровительные площадки и т.п.).

Жилые здания включают в себя: квартирные дома различной этажности, протяженности и конфигурации, дома для престарелых, инвалидов, общежития и т.д. В жилых зданиях могут быть предусмотрены нежилые (нетиповые) этажи, хозяйственные постройки и помещения. Инженерное оборудование жилых домов включает в себя: лифты (в зданиях с планировочной отметкой пола верхнего этажа от земли свыше 14 м); хозяйственно-питьевое, противопожарное и горячее водоснабжение; канализацию, водостоки, отопление; вентиляцию; электротехнические устройства (электроосвещение, силовое электрооборудование, телефонизацию, радиофикацию, телевизионные антенны, домофоны и др.).

Общественные здания включают в себя следующие группы зданий: для образования, воспитания и подготовки кадров; научно-исследовательские, проектные, управленческие и общественные организации; здравоохранения и отдыха; физкультурно-оздоровительные; культурно-просветительские и зрелищные; торговли, общественного питания и бытового обслуживания; для транспорта; предназначенные для непосредственного обслуживания населения, коммунального хозяйства и др. В перечисленных группах зданий существует ряд более мелких делений на типы зданий. Отличаются они, главным образом, конфигурацией и этажностью.

Инженерное оборудование общественных зданий в основном то же, что и в жилых.

Производственные здания включают в себя здания заводов, фабрик и других промышленных предприятий и характеризуются большими модульными размерами пролетов, шагов колонн, высот этажей. Как правило, производственные здания связываются технологическими сборочными линиями. Нередко внутри зданий прокладываются железнодорожные пути, галереи, площадки и лестницы для обслуживания грузоподъемных кранов, световые фонари на крышах.

К сооружениям специального назначения относятся: подземные и надземные емкости для хранения жидкостей и газов, гидротехнические, транспортные и др.

Инженерное оборудование производственных зданий включает в себя систему приборов, аппаратов, машин, коммуникаций, обеспечивающих подачу и отвод жидкостей и газов, электроэнергии и др.

По конструктивным признакам здания бывают:

каменно-кирпичные;

монолитные, возводимые из монолитного железобетона в скользящей, секционно-переставной и щитовой опалубках;

крупноблочные, возводимые из блоков, изготавливаемых индустриальным методом;

крупнопанельные, когда стеновые и внутренние панели, а также Панели перекрытий являются несущими элементами конструкции;

каркасные, когда основными несущими элементами служат колонны, ригели и плиты перекрытий;

объемно-блочные, когда конструкция здания формируется из объемных элементов полной заводской готовности (комнаты, санузлы и т.п.).

По конфигурации здания возводятся: односекционные (один подъезд), удлиненные (свыше двух секций) и сложной конфигурации, включая круглые здания, здания с разворотом и смещениями секций.

Геодезические работы в гражданском строительстве можно рассматривать как комплекс измерений, вычислений и построений на чертежах и в натуре, обеспечивающих, во-первых, правильное и точное размещение зданий и сооружений и, во-вторых, возведение их конструктивных элементов в соответствии с геометрическими параметрами проекта и требованиями нормативных документов. Решение этих задач осуществляется поэтапно, в зависимости от стадий строительно-монтажного производства, начиная с принятия решения о проведении строительства объекта и заканчивая его сдачей. Можно выделить следующие этапы производства геодезических работ.

1. Выбор площадки под строительство: сбор, анализ и обобщение материалов.

2. Строительное проектирование: топографо-геодезические изыскания; геодезическое обеспечение других видов изысканий; обеспечение строительного проектирования дополнительными исходными данными.

3. Изготовление строительных конструкций:

контроль за соблюдением геометрических параметров элементов, в которых формируются строительные конструкции;

статистический контроль геометрических параметров изготовленных строительных конструкций.

4. Подготовительный период строительства: создание геодезической разбивочной основы; инженерная подготовка территории, включающая в себя планировочные работы, прокладку подземных коммуникаций и подъездных дорог;

вынос в натуру главных и основных осей.

5. Основной период строительства:

вынос в натуру осей конструктивных элементов; геометрическое обеспечение строительно-монтажного производства при возведении подземных и надземных частей зданий;

исполнительная съемка законченных строительством элементов и составление исполнительной документации;

подготовка комплекта исполнительной геодезической документации к сдаче.

6. Окончание строительства:

составление и сдача технического отчета о результатах выполненных в процессе строительства геодезических работ;

составление исполнительного генерального плана, специальных исполнительных инженерных планов, профилей, разрезов.

Геодезические работы при возведении фундаментов

Сооружение фундаментов - одна из ответственных операций, от которой зависит качество последующих строительных и монтажных работ. Погрешности в закладке фундамента неизбежно нарушают устойчивость всего здания. Поэтому необходимо соблюдать установленную точность разбивки в плане и по высоте.

Все здания и сооружения можно разделить на две основные группы:

-промышленные;

-гражданские.

По конструкции здания можно разделить на:

-одноэтажные здания с ж/б каркасом;

-многоэтажные здания с ж/б каркасом;

-крупнопанельные здания бескаркасные;

-крупнопанельные здания с неполным каркасом;

-кирпичные здания;

-блочные здания;

-монолитные ж/б здания;

-здания из блок - комнат, и т.д.

Таким образом, все здания по конструкции подразделяют на каркасные и бескаркасные. В зависимости от конструкции здания, величины нагрузок и несущей способности грунтов применяют ленточные, свайные, стаканного типа, плитные фундаменты.

По технологии возведения различают фундаменты монолитные и сборные.

При возведении монолитных фундаментов сначала переносят в котлован их оси от обноски, а затем на основе этих осей разбивают контур размещения внутренних граней опалубки. В больших фундаментах опалубку разбивают от обноски. При этом используют идентичные точки обноски и методом прямоугольной створной засечки получают каждую контурную точку, закрепляя ее колышком или штырем.

На малых объектах оси сносят при помощи проволок, навешенных на обноску, на больших - теодолитами, установленными над точками обноски и ориентированными по своим осям. Если применяют проволоки, точка пересечения их сносится на дно котлована отвесом, а если теодолит - определяется на основе пересечения створов, снесенных на дно котлована. Низ фундамента, характерные уступы и верх его контролируют нивелиром от рабочих реперов (рис. 5.2). Отметку уровня заливки бетона фиксируют гвоздями или цветным карандашом на внутренней стенке опалубки. Вследствие усадки бетона уровень фундамента несколько понижается, что иногда учитывают в отметке опорной поверхности. На практике чаще всего фактическую отметку бетона несколько понижают для того, чтобы затем сделать подливку опорной плиты. Этот способ применяется при возведении фундаментов под технологическое оборудование и под колонны с фрезерованными башмаками.

При постройке ленточных фундаментов стен дополнительно следят за разбивкой вводов в здание подземных коммуникаций. На определенной отметке и по назначенному в проекте расстоянию устанавливают в опалубке деревянные пробки несколько большего диаметра, чем труба коммуникации. При бетонировании фундамента в этих местах остаются отверстия, к которым впоследствии подводят коммуникацию.

После бетонирования фундамента выполняют контрольные измерения расстояний между осями и нивелирование поверхности фундамента. В результате измерений составляют исполнительную схему, в которой показывают отклонения от проектных данных.

При закладке фундаментов для кирпичных стен отклонения от проектных отметок поверхности фундамента могут быть исправлены за счет некоторого увеличения или уменьшения толщины швов кирпичной кладки.

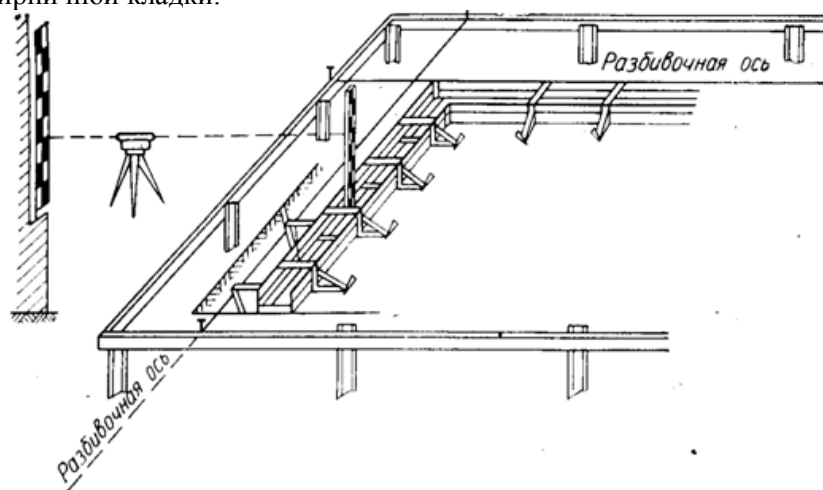


Рис.5.2. Схема разбивки опалубки ленточного фундамента

По мере возведения цокольной части и стен здания или сооружения исчезает видимость по осям. Установленная ранее отмостка к этому времени обязательно окажется разрушенной и, следовательно, большая работа, проведенная при разбивке основных осей, пропадет. Возникает необходимость переноса строительных осей и отметок на фундаменты возводимого здания. С помощью геометрического нивелирования на цокольной части здания создается *нулевой горизонт*, который не является горизонтом “чистого пола” первого этажа. Горизонт “чистого пола” первого этажа несколько возвышается над цоколем и плоскостью подвального перекрытия.

Поэтому нивелированием выносят отметку условного уровня, который в практике строительства носит название *исходного горизонта*. Сети на исходном горизонте по мере возведения здания используют как опорные для передачи их координат на монтажные горизонты.

Монтажным горизонтом называется условная плоскость, находящаяся в нижнем уровне основания монтируемых элементов конструкций.

Опорная плановая разбивочная сеть может быть построена не только на подвальном перекрытии, но и на блоках фундамента или бетонной подготовке.

Плановая разбивочная сеть на исходном горизонте.

Виды и точность плановой разбивочной сети зависят от этажности здания, высоты сооружения и их конструктивных решений. Однако в основном сеть создают в виде правильных

На промышленной площадке проходит много коммуникаций: подземных сетей, надземных трубопроводов, дорог. Каждая коммуникация должна быть разбита и построена строго по проекту.

Несколько отличается разбивка надземных трубопроводов. Здесь разбивают места установки фундаментов под опоры, на которых затем монтируют трубопровод. Чтобы трубопровод занял положение некоторой пространственной прямой, разбивка фундамента под опоры и установка на проектные отметки верхних переключателей, на которые опираются трубы, должны быть выполнены с надлежащей точностью. Центры фундаментов опор разбивают от строительной сетки таким же способом, как и колодцы подземных коммуникаций. Около каждого фундамента строят небольшую обноску, на которую теодолитом выносят продольную ось трубопровода и поперечную ось опоры. По этим осям строят опалубку и устанавливают анкерные болты.

Вводы подземных коммуникаций в здания разбиваются от осей стен. Предварительно по исполнительному чертежу фундамента проверяют, оставлено ли в соответствующем месте отверстие. Место ввода обозначают с внешней стороны здания и от ближайшего колодца разбивают трассу. В самотечных коммуникациях увязывают отметки лотка колодца с отметкой низа отверстия, чтобы получить проектный уклон.

Внутрицеховые коммуникации строятся, как правило, после окончания строительства фундаментов. Это дает возможность производить разбивку этих коммуникаций как от осей сооружений, так и от закладных частей и граней фундамента, что в значительной мере облегчает работу.

При исполнительной съемке законченных коммуникаций путем аналитической привязки к пунктам геодезической основы определяют координаты углов поворота коммуникаций, узловых колодцев трубопроводов; центров стрелочных переводов железнодорожных линий и перекрестков автодорог; соединительных муфт, колодцев и мест пересечений с дорогами кабельных сетей. Дополнительно все колодцы привязывают к местным предметам. При съемке внутрицеховых коммуникаций углы поворота, колодцы, вводы привязывают к ближайшим фундаментам.

Одновременно с плановой съемкой коммуникаций производят исполнительную нивелировку и определяют отметки залегания трубопровода, лотков и крышек колодцев, полотна дорог.

Перенесение на местность трассы трубопроводов выполняется при использовании плана, профиля трассы и сводного плана коммуникаций. Разбивочные работы для устройства траншей состоят в том, чтобы на местности по данным разбивочного чертежа были вынесены в натуру:

- 1) все точки присоединений, подключений и ввод сетей в здания;
- 2) углы поворота осей;
- 3) центры смотровых колодцев;
- 4) места пересечения с другими коммуникациями;
- 5) границы и оси траншей.

На прямолинейных участках трассы точки выносятся не реже, чем через 100м. В плане коммуникации выносятся с точностью 1:2000. Проектные отметки для самотечной сети выносятся с точностью 2-5 мм, для напорной сети 1-2см.

Подготовительные работы по разбивке подземных трубопроводов выполняются в следующей последовательности:

- 1) выписывают координаты и высоты пунктов опорной и съемочной сети в районе трассы;
- 2) определяют координаты всех характерных точек;
- 3) определяют длины прямолинейных участков;
- 4) вычисляют линейные и угловые разбивочные элементы.

Выносить в натуру трассу можно от красной линии, осей проезда, вершин и сторон строительной сетки, точек теодолитного хода. Вынесение в натуру точек оси трассы выполняется на специально устроенную обноску (рис.5.5), так как при рытье траншей оси могут быть уничтожены. На обноске также фиксируются контуры траншеи. Обноску устанавливают перпендикулярно к оси трубопровода.

От точек крепления трассы на обноску выносят и фиксируют ось траншеи (рис.5.5). Натянув между осевыми точками смежных обносок проволоку и подвесив на нее отвес, проверяют плановое положение траншеи.

Высотная выверка дна траншеи выполняется с помощью визирок. Прокладывают нивелирный ход и определяют отметки H_n верхней грани каждой обноски. Из этих отметок вычитают соответствующие проектные отметки $H_{лот}$ дна траншеи (или лотка). По полученным разностям выбирают длину ходовой визирки l (3 – 3,5 м). Если из этой длины вычесть ранее полученные разности, то можно определить высоту опорной визирки $h_{оп}$ опорной визирки на каждой обноски, т.е.:

$$h_{оп} = l - (H_n - H_{пр})$$

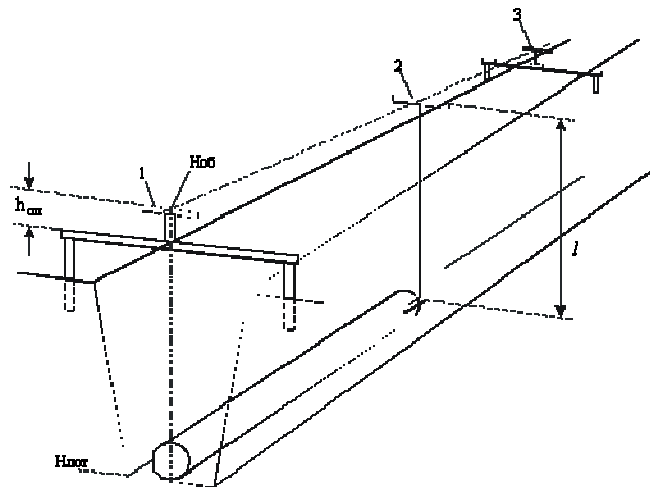


Рис.5.5. Высотная выверка дна траншеи с помощью визирок:
1, 3 – опорные визирки; 2 – ходовая визирка.

Для удобства пользования длина ходовой визирки выбирается с таким расчетом, чтобы высота опорных визирок на данном участке была в пределах 0,3-1м. Все вычисления выполняют в специальной ведомости.

Согласно выполненным в ведомости расчетам заготавливают опорные визирки и устанавливают их на необходимой высоте над уровнем обноски.

Высота опорных визирок над проектной линией дна одинакова для всех пикетов и колодцев и равна принятой длине ходовой визирки, т.е. линия, проходящая через верхние планки двух соседних опорных визирок, параллельна проектной линии дна траншеи. Поэтому, если встать около одной из опорных визирок 1 (рис.5.5) и, визируя «на глаз» поверх нее на соседнюю опорную визирку 3, установить строго на линии визирования верхний срез ходовой визирки 2, то планка последней будет находиться на проектной отметке дна траншеи в этой точке. Перемещая ходовую визирку по дну траншеи через 3-5 м, получают проектные отметки, по которым окончательно зачищают дно.

Точность способа (при визуальном наблюдении) – соблюдение уклонов с точностью ± 1 см. Поэтому при расстояниях между опорными визирками 50-100м, проектные отметки могут быть заданы в натуре с ошибками $\pm 2-3$ см, что достаточно для земляных работ.

На участках вертикальных кривых, где необходимо учитывать поправки за кривизну трассы, способ визирок не применяют, а используют нивелир.

На законченных участках проводят исполнительную съемку траншеи: проверяют прямолинейность; совпадение оси с проектом; нивелируют дно траншеи, определяя отметки на пикетах и в колодцах. Расхождение с проектом допускается $\pm 2-3$ см.

6. Геодезические работы на промышленных площадках.

6.1. Технология изыскания промышленных площадок. Схемы построения и расчёт точности геодезического обоснования. Общие принципы разбивки промышленных сооружений. Геодезическое обеспечение монтажа строительных конструкций.

Методы разбивки и выверки подкрановых путей. Точность. Автоматизация измерений.

Особенности производства геодезических работ при строительстве и эксплуатации технологических линий крупногабаритного вращающегося агрегата. Применение автоматизированных систем измерений.

Методы разбивки сооружений башенного типа. Схемы и расчёт точности построения геодезического обоснования. Особенности производства геодезических работ при возведении особо высоких сооружений.

Геодезические работы при строительстве крупных тепловых (ТЭС) и атомных (АЭС) электростанций. Особенности построения разбивочной основы. Геодезическое обеспечение монтажа основного технологического оборудования. Автоматизация измерений.

Площадка для строительства промышленного комплекса выбирается при технико-экономическом обосновании проекта. Она должна удовлетворять условиям нормальной эксплуатации предприятий, располагаться в благоприятных инженерно-геологических и гидрологических условиях и требовать на подготовительные работы и освоение сравнительно минимальных затрат. При этом должны соблюдаться законы о земле и об охране окружающей среды, требующие бережливого отношения к ценным сельскохозяйственным угодьям и к природе.

Размеры площадки и ее конфигурация должны допускать расположение основных зданий, сооружений и коммуникаций в соответствии с ходом технологического процесса и схемой внутривозовского транспорта, с учетом перспективы расширения производства.

Рельеф площадки должен быть по возможности спокойным, с уклонами в одну сторону или от середины к краям, обеспечивая быстрый сток поверхностных вод. Желательно иметь направление ската вдоль короткой стороны площадки (направление горизонталей на плане вдоль длинной стороны). Допустимы максимальные уклоны местности до 0,10 (6°), минимальные значения 0,03 (10').

Площадка должна иметь удобное присоединение к ближайшим железнодорожным и автодорожным магистралям без сложного развития линий и возведения больших мостовых или туннельных переходов, которые удорожают строительство и удлиняют сроки освоения площадки.

Большое влияние на выбор площадки оказывают специфика производства, размещение источников снабжения технологическими материалами, водой, энергией, баз строительных материалов и т. д. Важно также, чтобы недалеко от площадки имелись участки с благоприятными условиями для городского строительства.

В камеральных условиях на основании изучения топографических и геологических карт, материалов аэрофотосъемки намечают варианты для полевого [обследования].

В натуре уточняют инженерно-геологические и гидрологические условия площадок; обследуют возможные подходы подъездных железных и автомобильных дорог, намечаемые выпуски канализационных коллекторов; определяют примерные расходы на подготовительные работы и по освоению площадки; согласовывают возможность отводов территории и присоединения трасс.

Для разработки технического проекта предприятия намеченную площадку и часть прилегающей к ней территории снимают в масштабе 1:2000 с высотой сечения рельефа 1 м. Дополнительно по имеющимся планам и картам, обновленным и дополненным на местности, составляют ситуационный план района строительства в масштабе 1:10 000 - 1:25 000. На этот план наносят контуры площадок промышленного комплекса, городского поселка, водозаборных и очистных сооружений, существующие автомобильные и железные дороги, реки, населенные пункты, лесные массивы, карьеры и месторождения строительных материалов, подсобные предприятия, а также намечают трассы подъездных дорог, водоводов, выпусков канализации и др.

Одновременно с топографической съемкой производят крупномасштабную инженерно-геологическую съемку площадки.

Для составления рабочих чертежей территорию основных промышленных сооружений и городской застройки снимают в масштабе 1:500 с высотой сечения рельефа 0,5 м и проводят на ней детальную инженерно-геологическую и гидрогеологическую разведку.

Съемка может быть выполнена как стереофотограмметрическими, так и топографическими методами. При слабо выраженном рельефе часто производят нивелирование поверхности по квадратам 20х20 м или 30х30 м с последующей полевой корректурой.

Независимо от метода съемки на площадке должен быть с большой тщательностью изображен рельеф, закоординированы углы капитальных зданий и сооружений и узловые точки коммуникаций, занивелированы полы зданий и складских площадок, бровки дорог, колодцы, урезы водоемов и др.

Геодезическим обоснованием территорий для промышленного и городского строительства в зависимости от их площади служат государственные сети 2-4 классов, сети сгущения 1 и 2 разрядов, сети нивелирования II-IV классов, съемочное обоснование. На застроенных и незастроенных территориях промышленных комплексов и городов геодезические сети проектируются по точности для обеспечения развития сетей сгущения и производства съемки в самом крупном масштабе- 1:500 и удовлетворения требований разбивочных работ.

Крупные промышленные комплексы вместе с жилгородком и подсобными предприятиями занимают площадь до 30-50 км². Главной геодезической основой съемки такой территории является сеть триангуляции 4 класса, покрывающая снимаемую территорию сетью примерно равносторонних треугольников с длиной сторон 3-4 км, или заменяющая ее светодальномерная полигонометрия 4 класса.

При трехступенчатой схеме построения обоснования на таких площадках, принимая минимальный коэффициент обеспечения точности $K = \sqrt{2}$, получаем следующие требования к точности отдельных ступеней обоснования для удовлетворения требований съемки масштаба 1:500: а) геодезическая основа- $m_1 = 3,8$ см; б) обоснование сгущения $m_2 = 6,3$ см, в) съемочное обоснование $m_3 = 7,8$ см.

Эти точности следует рассматривать как средние квадратичные ошибки взаимного положения пунктов в слабом месте уравненных сетей.

При использовании геодезической основы для выноса в натуру проекта застройки (красных линий и осей проездов) и главных осей промышленных сооружений примерный расчет ее точности может быть произведен по формуле

$$m_1 = m_l \sqrt{\frac{L}{l}},$$

где L - общая длина площадки комплекса; l - средняя длина участков технологически связанных промышленных сооружений и кварталов городской m застройки; m_l - средняя квадратическая ошибка разбивки главных осей и красных линий; для промышленных и городских сооружений она может быть принята 2-3 см.

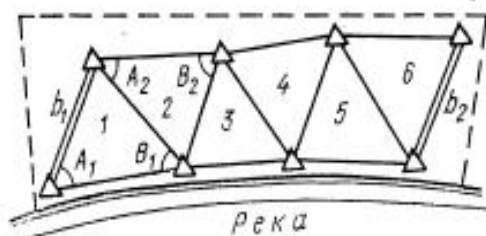


Рис.6.1

Если территория площадки представляет собой вытянутую полосу шириной 3-4 км, то наиболее целесообразно геодезическую основу строить в виде ряда равносторонних треугольников, опирающихся в начале и в конце на измеренные базисы. Как известно, средняя квадратическая ошибка в логарифме связующей стороны в середине такого ряда, уравненного за условие фигур, базисных сторон и азимутов, будет

$$m_{lg\ s_{n/2}}^2 = \frac{1}{2} m_{lg\ b}^2 + \frac{3}{4} m^2 n,$$

где n - число всех треугольников ряда, m - средняя квадратическая ошибка измеренного угла, $m_{lg\ b}$ - средняя квадратическая ошибка в логарифме базисной стороны.

На территории площадки шириной 6-8 км приходится строить ряд из центральных систем (сдвоенных сетей треугольников). В этой сети, уравненной между исходными базисами и азимутами, ошибка логарифма стороны в середине ряда может быть вычислена по приближенной формуле

$$m_{lg\ s_{r/2}}^2 = \frac{r+1}{2} m_{lg\ b}^2 + \frac{r+3}{2} m^2 \delta^2,$$

где r - число центральных систем, δ - среднее значение перемены логарифма связующего угла (при угле в 60° $\delta = 1,22$).

При проложении взамен триангуляции полигонометрических ходов сеть строится в виде замкнутых полигонов со сторонами 1,5-2 км, параллельными координатным осям. Для четырех смежных полигонов, показанных на рис. 6.2, средние квадратические ошибки координат пунктов относительно центральной узловой точки могут быть вычислены по формулам

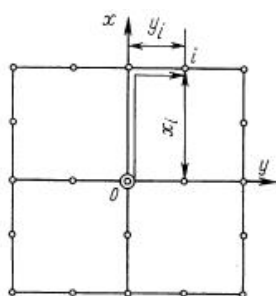


Рис.6.2

$$\left. \begin{aligned} m_{x_i}^2 &= 0,65 m_s^2 i_x + 0,57 m_\beta^2 \frac{s^2}{\rho^2} i_y^2; \\ m_{y_i}^2 &= 0,65 m_s^2 i_y + 0,57 m_\beta^2 \frac{s^2}{\rho^2} i_x^2; \end{aligned} \right\}$$

где m_s - ошибка измеренных линий, i_x и i_y - номер определяемого пункта по оси x и y относительно исходного, s - длина линии, m_β - ошибка измерения угла.

Геодезическая основа 4 класса, построенная на крупных промышленных площадках в виде рядов триангуляции или полигонов светодальномерной полигонометрии, по своей точности удовлетворяет требованиям съемки масштаба 1:500 и основных разбивочных работ.

Нивелирные сети. На крупных промышленных площадках высотному составу составляют полигоны нивелирования III класса, прокладываемые по периметру территорий основных сооружений. Для съемочных и разбивочных работ высотная сеть сгущается ходами нивелирования IV класса.

Нивелирная сеть уравнивается как свободная. Нивелирные ходы и полигоны IV класса увязываются между пунктами III класса. Для получения высот в Балтийской системе сеть привязывают к пунктам государственного нивелирования.

По точности нивелирные сети проектируют с таким расчетом, чтобы на площадках основных сооружений и трассах ливневых коллекторов обеспечивался вынос проектных высот смежных точек со средней квадратической ошибкой не более 2-3 мм.

Для наблюдений за осадками фундаментов сооружений во время строительства и в начальный период эксплуатации развиваются локальные высокоточные сети с ошибкой измерений превышений на станции порядка 0,1-0,2 мм.

На площадках основных промышленных сооружений разбивочная основа создается в виде геодезической строительной сетки, координатные оси которой строго параллельны главным осям сооружений. На различных локальных площадках промышленногородского комплекса строительная сетка может проектироваться в различных системах координат и разной ориентировкой осей. Связь этих систем в пределах всей площадки осуществляется путем привязки к пунктам геодезической основы.

На больших площадках строительную сетку обычно создают методом редуцирования, который включает: 1) вынесение в натуру проектного направления осей сетки; 2) приближенную разбивку пунктов сетки заданной плотности с точностью теодолитного хода. Временное закрепление пунктов; 3) развитие по приближенным пунктам сетки угловых сетей для точного определения координат этих пунктов; 4) уравнивание сетей. Вычисление для каждого пункта элементов редукции; 5) редуцирование на местности пунктов сетки в проектное положение. Окончательное закрепление пунктов; 6) контрольные измерения линейных и угловых элементов сетки. Оценка точности построения строительной сетки.

Главные и габаритные оси промышленных сооружений разбивают в натуре по проектным координатам от пунктов строительной сетки способом прямоугольных координат с точностью порядка 1/5000.

При разбивке крупной установки от разных пунктов строительной сетки ошибка в расстоянии между габаритными осями составит

$$m^2 = m_A^2 + m_N^2 + m_{A,N}^2 + 2m_{\Phi}^2,$$

где m_A и m_N – ошибки вынесения в натуру габаритных осей от пунктов сетки A и N способом прямоугольных координат, m_{Φ} – ошибка фиксирования точек осей, $m_{A,N}$ – ошибка – взаимного положения пунктов сетки A и N (в мм).

Для разбивки фундаментов сооружения от габаритных осей строят горизонтальную обноску и по ней створно-линейным способом от исходных осей разбивают основные строительные оси. Разбивка осей по обноске ведется компарированными на плоскости шкаловыми лентами или рулетками с учетом всех поправок измерений. Точность отложения проектных расстояний по обноске в зависимости от вида сооружения может быть 1/10 000-1/25 000, при этом производят взаимную увязку смежных осей со средней квадратической ошибкой 1-2 мм.

Основные оси фиксируют на обноске и закрепляют грунтовыми знаками, штриховыми открасками на существующих зданиях и сооружениях. По мере строительства фундаментов знаки закрепления осей переносят во внутрь зданий.

От основных осей ведут детальную разбивку котлованов, опалубки осей фундаментов, коммуникаций. Наиболее ответственной из этих работ является разбивка и выверка анкерных устройств и опорных плит для монтажа строительных конструкций и технологического оборудования. Детальные разбивочные работы ведутся струнным способом, оптическим визированием или при помощи лазерных визиров с допускаемым отклонением от проектных осей в среднем 2-3 мм. По высоте точки задаются геометрическим нивелированием примерно с такой же точностью.

ВЫВЕРКА ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ

При установке подкрановых путей в проектное положение и периодических выверках в процессе эксплуатации предъявляются геометрические требования к плано-высотному положению осей путей. Каждая из ниток путей должна быть прямолинейной и горизонтальной; оси обеих ниток должны быть параллельными, лежать на одном высотном уровне и находиться на расстоянии, равном длине пролета мостового крана.

Эти требования должны выполняться с допускаемым отклонением δ от проектного положения 15 мм, а в расстоянии между осями путей – 10 мм. Это значит, что средние квадратические ошибки разбивки каждой из ниток подкрановых путей и их высотной установки должны быть $m = 1/5 \delta$ и составлять не более 3-2 мм.

При монтаже подкрановых путей проектную ось рельсов выносят при помощи теодолита на верх колонн и фиксируют через 60-80 м на небольших кронштейнах, приваренных примерно на 1 м выше путей. Между зафиксированными точками натягивают струну (диаметр 0,3-0,5 мм) и по ней при помощи легкого передвижного отвеса фиксируют плановую установку подкрановых балок и рельсов. Эта ось может быть задана на каждой колонне также теодолитом или лазерным визиром.

Так как точность этих работ составляет, как указывалось, 2-3 мм, то необходимо весьма тщательно центрировать приборы и визирные марки на знаках, закрепляющих проектные оси, применяя по возможности оптические центриры. Для уменьшения влияния ошибок разбивки основных осей и их переноса на верх подкрановых балок иногда в натуре разбивают только ось

одной рельсовой нитки. Ось второй нитки определяют путем поперечных линейных промеров от первой.

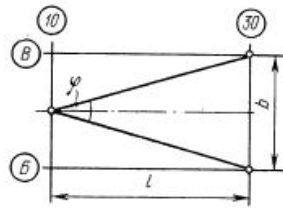


Рис.6.3

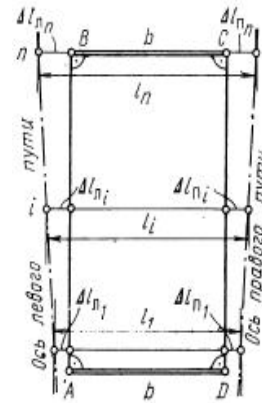


Рис.6.4

Для высотной установки производят нивелирование подкрановых опорных площадок колонн, поднимая нивелир вверх на консоль или на специально устроенную площадку. Высоту передают вверх от ближайшего репера. По результатам этого нивелирования составляют продольный профиль, на основании которого рассчитывают толщину металлических подкладок для каждой стальной колонны или толщину цементной подливки для железобетонных колонн. Плановое смещение подкрановых балок можно регулировать толщиной прокладки. При плановой выверке смонтированных подкрановых путей в каждом пролете измеряют (шкаловой лентой или компарированной на весу рулеткой) расстояние между осями рельсовых ниток. Если это расстояние больше длины мерного прибора, то промеры производят по настилу вблизи пола между нитями отвесов, опущенных с осей подкрановых путей, или между точками, заданными оптическим проектирующим прибором.

Расстояние между двумя нитками подкранового пути b может быть также определено параллактическим способом. Из рис. 6.3 следует, что

$$b = 2l \operatorname{tg} \varphi/2.$$

Необходимая точность измерений может быть подсчитана по формуле

$$m_b^2 = b^2 \left(\frac{m_l}{l} \right)^2 + l^2 \left(\frac{m_\varphi}{\rho''} \right)^2.$$

Приняв среднюю квадратическую ошибку $m_l = 2$ мм при равном влиянии источников ошибок получим

$$\frac{m_l}{l} = \frac{2}{\sqrt{2} b} \quad \text{и}$$

$$m_\varphi = \frac{2\rho''}{\sqrt{2} l}.$$

Расстояние между осями подкрановых путей можно определить способом бокового нивелирования относительно закрепленных на полу параллельных осей AB и CD (рис. 6.4). Если измеренное расстояние (базис) между параллельными осями b , то искомое расстояние li между осями рельсовых ниток

$$li = b + \Delta li_l + \Delta li_p,$$

где Δli_l и Δli_p - отсчеты по горизонтальным рейкам, установленным в точке i левой и правой нитки.

При достаточно точном измерении базиса ошибка в определении расстояния l составит

$$m_{li} = m_{\Delta l} \sqrt{2} \quad \text{или}$$

$$m_{\Delta l} = m_{li} / \sqrt{2},$$

где $m_{\Delta l}$ - ошибка бокового нивелирования.

Для высотной выверки путей нивелируют каждую рельсовую нитку, определяя с точностью до 1-2 мм высоты на всех колоннах и в середине пролета между ними. Нивелир устанавливают подъемными винтами на площадке противоположного подкранового пути или на мостовом кране. При установке нивелира на полу используют специальные подвесные рейки, закрепляемые на выверяемых точках пути. Для контроля нивелирование выполняют в прямом и обратном направлениях или по замкнутым полигонам.

ВЫВЕРКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Плановая установка промышленного оборудования в проектное положение производится главным образом струнным и струнно-оптическим способами со средней точностью порядка 0,5-1 мм. Исполнительную выверку установленных агрегатов ведут способом оптического визирования.

Установку узлов и плоскостей на проектную высоту обычно выполняют точным геометрическим нивелированием, а горизонтальность опорных частей - по накладному уровню или гидростатическим прибором.

Вертикальность конструкций выверяется при помощи теодолита или зенит-прибора.

Установка и выверка вращающихся печей. 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 решетчатой фундаментной раме, закрепленной анкерными болтами в фундаменте.

Ось вращения печи наклонена к горизонтальной линии на небольшой расчетный угол (1,5-2°).

При монтаже вращающейся печи добиваются выполнения ряда геометрических условий: 1) ось вращения печи и образующая ее смонтированной боковой поверхности должны представлять прямую линию и находится 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 расчетному 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 1/10000-1/15000.

Оси роликовых опор устанавливают с допускаемым 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 - короткобазисным методом или высокоточными дифференциальными 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 съемках контролируют проектные высоты, положение продольных и поперечных осей, диаметры опорных колец со средней квадратичной ошибкой не более 0,5 мм.

В процессе работы нагруженной печи происходит деформация системы «вращающаяся печь-фундамент». За счет динамических усилий и термических влияний прямолинейные оси системы приобретают вид некоторых кривых. Для выверки работающих печей создают закрепленный створ, примерно параллельный оси печи, и от пунктов этого створа измеряют расстояния (ординаты) Y_i до центров колец на всех опорах.

Если 1-й и n-й центры колец на первой и последней опорах, то отклонение центра Δy_i (искривление оси печи) на некоторый i-й опоре на прямой $l.n$ находят по принципу прямого интерполирования

$$\Delta y_i = (y_i - y_1) + (y_n - y_i) \cdot \frac{l_{1,i}}{l_{1,n}},$$

где y_1, y_i, y_n - ординаты на пунктах 1, i, n; $l_{1,i}, l_{1,n}$ - расстояния между этими пунктами.

Для измерения ординат разработан специальный прибор, состоящий из подвижного обратного оптического центрира и подвижной визирной марки.

Для повышения точности измерения выполняют в прямом и обратном направлениях при четырех положениях печи. Одновременно с достаточной точностью определяют радиусы опорных колец с учетом поправки за температуру.

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, при этом для выверки агрегата на ходу нивелир должен быть снабжен устройством, позволяющим перемещать горизонт инструмента по высоте для наведения средней нити (биссектора) на нижнюю точку опорного кольца.

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 желательно применять нивелиры с компенсаторами.

Строительство сооружений **башенного типа** большой высоты (промышленных и дымовых труб, градирен, радио- и телебашен) требует сложного геодезического обеспечения. При

строительстве башен на большой высоте появляются значительные колебательные движения и наклоны сооруженной части башни под действием ветровых нагрузок и температурных факторов (в результате одностороннего обогрева солнечными лучами).

Эти колебания и односторонние периодические смещения приходится учитывать при геодезической подготовке к строительству следующих ярусов. Кроме этого, под действием возрастающей нагрузки от массы сооружения могут появляться неравномерные осадки грунтов основания и возникать крены и деформации выстроенной части сооружения, что необходимо учитывать при разработке проекта производства геодезических работ.

Основной задачей инженерно-геодезических работ в период строительства башенных сооружений является: во-первых, соблюдение вертикальности оси сооружения, во-вторых, обеспечение в пределах проектной точности геометрической формы поясов, колец, ярусов, чтобы в горизонтальных сечениях их отсутствовал эксцентриситет, и в-третьих, выявление и изучение характера деформаций сооружения как во время строительства, так и в течение всего периода эксплуатации. Для суждения об устойчивости сооружений башенного типа значительной высоты необходимо иметь надежные сведения о величинах и динамике развития смещений элементов конструкций, их кренов, изгибов и осадок. Значимость и ответственность наблюдений за деформациями геодезическими методами повышается с увеличением высоты сооружений.

Промышленные дымовые трубы по конструктивно-геометрической форме сооружают цилиндрическими при высоте до 60 м и коническими - при большей высоте. Диаметр цилиндрических труб D выбирают обычно, исходя из условия $H/D < 20$, где H – высота трубы. В конических трубах уклон образующей верхней поверхности на высоте до 80 м принимают 2 %, а далее проектируют переменный уклон в интервале 2-1,5 %.

Высота дымовых труб достигает 300 м и более. Они строятся как одноканальными, так и многоканальными. Башенные градирни предназначены для охлаждения воды на теплоэлектроцентралях и строятся гиперболической формы высотой до 90 м и более с диаметром кольцевого фундамента 76,5 м. Внешний диаметр оболочки на высоте опорного кольца составляет 72,8 м, горловины 40,6 м, устья 42,4.

Обычно градирни строят блоками, располагая в каждом по 3-4 башни.

Рудничные башни-копры сооружают над стволами шахт для подъема руды, угля или породы и спуска оборудования и строительных материалов. Они имеют круглую или прямоугольную форму и высоту до 85 м.

Ректификационные колонны предназначаются для разделения жидких химических смесей на составные части. Диаметр колонн достигает 6 м, а высота 160 м. Фундамент закладывают на глубину 8 м.

Радио- и телебашни строят высотой 300-500 м и более. Отношение диаметра башни к ее высоте в зависимости от конструкции и геологических характеристик основания колеблется от 1:15 до 1:26. Останкинская телебашня в Москве имеет высоту 536 м, фундамент башни выполнен в виде железобетонной плиты, заложенной на глубину 5 м.

При строительстве сооружений башенного типа часто используется метод наращивания, когда производится последовательная установка верхних элементов на нижние. При этом монтаж ведется в зависимости от конструкции сооружения и применяемых подъемных средств как конструктивными элементами, так и крупными блоками.

При строительстве башен из монолитного железобетона, используют подъемно-переставные опалубки. За последние годы широкое распространение получили методы строительства дымовых труб и градирен с применением скользящих опалубок, что позволяет возводить 5 м сооружения в сутки.

При установке ректификационных колонн часто прибегают к методу монтажа сооружения в готовом виде, при котором корпус сооружения полностью собирается в горизонтальном

положении, а затем поднимается в проектное вертикальное положение.

Для строительства сооружений башенного типа значительной высоты возникает необходимость в создании двух ступеней геодезического обоснования: опорной сети и рабочей технологической основы. Первая ступень обоснования создается до начала строительства, а вторая - после завершения нулевого цикла.

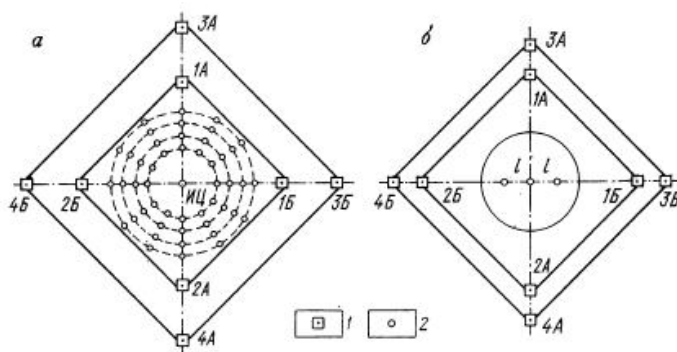


Рис.6.5

Опорная сеть используется для разбивки в натуре положения высотных сооружений, наблюдений за их деформациями, кренами, колебаниями, проведения контрольных исполнительных измерений. Пункты этой сети являются исходными для построения рабочей технологической основы. Их целесообразно азвестить по направлениям главных осей сооружения на равных расстояниях от его проектного центра (рис. 6.5, а).

Пункты опорной сети 1А, 2А, 1Б и 2Б, закрепляющие направление главных осей, необходимо закладывать на расстоянии от исходного центра (ИЦ) не меньше, чем полуторная высота строящегося сооружения. Контрольные пункты 3А, 4А, 3Б и 4Б устанавливают на расстоянии 20-50 м от пунктов опорной сети. Чаще всего применяют опорную сеть в виде центральных систем, состоящих из пяти и более пунктов, положение которых определяют методами триангуляции, трилатерации и линейно-угловых построений.

После завершения работ по строительству фундамента приступают к построению рабочей технологической основы, которая должна обеспечивать возможность переноса осей сооружения на рабочий горизонт методом вертикального проектирования.

Следует иметь в виду, что для сооружений сравнительно небольшой высоты (менее 100 м) и с небольшим поперечным сечением рабочую технологическую основу можно не делать. В этом случае положение сооружения выносится в натуре в период строительства от пунктов опорной сети или от пункта, закрепляющего центр сооружения, методом вертикального проектирования (рис. 6.5, б).

Расположение точек рабочей технологической основы должно обеспечить контроль положения центра сооружения и его осей. Конструкция знаков должна предусматривать возможность использования механических отвесов, оптических или лазерных приборов вертикального проектирования.

Для сооружений с большим поперечным сечением, как, например, телебашни, градирни и т.п., сооружаемых в скользящих опалубках, применяют схему в виде радиально-кольцевой опорной сети. Пункты рабочего технологического обоснования располагаются на концентрических окружностях различных радиусов с центром, совпадающим с центром башни. Пункты опорной сети закрепляются по направлениям радиусов-векторов (см. рис. 28., а). Число радиусов, по которым закрепляются пункты рабочего обоснования, зависит от сечения и высоты башни и соответствует числу используемых секций опалубки или домкратных рам. Радиусы окружностей, по которым располагаются знаки рабочего обоснования, назначают из условия применения при контроле движения опалубки реек длиной 1,5 или 2 м, служащих для определения положения опалубки. Число окружностей вычисляется по формуле

$$n = (R_{\max} - R_{\min})/l,$$

где $R_{\max}$ и $R_{\min}$ - максимальный и минимальный радиусы оболочки башни; l - рабочая длина используемой рейки, равная 1100 или 1600 мм, т. е. на 400 мм меньше всей длины рейки. Величина n округляется до ближайшего большего целого числа.

Разбивка рабочего обоснования выполняется теодолитом путем отложения проектных углов и линий между осями. Направления радиусов задают от начального, расположенного по створу главной оси, с обязательным замыканием горизонта. Для башен с $H < 80$ м углы откладывают со средней квадратической ошибкой 20", а линии - со средней квадратической ошибкой 1 : 5000, для башен с $H > 80$ м соответственно 10" и 1 : 10 000. Одновременно все пункты нивелируют и в дальнейшем с этих пунктов высоты переносят на рабочий горизонт.

После закрепления знаков рабочего обоснования выполняют контрольные измерения. Отклонение отложенных расстояний l между знаками от проектного не должно превышать значений, вычисленных по формуле

$$\Delta l = 3l/T,$$

где T - знаменатель средней квадратической относительной ошибки, с которой выполнялась разбивка положения знаков.

Контроль построения проектных углов целесообразно производить посредством контрольных измерений расстояний между соседними знаками по хордам.

По результатам контрольных измерений составляют исполнительную схему, на которой указывают величины отклонений положения знаков по радиусам и фактические абсолютные высоты.

При строительстве башни с пунктов рабочей технологической основы при помощи приборов вертикального проектирования или тяжелых отвесов задается положение осей и центра сооружения на рабочем (монтажном) горизонте. От осей и центра производится монтаж сооружения и контроль за положением отдельных элементов конструкции.

В проектах и ведомственных инструкциях, как правило, для различных сооружений башенного типа устанавливаются требования к исполнительным съемкам. Для большинства башен съемка поперечных сечений выполняется через 3-5 м. Впоследствии на основании этой съемки составляют исполнительные планы-сечения и вертикальные разрезы сооружения по главным осям.

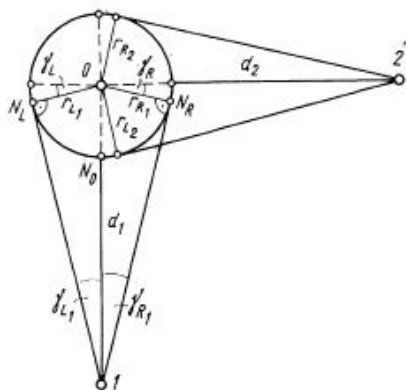


Рис.6.6

по которым вычисляют фактическую величину радиусов

$$r_{R_i} = d \sin \gamma_{R_i}; \quad r_{L_i} = d \sin \gamma_{L_i},$$

где d - расстояние от опорного пункта до центра башни.

Такие измерения производят как минимум из двух опорных пунктов 1 и 2, расположенных на взаимно перпендикулярных осях.

По отклонениям исполнительных радиусов от их проектного значения

$$\Delta r_{R_i} = r_{R_i} - r; \quad \Delta r_{L_i} = r_{L_i} - r$$

судят о точности соблюдения геометрии поверхности на отдельных ярусах и о крене башни.

теодолиты. Для повышения точности измерения малых углов применяют окулярные микрометры. Для измерения линейных уклонов промежуточных точек от заданного створа используют подвижную марку с микрометричным перемещением визирной цели и специальные высокоточные оптические створные приборы - микротелескопы, алиниометры и приборы проверки прямолинейности и соосности (ППС), в которых в качестве отсчетного устройства применяются микрометры с плоскопараллельными пластинами.

Для повышения точности визирования при выполнении створных измерений можно использовать явление муарового эффекта, возникающего при наложении друг на друга двух линейных растров. Один растр представляет собой цель визирной марки, а второй - изображение сетки трубы в плоскости марки.

Линейный растр - это ряд темных прямолинейных полос одинаковой толщины, разделенных светлыми полосами так же одинаковой толщины; в частном случае толщины темных и светлых полос равны друг другу. Если оси растров наклонены на некоторый угол, то возникает муаровый эффект, заключающийся в появлении системы чередующихся светлых и темных полос, параллельных биссектрисе тупого угла пересечения растров.

В способе визирования, разработанном в МИИГАиК, марка выполнена в виде двух наклонных растров, оси которых симметричны и наклонены к оси марки на угол $\beta=90^\circ-\alpha$, где α - угол наклона штрихов растра к горизонту. Оптимальное значение угла α для визирных расстояний от 25 до 200 м равно $78^\circ 41'$ ($\tan \alpha=5,0$).

Перед точным визированием трубу наводят на контрольный биссектор марки, который находится симметрично ее оси. Точное визирование производят путем совмещения муаровых полос левой и правой половин растров, перемещающихся относительно друг друга при смещении марки в направлении, перпендикулярном к визирной оси. Между этими смещениями имеет место зависимость $\Delta = 2\delta \tan \alpha$,

где δ - смещение оси марки с визирной оси трубы; Δ - смещение муаровых полос левой и правой частей растра, соответствующее величине δ .

При весьма благоприятных условиях наблюдений и небольших расстояниях ошибка визирования составляет $m''_{\text{виз}} = 5''/\nu$, где ν - видимое увеличение трубы; l - длина визирного луча.

Основным недостатком оптических труб с растрами является зависимость ширины штрихов растра от длины визирного луча. Чем больше отличается длина визирного луча от расчетной, тем меньше точность визирования.

При выполнении створных измерений способом оптического визирования основной причиной, ограничивающей повышение точности определения нестворностей промежуточных точек створа, является, как и в геометрическом нивелировании, ошибка визирования. В связи с этим в высокоточных створных измерениях используют короткий визирный луч длиной от 10 до 50 м. При этом створ делится на части, а измерения выполняются по той или иной программе, которая выбирается в зависимости от конкретных технических требований и условий.

Кроме того, при створении коротким лучом достигается высокая точность определения взаимного положения смежных пунктов, что, как правило, является одним из важных факторов при установке строительных и технологических элементов в проектное положение.

Расчеты показывают, что оптимальная длина луча зависит главным образом от соотношения ошибок визирования и центрирования и очень мало зависит от длины створа. Ошибки центрирования створного прибора и марок при использовании посадочных втулок и центрировочных шаровых насадок можно уменьшить до $5 \div 10$ мкм. Ошибка визирования высокоточными приборами при благоприятных условиях составляет $0,4''$.

Интерференционный способ. Из интерференционных средств створных измерений остановимся на лазерном интерференционном створофиксаторе, основанном на использовании особенностей формирования изображения источника когерентного излучения зонным и пластинами. Зонные пластины представляют собой длиннофокусные дифракционные линзы. С помощью зонных пластин изображение точечного источника света формируется точно на прямой линии, соединяющей точечный источник света и ось симметрии пластины. При перемещении зонной пластины перпендикулярно к линии створа на величину Δ (рис. 6.7) изображение смещается в ту же сторону на величину $\delta = \Delta \cdot (p+q)/p$. Для выполнения створных измерений используют зонные пластины в виде совокупности прозрачных и непрозрачных полос.

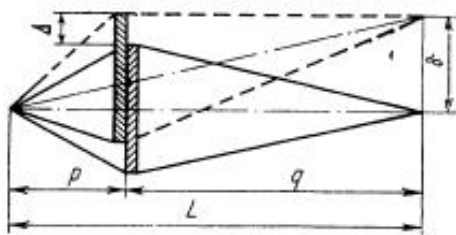


Рис.6.7

Зонная пластина с круговыми зонами формирует изображение точечного источника света в виде круга небольшого диаметра.

Однородная зонная пластина с вертикальными зонами разворачивает изображение источника света в вертикальную линию определенных размеров. Она наиболее проста по конструкции и применяется для измерения одной координаты определяемой точки.

Двумерная зонная пластина используется для измерения двух координат определяемой точки в плоскости, перпендикулярной к линии створа, и представляет собой систему взаимно перпендикулярных накладывающихся одна на другую полос.

Высокоточное нивелирование. При выполнении высокоточных инженерно-геодезических работ, необходимых для строительства и эксплуатации современных прецизионных сооружений, используют геометрическое нивелирование коротким визирным лучом, гидростатическое нивелирование и микронивелирование.

Выполнение геометрического нивелирования коротким лучом в строительно-монтажных и эксплуатационных условиях предусматривает применение малых шкал (линеек); микрометренной нивелирной подставки, позволяющей достаточно точно и плавно регулировать высоту прибора; высокоточных нивелиров по специальной методике измерений и обеспечивает среднюю квадратическую ошибку в измеренном превышении $0,1$ мм и меньше.

Нивелирование на станции выполняют строго из середины. Неравенство плеч на станции при визирном луче до 6 м должно быть менее глубины резкости трубы нивелира с тем, чтобы обеспечивалось четкое изображение задней и передней реек без изменения фокусировки трубы. Например, для нивелира Ni-007 при длине визирного луча 6 м глубина резкости равна примерно 7 см. Неравенство плеч не должно быть более 10 см, а угол $i < 10''$. В том случае, если выполнить геометрическое нивелирование из середины не представляется возможным, необходимо измерить превышение дважды: один раз поставив нивелир ближе к передней рейке, другой раз - ближе к задней рейке.

Нивелирование при двух горизонтах инструмента с обычным штативом весьма трудоемко. Для повышения производительности труда и точности работ целесообразно использовать прецизионную нивелирную подставку (ПНП), с помощью которой можно микрометрично поднимать или опускать нивелир на 100 мм без азимутального разворота.

Наблюдения на станции выполняют по строго симметричной во времени программе, которая предусматривает следующий порядок отсчетов по рейкам: на нечетной станции Z_1 , P_1 , P_2 , Z_2 , на четной P_1 , Z_1 , Z_2 , P_2 . Здесь при использовании одношальных реек Z_1 , Z_2 - отсчеты по штрихам задней рейки соответственно при первом и втором горизонтах инструмента; P_1 , P_2 – отсчеты по штрихам передней рейки при первом и втором горизонтах инструмента. Такая программа наблюдений наиболее эффективно ослабляет действие систематических ошибок.

Для определения превышений на расстояниях до 2 м целесообразно использовать микронивелиры. Они используются при строительно-монтажных, наладочных и юстировочных работах. Микронивелиры используются также для измерения наклонов строительных и технологических элементов.

При монтаже и наладке различных сооружений для передачи плановых координат с одного монтажного горизонта на другой и для проверки положения строительных и технологических конструкций по вертикали применяются механические и оптические центрировочные приборы.