

## Лекция 1. Общие сведения об изысканиях. Задачи и содержание инженерных изысканий.

### Экономические изыскания

Инженерные изыскания заключаются в изучении природных условий района строительства для получения необходимых исходных данных, обеспечивающих разработку технически правильных и наиболее экономически целесообразных решений при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Эти условия исключительно многообразны и относятся ко всем геосферам — физическим оболочкам Земли. Исследованиями каждой из оболочек занимается соответствующая область науки: исследованиями атмосферы — *метеорология* (физика атмосферы) и *климатология*, гидросферы — *гидрология* и *гидрография*, литосферы (земная кора) — *геология* и ее составные части (геохимия, минералогия, петрография, динамическая геология, историческая геология, инженерная геология и др.), биосферы — *геоботаника*, *зоогеография* и т. д. Кроме указанных внешних оболочек Земли — геосфер, выделяют также криосферу — прерывистую ледяную оболочку.

Размеры, форма Земли и отдельных участков земной поверхности изучаются в *геодезии*, а способы изображения их на картах — в *картографии*. Изучением рельефа земной поверхности занимается *геоморфология*. Физические явления, происходящие в литосфере, гидросфере и атмосфере, рассматривают в *геофизике*.

В процессе инженерных изысканий изучают физико- и экономико-географические условия возведения сооружений и во всех случаях решают задачи целесообразного использования и преобразования этих условий. Экономическая эффективность создания сооружений устанавливается в процессе *инженерно-экономических изысканий*.

Природные (естественные) условия возведения сооружений определяются в процессе *технических изысканий*. Однако деление инженерных изысканий на экономические и технические условно. Результаты технико-экономических расчетов учитывают при выполнении различных видов технических изысканий, классифицируемых по характеру изучаемых условий на инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-гидрологические, инженерно-геоморфологические, инженерно-климатологические, почвенные, геоботанические, ихтиологические, санитарно-технические и пр.

Чрезвычайно важное значение имеют *инженерно-геодезические* изыскания, которые предшествуют и сопутствуют техническим и экономическим изысканиям.

Инженерно-геодезическим изысканиям в свою очередь предшествуют *инженерно-геологические* изыскания. Например, выбор конструкций геодезических знаков и центров, реперов, способов их закладки, постановки гравиметрических наблюдений, выбор метода выполнения топографической съемки.

При нивелировании рек, геодезических наблюдениях за переработкой берегов водохранилищ проводят *инженерно-гидрологические изыскания*.

Одним из видов инженерно-геодезических изысканий является рекогносцировка (предварительное обследование местности), которая выполняется перед началом геодезических и топографических работ.

Данные инженерно-геодезических изысканий не только необходимы для других видов изысканий, но и сами дополняются ими.

Инженерные изыскания выполняют при возведении всех инженерных сооружений, созданию которых предшествует инженерное проектирование, а также при изучении природных условий с целью их инженерного преобразования.

Инженерным изысканиям сопутствуют также сбор и обработка сведений экономического характера, решение вопросов, связанных с отводом земельных участков для строительства, оценка сносимых сооружений, согласование с разными организациями возможных вариантов расположения сооружений и др. Таким образом, инженерные изыскания выходят далеко за пределы изучения только природных условий района строительства.

У нас в стране создана единая служба инженерных изысканий. Основной объем работ выполняют проектно-изыскательские организации, обслуживающие различные виды строительства.

Вид строительства предопределяет характер инженерных изысканий. Изыскания могут быть городскими, промышленными, транспортными, автомобильными и железными дорог, воздушных путей сообщения, трубопроводного транспорта, мостовых переходов, гидротехническими, ирригационными, осушительными, санитарно-техническими, энергетическими.

Различают *комплексные инженерные изыскания*, выполняемые для нескольких отраслей строительства, и *специализированные инженерные изыскания*, относящиеся к одной отрасли. Степень специализации определяется характером дифференциации отрасли строительства. Например, изыскания для промышленного и гражданского строительства могут быть и комплексными и специализированными.

Городские инженерные изыскания являются комплексными, так как они охватывают все основные зоны города (промышленную, селитебную, коммунальную, складскую) и его транспортные артерии. Однако они включают в себя и специализированные изыскания, выполняемые при возведении отдельных зданий и сооружений. Изыскания водных путей сообщения (судоходные, лесосплавные, портовые и т. д.) в равной мере относятся как к транспортным, так и к гидротехническим изысканиям, которые в свою очередь могут быть комплексными и специализированными.

По объектам различают морские, озерные, речные изыскания, изыскания водохранилищ, болот, ледников, подземных вод, водоразделов и др.

В зависимости от конфигурации района изысканий различают линейные и площадные инженерные изыскания.

Все инженерные сооружения выполняют в соответствии с *проектом*—комплексом технических документов, содержащих чертежи, расчеты, макеты, описания и обоснования, позволяющие судить о технических, эксплуатационных, экономических и художественных качествах возводимых сооружений. Созданию крупных уникальных сооружений предшествует составление *технико-экономического доклада (ТЭД)* и *аван-проекта*, разработка *эскизного проекта*.

В настоящее время проектирование осуществляется в две стадии – технический проект и рабочие чертежи. Практикуется одностадийное проектирование – составление технико-рабочего проекта.

Для зданий и сооружений массового строительства составляют  *типовые проекты*, в которых используют типовые унифицированные конструктивные элементы заводского изготовления, указанные в номенклатуре, помещаемой в каталогах индустриальных строительных изделий и деталей. Типовой проект составляют для определенных географических условий, поэтому его нужно привязывать к конкретному месту строительства.

*Индивидуальные проекты* составляют только для зданий и сооружений с оригинальным функциональным процессом или сложным конструктивным решением.

Для производства инженерных изысканий заказчик — генеральная проектная организация - разрабатывает *техническое задание*, в котором приводит исходные данные и содержание необходимых изыскательских работ по их видам. Изыскательские подразделения (отдел, экспедиция, отряд, партия, группа) на основе такого задания разрабатывают программу или проект инженерных изысканий.

В зависимости от стадии проектирования инженерных сооружений выделяют разные этапы изысканий. Для разработки ТЭД и составления технико-экономического обоснования (ТЭО) выполняют *проблемные изыскания*. Технический проект составляется на основании *предварительных* (облегченных) *изысканий*, а для составления рабочего проекта производят *окончательные* (подробные) *изыскания*.

При двухстадийном проектировании выполняют предварительные и окончательные изыскания, однако во многих случаях ограничиваются окончательными изысканиями, обеспечивающими составление технического и рабочего проектов. Так же поступают при одностадийном проектировании — составлении технико-рабочего проекта.

Перед производством строительных работ и в процессе их выполнения в ряде случаев строительная или проектная организация проводит *предпостроечные* и *строительные изыскания*. Они необходимы при большом промежутке времени между завершением проектирования и началом строительных работ. Предпостроечные изыскания используют для разработки или уточнения *проекта производства работ (ППР)*. Строительные изыскания осуществляют при изменении этого проекта и сложных разбивочных работах. В процессе эксплуатации сооружений, при ремонте и реконструкции их эксплуатационной или проектной организацией производят *эксплуатационные изыскания*.

Основной задачей инженерных изысканий, выполняемых для составления *проектов районной планировки*, является рациональное размещение всех видов строительства в планируемом районе исходя из наиболее эффективного использования природных ресурсов. Такие

проекты составляют для отдельных промышленных, сельскохозяйственных, курортных и пригородных районов на основе перспективных планов развития народного хозяйства страны и схем перспективного размещения производительных сил республик, краев и областей.

При выполнении изысканий различают территории *неизученные*, где не производились геодезические, топографические, инженерно-геологические, гидрологические и другие изыскания, *частично изученные*, для которых нет топографических карт нужного масштаба, а данные изысканий являются неполными; *изученные*, для которых имеются материалы инженерных изысканий прошлых лет, хотя И нуждающиеся в обновлении, проверке и уточнении.

Районы изысканий по сложности делят на три категории. К I категории относят ровную или слабо пересеченную местность, территорию с пересеченным рельефом, но с крупными пологими склонами, открытую, незаболоченную или с легкопроходимыми болотами. Ко II категории относят местность с пересеченным рельефом, открытую или частично покрытую лесом, незаболоченную или с легко проходимыми болотами, с речными поймами, имеющими старицы и озера, с поливными зонами, частично застроенную. К III категории относят горную местность, покрытую лесом, заболоченную, застроенную.

Деление на три категории соблюдается и в отношении сложности геологического строения: I - простое геологическое строение без современных физико-геологических явлений, II - со сложными грунтами, разными по литологическому составу и несущим свойствам, III - со сложным геологическим строением и резким проявлением современных физико-геологических явлений.

Реки также делят по сложности изысканий на три категории: I — малорукавные с устойчивым руслом, II — с двух-трехрукавным руслом и значительной его деформацией, III — с широко развитой поймой и многочисленными сильно размытыми террасами.

Инженерные изыскания делятся на *подготовительные, полевые и камеральные*. В процессе подготовительных работ производят сбор имеющихся материалов топографической, геологической, гидрологической и другой изученности территории изысканий. Собирают имеющиеся топографические карты разных масштабов, каталоги координат и высот геодезических пунктов, геологические карты, разрезы, профили, данные гидрологических наблюдений и т. п. В случае ранее проведенных изысканий в соответствующих организациях получают отчет о выполненных ранее работах. Основной объем изыскательских работ отводится полевым инженерным изысканиям, которые, в зависимости от сложности сооружения, характера местности и климатических условий, могут длиться два, три и более года. В процессе камеральных работ производят обработку полученного в полевых условиях материала и

На первых этапах проектирования сооружения стремятся к минимальному выполнению полевых работ и возможно большему использованию ранее собранных сведений о природных и экономических условиях района возведения сооружения. В процессе окончательных изысканий доминирующей является полевая часть их.

**Экономические изыскания** выполняют с целью получить характеристику хозяйственно-экономического состояния района будущего строительства, экономическое обоснование проекта и составить проект хозяйственного преобразования территории в связи с возведением проектируемого сооружения. Эти изыскания проводятся на основании материалов общесоюзных планов развития народного хозяйства и материалов перспективного планирования центральных и местных органов. В некоторых случаях используются также материалы ведомственного планирования.

Экономические изыскания играют решающую роль при выборе площадки под строительство. При этом исследуются вопросы близости площадки к источникам сырья, наличие существующих транспортных и подземных сетей, местных строительных материалов, материально-технической базы, энергии, воды и т. п.

Экономические изыскания делят на комплексные, проблемные, титульные, внутриобъектные.

*Комплексные* экономические изыскания выполняют при решении комплекса вопросов, связанных с будущим сооружением. Например, при строительстве автомобильного предприятия возникают проблемы создания завода синтетического каучука, жилого поселка, обеспечения предприятия сырьем, снабжения его электроэнергией, водой и т. п.

*Проблемные* экономические изыскания рассматривают несколько вариантов решения одной и той же народнохозяйственной задачи. В процессе проблемных изысканий указывают только экономический район расположения будущего сооружения. Например, при строительстве дороги ее начальный и конечный пункты не привязываются конкретно к местности, а задаются только

взаимосвязанные экономические районы. Затем намечают несколько вариантов и выбирают оптимальный в экономическом отношении вариант.

Комплексные и проблемные изыскания выполняют до начала проектирования на стадии ТЭД и ТЭО.

*Титульные* (объектные) экономические изыскания проводятся для определенного объекта с учетом конкретного размещения его на местности. Титульные экономические изыскания выполняются на стадии технического проекта и предшествуют техническим изысканиям.

Как правило, технические изыскания выполняют после того, как известно примерное направление трассы или расположение проектируемого объекта на местности. Однако если в процессе предварительных технических изысканий возникает несколько вариантов, то окончательное решение принимается на основе сравнения экономических показателей по каждому варианту. Такое сравнение называют *внутриобъектными изысканиями*.

Для строительства линейных сооружений возникает необходимость в *экономическом трассировании*, т. е. в выборе трассы дороги на основании сравнения общих стоимостных показателей нескольких вариантов. В процессе экономического трассирования выявляются основные опорные экономические центры (промышленные предприятия, населенные пункты), через которые должна проходить проектируемая линия. В дальнейшем при экономических изысканиях положение линии не детализируют (это и невозможно без технических изысканий), а намечают лишь примерное направление проектируемой трассы.

По каждому из рассматриваемых вариантов устанавливают так называемый *район тяготения* — территорию, охватывающую совокупность экономических центров (существующих или вновь зарождающихся), полностью или частично обслуживаемых дорогой на расчетный срок.

Существует два способа определения района тяготения: аналитическим и графический. *Аналитический способ* учитывает основные экономические, транспортные и топографические факторы. Он основывается на сопоставлении стоимости перевозки 1 т груза по проектируемой и одной из существующих линий и является более точным по сравнению с *графическим способом*, который применяется для приближенного нахождения района тяготения. Последний основан на определении района тяготения геометрическими методами.

Кроме расчета грузовых перевозок, экономическими изысканиями должны определяться ожидаемые размеры пассажирских перевозок. Эти расчеты носят приближенный, ориентировочный характер.

Большое значение имеют экономические изыскания при проектировании городов и рабочих поселков. Наиболее значительны они на стадии разработки генерального проекта планировки (определяются численность населения, районы первоочередного строительства, уровень развития транспорта, промышленности и пр.). На стадии проекта детальной планировки уточняются вопросы, рассматриваемые на предыдущей стадии, но для отдельного квартала, площади, улицы. При разработке плана застройки экономические изыскания выполняются только для технического проекта. Они служат исходными данными для разработки технико-экономической части проекта застройки и проекта организации строительства (ПОС).

В процессе экономических изысканий используют картографические материалы. По картам намечают примерное расположение трасс дорог, ЛЭП, находят промышленные предприятия и населенные пункты, попадающие в зону затопления при строительстве водохранилищ, и т. п.

Для комплексных и проблемных экономических изысканий применяют карты масштабов 1:500 000 - 1:1 000 000, для титульных 1:100 000 — 1:200 000, для внутри объектных 1:25 000. В некоторых случаях, например при проектировании населенных пунктов, используют опорный план города в масштабе 1:5000 или 1:10 000, план территории застройки в масштабе 1 : 2000 и карту прилегаемого к городу района в масштабе 1 : 25 000 — 1 : 50 000. Чрезвычайно ценными для экономических изысканий являются экономические карты, на которых указывают грузонапряженность дорог, объем перевозок, вид перевозимых материалов, промышленные центры и т. п.

К экономическим изысканиям относятся расчеты, связанные с определением наиболее выгодного расположения сооружения на местности. Для этого вычисляют *прямые затраты*, которые складываются из стоимости рабочей силы, стройматериалов, транспорта, электроэнергии и других расходов, а также *дополнительные*, которые в отдельных случаях могут достигать 50% прямых затрат.

Дополнительные затраты для каждого возводимого сооружения идут на покрытие ущерба, связанного с отчуждением территории при изъятии ее под строительство из того фонда, где она

ранее находилась. Особенно большие дополнительные затраты возникают при создании водохранилищ. В этом случае часть сельскохозяйственных земель пропадает безвозвратно. Из зоны затопления необходимо переносить населенные пункты, промышленные предприятия и т. п. Необходимы дополнительные средства на сооружение защитных дамб, санитарно-гигиенические мероприятия и т. д. Кроме того, в результате заполнения водохранилища наблюдается подъем грунтовых вод, что приводит к подтоплению сооружений. Дополнительные затраты идут также на расчистку ложа водохранилища.

При подсчетах дополнительных затрат пользуются топографическими картами масштабов 1:50 000 - 1:10 000.

В экономических изысканиях существенное место отводится оценке экономической эффективности капитальных вложений, которая производится, как правило, на стадии титульных экономических изысканий. Для определения экономической эффективности сравнивают два варианта будущего сооружения. Для каждого варианта определяют капитальные и эксплуатационные затраты. При правильном решении вопроса чем больше будут капитальные расходы, тем меньше должны быть эксплуатационные. Затем подсчитывают коэффициент экономической эффективности  $E$ . Экономическая эффективность определяется расчетным сроком, в течение которого дополнительные вложения окупаются сбережениями на себестоимости продукции. Наиболее эффективными считаются те варианты затрат, срок окупаемости которых не превышает заданный нормативный срок. Расчетный срок окупаемости

$$T_p = I/E.$$

Сопоставлением расчетного срока окупаемости с нормативным оценивается экономичность вариантов и принимается решение о выборе одного из них. Так, например, если расчетный срок оказывается больше нормативного, то выбирают вариант с большими капитальными вложениями.

При экономических изысканиях, кроме указанных выше, решают ряд других задач (выбор направления дороги, проектирование подъездных путей к магистральной дороге, подсчет грузовой работы и др.). Во всех случаях стараются обеспечить минимум затрат.

Широкое применение в экономических изысканиях находят методы прикладной математики, в частности, линейного, динамического и стохастического программирования.

## **Лекция 2. Общие сведения об инженерных сооружениях, их классификация. Требования, предъявляемые к инженерным сооружениям**

К инженерным сооружениям относят различного назначения здания, дорожно-транспортные, гидротехнические сооружения, инженерные сети, специальные сооружения и др.

Здания — это сооружения, которые имеют помещения, предназначенные для жилья, культурно-бытовых или производственных целей.

Различают промышленные, гражданские и сельскохозяйственные здания. К промышленным относят производственные, вспомогательные, энергетические, складские и другие здания. Гражданские здания делят на жилые (жилые дома, общежития, гостиницы) и общественные (клубы, театры, школы, больницы, магазины и пр.). Сельскохозяйственными называют здания для содержания скота и птицы, хранения и ремонта сельскохозяйственной техники и др.

По материалу, применяемому для возведения стен, здания делят на каменные, кирпичные, бетонные, железобетонные, деревянные и т. д. По этажности различают здания одноэтажные и многоэтажные. Здания могут быть бесподвальными и с подвалами (помещениями с полами, заглубленными ниже отмотки более чем на половину высоты помещения), бесчердачными и чердачными, монолитными и сборными.

Здания также различают по их архитектурно-конструктивным и объемно-планировочным решениям. Жилые здания имеют малую ширину, небольшую высоту этажей, их фасады насыщены окнами и балконами, основным структурным элементом их является небольшое жилое помещение — комната. Общественные здания имеют большие окна или глухие стены, значительную ширину, высокие и часто неравные по высоте этажи. Их структурный элемент — большие помещения залы.

Для промышленных зданий характерны большие размеры, большие окна, специальные технологические устройства. Сельскохозяйственные здания близки к промышленным, но имеют обычно меньшие размеры.

Приведенное деление в некоторых случаях условно, так как одно и то же сооружение может быть отнесено как к одной, так и к другой группе. Например, судоходные каналы и шлюзы отнесены к транспортным сооружениям по своему назначению, вместе с тем они являются

гидротехническими сооружениями, поскольку связаны с использованием воды. Кроме того, ряд инженерных сооружений вообще не подходит ни под одну из названных категорий. В зависимости от материалов, из которых они возведены — на металлические, железобетонные, бетонные, кирпичные, деревянные, грунтовые и др.

В зависимости от положения уровня поверхности земли или воды — на надземные, надводные, подводные, периодически затопляемые.

В зависимости от срока службы — на временные и постоянные. Постоянные сооружения возводятся на длительный срок эксплуатации, например, железные дороги, заводы, фабрики, электростанции и др. Временные сооружения строятся на вполне определённый небольшой период, это, например, дамбы обвалования и перемычки котлованов строящихся гидротехнических сооружений, подсобные помещения строительных площадок и др.

В зависимости от геометрической формы в плане — на линейные и площадные. К линейным сооружениям относятся дороги, линии электропередач, трубопроводы, каналы, линии связи. К площадным сооружениям относятся узлы гидротехнических сооружений, комплексы промышленных сооружений и населённых мест, аэропорты и др.

Инженерные сооружения на промышленных площадках должны отвечать требованиям: технологии; надёжности и долговечности сооружения; промышленных методов возведения, а также бесперебойной и безопасной эксплуатации сооружения; эстетическим и по созданию нормальных условий труда.

Технологические требования к объёмно-планировочным и конструктивным решениям сооружений определяются в задании на строительное проектирование. Состав и объём задания технологов на проектирование строительной части различны для каждого вида инженерных сооружений

Долговечность сооружений обеспечивается расчетом по второй группе предельных состояний, мероприятиями по антикоррозионной защите в соответствии со СНиП 2.03.11-85, а также надёжной гидроизоляцией подземных частей сооружений, выполняемой по СН 301-65\*. При этом выбор материалов и конструкций должен соответствовать требованиям технических правил по экономному расходованию основных строительных материалов ТП 101-81\*.

При проектировании инженерных сооружений на данной площадке или в промузле, нерационально создавать специальную номенклатуру сборных железобетонных конструкций для каждого вида сооружений. Целесообразно применять конструкции, имеющиеся в номенклатуре изделий для производственных и общественных зданий или родственных инженерных сооружений с сохранением габаритных размеров и изменением армирования. Требования по бесперебойности и безопасной эксплуатации обеспечиваются технологической и строительной частью проекта в соответствии со СНиП 2.01.02-85 и СНиП Ш-4-80.

Особые эстетические требования предъявляются к высотным сооружениям, которые существенно влияют на архитектурный облик предприятия и промышленного узла в целом. При удачном решении они служат архитектурным акцентом, улучшающим архитектурную композицию окружающей застройки. Высотные сооружения, расположенные вблизи аэропортов и аэродромов, рассматривают как искусственные препятствия и проектируют с соблюдением требований НТП-2-73/МГА, регламентирующих их предельную высоту, раскраску и освещение в ночное время, и СН 305-77 по молниезащите.

Инженерные сооружения проектируют на основе Единой модульной системы (ЕМС), представляющей собой совокупность правил координации размеров объёмно-планировочных и конструктивных элементов зданий и сооружений на базе основного модуля 100 мм (1 М). Укрупненные модули, полученные умножением основного на целые коэффициенты, — 6000, 3000, 1500, 1200 мм, — обозначают соответственно 60М, 30М, 15М, 12М; дробные, полученные умножением основного на дробные коэффициенты, — 50, 20, 10 мм — 1/2М, 1/5М, 1/10М. Основные и дробные модули применяют главным образом при назначении размеров поперечных сечений элементов; укрупненные — длины пролетов, расстояний между разбивочными осями и высотных размеров сооружений. Для назначения размеров сооружения используют модуль: в плане при размерах до 18 м — 60М, допустим 30М; до 12 м — 15М; по вертикали при высоте до 3,6 м — 3М; при большей — 12М и 6М.

Конструктивный размер элементов выполняют меньшим, чем их номинальный (модульный) с учетом зазора между торцами и боковыми гранями элементов или допусков на изготовление конструкций. Применение материалов и конструкций регламентируется ТП 101-81\*.

Подземные инженерные сооружения возводят из сборного и реже монолитного железобетона. При индустриальных методах укладки бетона, если не требуется устройство высоких лесов и подмостей, целесообразно применять монолитный железобетон, конструкции из которого экономичны и в ряде случаев (например, при наличии грунтовых вод) более надежны в эксплуатации.

Фундаменты сооружений и под оборудование выполняют сборными, сборно-монолитными железобетонными и монолитными бетонными и железобетонными.

Емкостные сооружения водоснабжения и канализации, силосы (за исключением силосов для материалов, хранение которых недопустимо в железобетонных емкостях), закрома и резервуары для воды проектируют железобетонными из сборных, сборно-монолитных и монолитных конструкций.

Бункера выполняют железобетонными (сборными и монолитными), стальными, а также смешанными. Из стали их выполняют в случаях, когда по механическим, химическим или температурным воздействиям применение железобетона недопустимо. Кроме того, стальными могут быть висячие (параболические) бункера и воронки для всех типов бункеров. В бункерах смешанной конструкции призматическую или цилиндрическую части проектируют из железобетона, сужающуюся — из стали.

В ряде надземных сооружений могут быть выделены три основных вида конструктивных элементов: фундаменты, опоры и пролетные строения. Фундаменты выполняют преимущественно из монолитного железобетона. Опоры и колонны проектируют, как правило, сборными железобетонными: колонны открытых крановых эстакад высотой до 13 м включительно, при крановом оборудовании в виде мостовых кранов общего назначения грузоподъемностью до 32 т включительно; отдельно стоящие опоры под технологические трубопроводы и колонны одноярусных эстакад под коммуникации различного назначения при высоте от планировочной отметки земли до 9 м включительно и при пролетах эстакад до 24 м включительно; опоры транспортных, пешеходных и других галерей на горизонтальных участках при высоте опор и пролетах до 12 м.

При параметрах, превышающих указанные, опоры допускается выполнять из стальных конструкций. Этажерки под технологическое оборудование применяют сборные железобетонные в случаях, когда могут быть использованы железобетонные элементы из номенклатуры каркасов многоэтажных зданий.

Пролетные строения пешеходных, транспортных и коммуникационных галерей при пролетах до 12 м выполняют железобетонными, при больших — стальными; крановых эстакад под краны тяжелого режима работы любой грузоподъемности и среднего грузоподъемностью более 32 т — стальными, до 32 т — стальными и железобетонными.

Указания и рекомендации по выбору материала и типа конструкций, а также требования, предъявляемые к материалам, приведены в соответствующих главах справочника для каждого вида инженерных сооружений. Если возможно применение различных материалов, выбор материала конструкций должен быть сделан на основании технико-экономического сравнения с учетом местных условий и возможностей строительных организаций.

Для индустриализации строительства инженерных сооружений необходима их унификация с разработкой на ее основе габаритных схем и типовых конструкций. Унификация инженерных сооружений — сложная задача, так как схемы и размеры их обуславливаются взаимосвязью технологических процессов и конструктивных решений.

В настоящее время имеются унифицированные параметры и габаритные схемы для большинства инженерных сооружений.

Для подземных сооружений, рассчитываемых на давление грунта, основанием для индивидуального проектирования могут служить характеристики грунтовых условий, отличающиеся от принятых в типовых сериях, если они не позволяют подобрать типовое решение с учетом дополнительных поверочных расчетов и незначительных конструктивных доработок.

При индивидуальном проектировании следует: основные габаритные размеры и размеры сечений принимать в соответствии с ЕМС; в максимальной степени использовать имеющиеся габаритные схемы; стремиться к применению типовых конструкций, чтобы избежать создания нового парка форм. При проектировании ряда сооружений на одной площадке или в пределах промышленного узла обязательно проведение общеплощадочной унификации.

Для разработки проекта инженерного сооружения до начала проектирования должны быть получены следующие исходные данные: технологическое задание; генеральный план

(горизонтальная и вертикальная планировка) либо выкопировки из него с нанесением всех расположенных вблизи зданий, сооружений и коммуникаций; отчет об инженерно-геологических изысканиях с данными лабораторных испытаний грунтов; сведения о генподрядной и субподрядных строительных организациях, базе строй индустрии и о применяемых в данном районе в соответствии с утвержденным Госстроем СССР территориальным каталогом сборных железобетонных конструкциях. Для особо ответственных и высотных сооружений скважины (не менее трех) и шурфы для получения данных о грунтах выполняют на пятне сооружения, что должно быть оговорено в задании на производство инженерно-геологических изысканий.

Ко всем зданиям и сооружениям предъявляют следующие требования:

1. Функциональная (технологическая) целесообразность. Каждое здание и сооружение имеет свое функциональное назначение и должно как можно полнее удовлетворять технологическим требованиям.

2. Техническая целесообразность, прочность, устойчивость и долговечность. Техническая целесообразность основана на учете силовых и несиловых воздействий, воспринимаемых зданием или сооружением. К силовым (статическим и динамическим) воздействиям относят такие нагрузки: постоянные (собственный вес, давление грунта и воды); временные длительные (вес стационарного оборудования и длительно хранящихся грузов; кратковременные (вес подвижного оборудования, людей, мебели, снега, действие ветра); особые (сейсмические и др.). Несиловыми являются следующие температурные воздействия: атмосферной и грунтовой влаги, ветра, лучистой энергии (солнечной радиации), агрессивных химических примесей, биологические, звуковой энергии (шума). Прочность зданий и сооружений зависит от применяемых материалов и их способности воспринимать нагрузки, а устойчивость — от взаимного сочетания и расположения составных элементов конструкций и узловых сопряжений. Долговечность определяется прочностью и устойчивостью зданий и сооружений и их элементов во времени. Срок службы зданий и сооружений зависит также от качества эксплуатационного содержания.

К техническим и функциональным требованиям относят пожарную безопасность зданий и сооружений. Строительные материалы и конструкции по степени возгораемости делят на негораемые, трудногораемые и сгораемые.

Функциональный и технический характер имеют требования благоустройства зданий (отопление, вентиляция, газоснабжение, водоснабжение и др.).

3. Архитектурно-художественные требования. Здания и сооружения являются архитектурными произведениями. Они должны быть красивы, привлекательны по внешнему виду, благотворно влиять на психологическое состояние людей. Для обеспечения эстетических качеств здания и сооружения должны быть удобны в функциональном отношении и совершены технически. Для этого используются различные архитектурные композиции, обеспечивающие единство функционального назначения, конструктивной структуры и художественной выразительности.

4. *Экономическая целесообразность.* Высокое качество строительной продукции должно обеспечиваться при минимальных затратах труда, средств и времени. Эти требования оказывают влияние на объемно-планировочное решение зданий — компоновку помещений. Указанные требования определяют этажность зданий, расположение входов в него (главного и второстепенных), конструктивное решение и пр.

*Виды строительства.* В зависимости от вида населенных мест выделяют городское и сельское строительство. Город является совокупностью различных сложных сооружений, промышленных и гражданских зданий. Специфическими чертами обладает сельское строительство, включающее возведение гражданских и промышленных зданий, зданий для сельскохозяйственного производства и других инженерных сооружений. Отдельной отраслью строительства является транспортное строительство, которое включает устройство автомобильных, железных и подвесных дорог, мостов, туннелей, трубопроводов, линий электропередач, линий связи, железнодорожных вокзалов и аэропортов.

Устройство гидроэлектростанций, мелиоративных систем, портов, плотин и других подобных сооружений осуществляет гидротехническое строительство.

Существуют также и другие виды строительства. Вообще же выделение отраслей строительства в каждом отдельном случае имеет более или менее условный характер.



**Лекция 3. Инженерно-геодезические изыскания. Состав и задачи инженерно-геодезических изысканий. Топографические условия местности. Геоморфологические изыскания. Оценка точности топографического материала. Выбор масштаба съемки и высоты сечения рельефа. Крупномасштабные топографические съемки. Специальные съемки**

Инженерно-геодезические изыскания производятся для определения пространственно-геометрических характеристик, условий, оказывающих влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию инженерных сооружений. При этих изысканиях выясняются топографические условия до возведения сооружения, в процессе его постройки и эксплуатации, находится пространственно-геометрическое представление о геологических, гидрологических и других условиях на различных этапах строительства и работы сооружения, определяется месторасположение сооружений, производится их трассировка.

Инженерно-геодезические изыскания тесно связаны с другими видами инженерно-геодезических работ, например, инженерно-геодезическим проектированием, охватывающим большой круг геодезических задач, решаемых при проектировании горизонтальной и вертикальной планировки района строительства, проектировании сооружений и переносе их проектов в натуру.

В состав инженерно-геодезических изысканий при изучении топографических условий входит определение степени топографо-геодезической изученности рассматриваемой территории, т. е. оценка имеющихся топографических карт и ранее построенной геодезической основы, а также картографирование этой территории, включающее создание геодезической основы (плановой и высотной), производство топографической съемки. Помимо общего картографирования, при котором изучаются топографические условия, в процессе этих изысканий выполняют специальное картографирование, в результате которого составляют и издают специальные карты (геологические, геоморфологические, почвенные и др.). Осуществляется такое картографирование на основе топографических карт с выполнением привязочных работ для нанесения на эти карты новых объектов.

Для различных стадий проектирования инженерных сооружений топографические и другие условия изучают с различной степенью полноты, детальности и точности. Поэтому картографирование района изысканий осуществляется в разных масштабах. На первых стадиях проектирования, когда существенное значение имеет сопоставление вариантов размещения сооружений, оно выполняется на большой площади, но в мелком масштабе. На последующих стадиях проектирования, когда число вариантов уменьшается, картографирование ведется в более крупных масштабах, но на меньшей площади. Для рабочего проектирования производится крупномасштабная топографическая съемка небольших участков, на которых размещаются проектируемые сооружения. В результате создаются изыскательские планы, которые отличаются от обычных топографических карт и планов тем, что служат топографической основой лишь на период проектирования сооружений. После завершения строительства топографические условия настолько изменяются, что нужна новая топографическая съемка. Следовательно, срок службы изыскательских планов, полученных в результате крупномасштабной инженерно-топографической съемки для рабочего проектирования, невелик.

В период изысканий составляют также топографические карты и планы, рассчитанные на более длительный срок службы, например, инвентаризационные, кадастровые, исполнительные и др.

*Геодезическая основа.* Производству топографической съемки предшествует создание геодезической основы. Густота расположения пунктов геодезической основы и необходимая точность определения их взаимного положения зависят, вообще говоря, от масштаба и метода съемки. Однако геодезическая основа нужна также для привязочных работ, производства специальных съемок, трассировки сооружений, их разбивки, контрольно-монтажных измерений и выполнения различных наблюдений в процессе возведения и эксплуатации инженерных сооружений. Поэтому геодезическая основа создается по единому перспективному плану и отдельно от съемочных работ.

Для постановки съемочных работ, кроме использования пунктов государственных геодезических сетей I, II, III и IV классов, а также сетей нивелирования I, II, III и IV классов, производят необходимое сгущение государственной геодезической основы, развивая геодезические сети местного значения 1-го и 2-го разрядов, а также съемочное обоснование.

Плановая государственная опорная геодезическая сеть создается в виде триангуляции, трилатерация и полигонометрия 4 классов и выше, а также геодезических сетей местного значения

1-го и 2-го разрядов, для съемки территорий, площадь которых превышает  $5 \text{ км}^2$ . Для съемки территорий, имеющих площадь от  $2,5$  до  $5 \text{ км}^2$ , плановой съемочной основой служат геодезические сети местного значения 1-го и 2-го разрядов, а площадью от  $1$  до  $2,5 \text{ км}^2$  ограничиваются созданием геодезических сетей местного значения 2-го разряда. При съемке территорий площадью менее  $1 \text{ км}^2$  плановой основой являются теодолитные ходы, или микротриангуляция.

В высотном отношении для территорий площадью свыше  $10 \text{ км}^2$  строятся сети нивелирования II, III и IV классов. Для территорий площадью от  $1$  до  $10 \text{ км}^2$  — IV класса и менее  $1 \text{ км}^2$  высотным обоснованием съемок являются ходы технического нивелирования.

Помимо построения и сгущения государственной геодезической основы и геодезических сетей местного значения, методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии и нивелирования создают или развивают специальные геодезические сети, конструкция и точность которых зависят от характера инженерных задач. Широко пользуются светодальномерной полигонометрией, методом геодезических засечек, геодезическими засечками с параллактическими углами, методом бездиагональных четырехугольников и др. Есть специальные построения, например, строительные, строительного-монтажные и монтажные базисы и сетки, пространственные геодезические сети.

При выборе типа геодезической основы, проектировании и расчете ее точности исходят из допустимой погрешности положения точки сооружения относительно другой конструктивно связанной с ней точки этого или другого сооружения. Рассчитывая точность плановой геодезической основы, задаются погрешностью расстояния между указанными точками, а рассчитывая точность высотной геодезической основы — погрешностью превышения одной точки над другой. Выбор такой допустимой погрешности рассматривается в строительной метрологии, важным разделом которой является теория допусков и посадок. Определение этой исходной погрешности требует учета несиловых воздействий на строительные конструкции (температуры, влаги, звуковой энергии и др.), изучаемых в строительной физике, учета силовых воздействий (собственного веса, полезной нагрузки, ветра, сейсмических воздействий и др.), изучаемых в сопротивлении материалов, теории упругости и пластичности, строительной механике, а также учета способов и условий выполнения строительного-монтажных работ, изучаемых в курсе технологии строительного производства. Таким образом устанавливается связь инженерных изысканий с большим числом строительных дисциплин.

Генеральные планы. В процессе инженерных изысканий подготавливается *генеральный план* — крупномасштабный топографический план, на котором изображают весь комплекс наземных, воздушных и подземных сооружений.

Различают *проектный генеральный план*, на котором показывают запроектированные постоянные сооружения, координаты главных осевых точек и отметки основных горизонтов, и *исполнительный генеральный план*, составляемый в результате исполнительной съемки постоянных и временных сооружений.

Исполнительные генеральные планы делят на текущие, или оперативные, составляемые в процессе строительства и отражающие весь ход его, и окончательные, составляемые после завершения строительства и используемые при эксплуатации, ремонте и реконструкции зданий и сооружений. Текущий исполнительный генплан составляется в масштабах  $1:500$ — $1:2000$  в условной (строительной) системе координат на основании исполнительных разбивочных чертежей, габаритной съемки и съемки местности. Этот план используется для ведения дежурного плана строительства, на котором показывают все возводимые постоянные и временные здания и сооружения, состояние строительных работ на определенную дату. Сейчас для создания дежурных планов больших строек прибегают к крупномасштабной аэрофотосъемке. Окончательный исполнительный генеральный план — это комплект исполнительных планов, составляемых в крупных масштабах на геодезической основе. В такой комплект входит общий (сводный) исполнительный генеральный план в масштабе  $1:500$ — $1:5000$ , исполнительные планы отдельных сооружений и сложных узлов в масштабах  $1:50$ — $1:500$ , специализированные исполнительные генеральные планы коммуникаций в масштабах  $1:1000$ — $1:2000$ .

На проектном генплане контуры зданий наносят по осям стен, а инженерные сети — по продольным осям. На исполнительном генплане показывают действительные площади, занятые зданиями и сооружениями, все выступы, отмостки, кюветы и др.

*Рабочие проектные генеральные планы* для отдельных сооружений составляются обычно в масштабах 1:100—1:500, а на строительные площадки в масштабах 1:500—1:1000. Они являются основным документом для переноса проекта в натуру.

Особым видом является *строительный генеральный план* (стройгенплан), на котором, кроме постоянных, указывается также проект размещения временных и подсобных предприятий и сооружений, необходимых для успешного строительства основных постоянных объектов. Он создается в тесной связи с проектным генеральным планом. Временные сооружения и подсобные предприятия располагают так, чтобы они не мешали возведению постоянных объектов.

При двухстадийном проектировании на стадии технического проекта разрабатывают проектный и строительный генпланы. Стройгенплан является составной частью проекта организации строительства (ПОС). На основе технического проекта генерального плана составляется рабочий проект генерального плана. Для городов помимо детальных проектов генерального плана составляют сводный проектный генеральный план. На основе рабочих чертежей строительная организация составляет проект производства работ (ППР) для подготовительного и основного периодов строительства зданий и сооружений. В состав его включается рабочий стройгенплан. Создается он для различных этапов строительства, например, устройства подземной части здания, монтажа наземных конструкций и т. д.

При одностадийном проектировании технический проект совмещается с рабочими чертежами и составляется технико-рабочий строительный генеральный план.

В процессе инженерно-геодезических изысканий решаются многие задачи инженерно-геодезического проектирования, связанные с геодезическим проектированием горизонтальной и вертикальной планировки, вычислением объемов земляных работ, привязкой проектов инженерных сооружений к местным условиям, геодезической подготовкой этих проектов для перенесения их в натуру, проектированием основных и детальных геодезических работ и др.

*Точность, детальность и полнота планов.* Топографический план характеризуется точностью его построения, детальностью и полнотой изображения ситуации и рельефа.

Под *т о ч н о с т ь ю* п л а н а понимают суммарную среднюю квадратическую ошибку в плановом и высотном положении изображаемых точек ситуации и рельефа. Средняя квадратическая ошибка планового положения точек определяется по известной формуле

$$m_T = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (3.1)$$

где  $m_x$  и  $m_y$ —средние квадратические ошибки измерения на плане абсцисс и ординат точек, которые согласно исследованиям мало коррелированы между собой. Приняв  $m_x = m_y = m_k$ , получим

$$m_T = m_k \sqrt{2}. \quad (3.2)$$

В общем случае ошибки координат точек включают ошибки развития планового обоснования, ошибки съемочных измерений и графических или фотограмметрических построений, ошибки вследствие деформации планшетов или фотопланов. Часто ошибками геодезического обоснования, которые составляют на плане 0,1 мм и меньше, пренебрегают и ошибки положения точек плана рассматривают относительно ближайших пунктов геодезического обоснования.

По опытным данным для планов территорий с капитальной застройкой ошибка  $m_k = 0,18$  мм и планов малозастроенной местности  $m_k = 0,30$  мм. В соответствии с формулой (4.2) точность плана составляет

$$m_T = (0,2 \div 0,3) \sqrt{2} = 0,3 \div 0,4 \text{ мм.}$$

Точность планов, полученных разными топографическими и фотограмметрическими методами, несколько различная. Однако так как во всех методах составления топографических планов стремятся, чтобы ошибки отдельных процессов не превышали графической точности (0,1 мм), суммарные ошибки в положении четких контуров на планах, полученных разными методами, близки между собой и по данным опытных исследований составляют в среднем порядка 0,3—0,4 мм, что соответствует ранее приведенной величине.

Несколько меньшей точностью обладают копии планов, составляемые с оригиналов в качестве топографической основы для проектирования. Под влиянием дополнительных ошибок, вызванных копированием и деформацией бумаги, суммарные ошибки в положении контуров на такой основе увеличиваются примерно в  $\sqrt{2}$  и составляют при фотомеханических или механических способах копирования около 0,5 мм.

Согласно требованиям Инструкции ГУГК средние ошибки в положении на планах изображений предметов и контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших точек съемочного обоснования не должны превышать 0,5 мм, а в горных и залесенных районах 0,7 мм.

Для проектирования весьма важное значение имеет точность взаимного расположения на плане элементов ситуации. На территории с капитальной и многоэтажной застройкой средняя ошибка во взаимном положении близлежащих капитальных зданий и сооружений не должна превышать 0,2 мм, т. е. точность таких планов должна быть значительно выше планов незастроенных территорий.

Точность плана будет выражаться в натуре тем меньшей величиной, чем крупнее масштаб плана. Например, точность плана масштаба 1 : 1000 в 0,3 мм будет соответствовать на местности 0,3 м, а плана масштаба 1 : 500—0,15 м. Отсюда, задавшись допустимой величиной ошибки в размерах снимаемых сооружений и предметов, можно определить необходимый масштаб плана и его точность.

**Д е т а л ь н о с т ь п л а н а** характеризуется степенью подобия изображенных на нем фигур контурам и элементам рельефа местности, т. е. степенью обобщения (генерализации) изображения. Чем крупнее масштаб плана, тем выше детальность изображения и меньше обобщений. При крупномасштабных съемках требуется, чтобы ошибки за счет обобщения четких контуров не превышали на плане 0,5 мм, а архитектурных деталей —0,3 мм. В этих пределах допускают спрямление искривленных контуров и границ и выступов зданий.

**П о д п о л н о т о й п л а н а** понимают степень его насыщенности объектами ситуации и элементами рельефа, изображение которых необходимо для проектирования и возможно при принятом масштабе плана и сечении рельефа. Полнота плана выражается минимальными размерами объектов местности и расстояний между ними, которые необходимо изобразить на плане.

В застроенной части территории требование полноты плана является определяющим при выборе масштаба съемки. По исследованиям проф. Ю. К. Неумывакина, полнота и детальность изображения объектов местности на плане могут быть представлены так называемыми и н ф о р м а ц и о н н ы м и х а р а к т е р и с т и к а м и — средним количеством единиц информации на 1 га площади, которые тесно связаны с масштабом съемки, отбором и картографической генерализацией объектов. По опытным данным, для крупных городов с плотностью застройки 35 % максимальное значение информационных характеристик равно 480 двоичных единиц на 1 га, средних городов с плотностью застройки 20 % —410 и малых городов и сельских населенных мест с плотностью застройки до 12 % — 350 единиц.

Для детального проектирования застроенных территорий необходимое количество информации составляет 300—400 двоичных единиц на 1 га.

Ниже приведен подсчет величины дм для разных масштабов плана:

<b>1 : М</b>	<b>1 : 500</b>	<b>1 : 1000</b>	<b>1 : 2000</b>	<b>1 : 5000</b>
<b>Rм</b>	<b>496</b>	<b>321</b>	<b>112</b>	<b>26</b>

Отсюда видно, что на застроенных территориях детальное проектирование можно выполнять только на топографической основе масштаба 1 : 500 или 1 : 1000 в зависимости от сложности ситуации.

Наиболее полную и детальную информацию о местности обеспечивают фотопланы и ортофотопланы с досъемкой на них подземных коммуникаций и рельефа.

**М а с ш т а б ы п л а н о в.** Масштаб инженерно-топографической съемки определяется рядом факторов: проектными задачами, решаемыми на плане; стадией проектирования, сложностью ситуации и рельефа местности; густотой подземных и надземных коммуникаций; условиями использования существующей застройки в проекте и др. При этом учитываются требования к точности плана, детальность и полнота информации о местности, метод и точность проектирования и перенесения проекта в натуру, наглядность и удобочитаемость проектных решений.

Как известно, проектирование производится по стадиям путем последовательного уточнения и детализации принятых в проекте решений. В соответствии с этим от стадии к стадии повышаются требования к топографической основе, укрупняется масштаб съемки.

На всех стадиях проектирования топографический план служит основой для составления генерального плана строительства, компоновки его основных элементов, разработки технологических схем сооружений и схем размещения подземных коммуникаций и транспортных

связей. Чем сложнее сооружение, тем требуется более крупный масштаб съемки для составления генерального плана.

При проектировании объектов плана на незастроенной территории или на площадке с малоценной застройкой, подлежащей сносу, не требуется точной увязки элементов генплана с ситуацией местности. Поэтому требования к точности топографического плана, его детальности и полноте могут быть понижены и масштаб съемки может быть несколько мельче. Технический проект на таких площадках может разрабатываться на планах масштаба 1 : 2000 - 1 : 5000, а рабочие чертежи — 1 : 1000. Если для наглядности проектов необходим более крупный масштаб изображения, то он может быть получен путем простого увеличения плана.

При проектировании сооружений с учетом существующей капитальной застройки, сети дорог, воздушных линий, подземных коммуникаций требования к топографической основе повышаются. Здесь для составления технического проекта используют планы масштаба 1 : 1000-1:2000, а для рабочих чертежей — наиболее крупный масштаб съемки — 1 : 500.

Проф. Ю. К. Неумывакиным выведена зависимость между допустимой при проектировании средней квадратической ошибкой  $m_s$  определения расстояний между близлежащими точками капитальных зданий и сооружений (в метрах на местности) и масштабом съемки 1:М

$$m_s = 0.18 \cdot 10^{-3} M \sqrt{\frac{2000}{M}} \sqrt{2(1-r)}, \quad (3.4)$$

где  $r$  — коэффициент корреляции между ошибками в определении координат близко расположенных точек.

Приняв согласно исследованиям для небольших расстояний  $r=0,5$ , из формулы (4.4) получим необходимый масштаб плана

$$M = 9000 m_s \sqrt{m_s}. \quad (3.5)$$

Найденное значение округляют до ближайшего стандартного масштаба.

Формулу (4.5) рекомендуется применять для расчета масштабов съемки застроенной территории с капитальной и многоэтажной застройкой и для планов масштабов 1 : 500÷1 : 2000, когда допустимая ошибка  $m_s$  не превышает 0,3 м.

В проектно-изыскательских работах для технико-экономического обоснования проектов и предварительных проектных расчетов используют государственные топографические карты мелких и средних масштабов. Однако детальное проектирование и окончательный выбор оптимальных вариантов площадок и трасс производят на специализированных крупномасштабных планах. Наиболее часто используют следующие масштабы планов:

а) план 1 : 10 000 с сечением рельефа через 1—2 м для выбора направления магистральных трасс и местоположения строительных площадок, составления ситуационных планов района строительства, определения площадей и объемов водохранилищ, предварительного проектирования;

б) план 1 : 5000 с сечением рельефа через 1—0,5 м — для составления опорных планов и генеральных планов городов и промышленных комплексов, разработки проектов инженерной подготовки территории и первоочередной застройки, проектирования линейных сооружений, составления технических проектов мелиорации;

в) план 1:2000 с сечением рельефа через 0,5—1 м — для разработки технических проектов промышленных, гидротехнических, транспортных сооружений, проектов инженерных сетей, рабочих чертежей мелиорации, составления генпланов поселков, проектов детальной планировки и застройки городов, планов красных линий;

г) план 1 : 1000 с сечением рельефа через 0,5 м — для составления рабочих чертежей зданий и сооружений на незастроенных или малозастроенных строительных площадках, генеральных планов городской застройки, разработки детальных проектов подземных коммуникаций и проектов вертикальной планировки;

д) план 1 : 500 с сечением рельефа через 0,5 м (на спланированной территории с малыми уклонами — через 0,25 м) — для разработки рабочих чертежей городских и промышленных территорий с капитальной застройкой и густой сетью коммуникаций, составления исполнительной документации.

Так как для принятия проектных решений и детализации проектов в ряде случаев требуется не столько точность плана, сколько его наглядность и крупный масштаб чертежа, то допускают производство съемок в масштабах 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000 при точности развития обоснования соответственно для масштабов 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000.

*Точность изображения рельефа.* При инженерно-топографических съемках особое внимание уделяется изображению рельефа местности, так как последний во многом определяет выбор площадки или трассы, общую планировку сооружения, проект инженерных сетей. С учетом рельефа местности рассчитывают проектные отметки сооружений, уклоны дорог и трубопроводов, разрабатывают проект вертикальной планировки площадки.

Для наиболее точного и детального изображения рельефа стремятся иметь по возможности минимальную величину его сечения горизонталями. Однако принятая величина сечения должна обеспечиваться точностью съемки рельефа.

Как известно, рельеф на плане изображается путем набора пикетных точек, интерполирования и проведения горизонталей или путем их трассирования на стереоприборах, при этом производят обобщение рельефа, выделяя основные и характерные его элементы. На положение горизонталей на плане влияет ряд источников ошибок, которые можно разделить на две группы:

1) источники ошибок высот, мало зависящие от угла наклона местности: определение высот пикетных точек, обобщение рельефа из-за неоднородностей скатов между пикетами, влияние мелких неровностей земной поверхности («топографической шероховатости»);

2) источники ошибок высот, вызывающие плановое смещение горизонталей и зависящие от уклона местности: определение планового положения пикетных точек, интерполирование высот, проведение горизонталей.

Согласно исследованиям преобладающее влияние на точность изображения рельефа на крупномасштабных планах оказывают такие ошибки первой группы, как обобщение рельефа и влияние топографической шероховатости, зависящие от характера местности и расстояний между пикетными точками. Эти ошибки носят случайный характер, в основном следуют закону нормального распределения.

где  $a$  — коэффициент случайного влияния ошибок за счет обобщения рельефа и топографической шероховатости, приведенный к длине 1 м,  $l$  — расстояние между пикетными точками в метрах.

На основании теоретических расчетов и опытных исследований предложен ряд формул для оценки точности изображения на плане рельефа. Большинство из этих формул имеют вид

$$m_H = a + b \operatorname{tg} v, \quad (3.6)$$

где  $m_H$  — средняя квадратическая ошибка определения отметок точек по горизонталям;  $v$  — угол наклона местности ( $\operatorname{tg} v = i$  — уклон местности);  $a$  и  $b$  — параметры, отражающие влияние соответственно первой и второй групп ошибок и определяемые по методу наименьших квадратов из обработки материалов опытных исследований планов некоторого масштаба и сечения рельефа. Например, для плана масштаба 1 : 2000 с сечением рельефа через 0,5 м получена формула

$$m_H = 0,10 + 0,5 \operatorname{tg} v, \quad (3.7)$$

которая при угле наклона местности до  $3^\circ$  ( $\operatorname{tg} v = 0,05$ ) дает  $m_H = 0,12$  м.

При полевом контроле планшетов средняя квадратическая ошибка изображения рельефа подсчитывается по формуле

$$m_H = \sqrt{\frac{[\Delta H^2]}{n}}, \quad (3.8)$$

где  $\Delta H$  — разность в отметках контрольных точек, полученных по горизонталям и вычисленным по результатам геометрического или тригонометрического нивелирования этих же точек;  $n$  — число контрольных точек.

По многочисленным данным полевого контроля крупномасштабных планов, снятых топографическими и фотограмметрическими методами, ошибки  $m_H$  составляют:

а) на планах масштабов 1 : 500 и 1 : 1000 с сечением рельефа 0,5 м —  $0,08 \div 0,12$  м;

б) на планах масштабов 1 : 2000 — 1 : 5000 с сечением рельефа 1 м —  $0,18 \div 0,22$ ;

в) на планах масштаба 1 : 5000 с сечением рельефа 2 м —  $0,3 \div 0,4$  м.

### ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ НА ПЛАНЕ

*Точность определения на плане расстояний.* При разработке генерального плана и аналитическом расчете проектов ряд исходных величин измеряют графически на плане. Оценим точность вычисления расстояния  $S$  между точками А и В по измеренным на плане графическим координатам. Как известно,

$$s^2 = (x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2. \quad (3.9)$$

При некоррелированном характере определения координат точек А и В согласно теории ошибок имеем

$$s^2 m_s^2 = (x_B - x_A)^2 m_{x_B}^2 + (x_B - x_A)^2 m_{x_A}^2 + (y_B - y_A)^2 m_{y_B}^2 + (y_B - y_A)^2 m_{y_A}^2.$$

Примем ошибки измерения абсцисс и ординат точек А и В соответственно равными, т. е.

$$m_{x_A} = m_{y_A} = m_{k_A}; m_{x_B} = m_{y_B} = m_{k_B}.$$

Тогда

$$m_s^2 = m_{k_B}^2 + m_{k_A}^2. \quad (3.10)$$

Следовательно, при *равноточном некоррелированном определении координат двух точек средняя квадратическая ошибка вычисленного по этим координатам расстояния равна ошибке в положении одной точки.*

**ТОЧНОСТЬ определения на плане направлений.** Если на плане измерены координаты точек А и В:  $x_A, y_A; x_B, y_B$ , то дирекционный угол направления АВ находится по формуле

$$\text{tg } \alpha = (y_B - y_A) / (x_B - x_A). \quad (3.11)$$

Его точность зависит от ошибок в положении на плане точек А и В, и при некоррелированном их характере по теории ошибок имеем

$$\frac{m_\alpha^2}{\cos^4 \alpha} = \frac{(y_B - y_A)^2}{(x_B - x_A)^4} m_{x_A}^2 + \frac{(y_B - y_A)^2}{(x_B - x_A)^4} m_{x_B}^2 + \frac{m_{y_A}^2}{(x_B - x_A)^2} + \frac{m_{y_B}^2}{(x_B - x_A)^2};$$

где  $m_{x_A}, m_{y_A}, m_{x_B}, m_{y_B}$  — средние квадратические ошибки абсцисс и ординат точек А и В.

Приняв для равноточных определений координат точек

$$m_{x_A} = m_{y_A} = m_{k_A}; m_{x_B} = m_{y_B} = m_{k_B}.$$

Получим

$$m_\alpha^2 = \frac{1}{s^2} (m_{k_A}^2 + m_{k_B}^2). \quad (3.12)$$

Если  $m_{k_A} = m_{k_B} = m_k$ , то

$$m_\alpha = \frac{m_k \sqrt{2}}{s} = \frac{m_T}{s},$$

где  $m_T$  — средняя квадратическая ошибка в положении точек на плане.

**Точность определения на карте превышений и уклонов.** При проектировании сооружений по отметкам  $HA$  и  $HB$  точек А и В, взятых с плана, рассчитывают превышение

$$h = HB - HA \quad (3.13)$$

и уклон

$$i = h/s \quad (3.14)$$

где  $s$  — горизонтальное проложение между точками А и В. Если принять ошибки определения высот, определяемых по горизонталям плана, примерно одинаковыми ( $m_{HA} = m_{HB} = m_h$ ) и некоррелированными, то средняя квадратическая ошибка превышения

$$m_h^2 = \sqrt{m_{H_B}^2 + m_{H_A}^2} = m_H \sqrt{2} \quad (3.15)$$

и уклона

$$m_i = \frac{m_h}{s} = \frac{m_H \sqrt{2}}{s}. \quad (3.16)$$

Однако при определении по плану высот  $HA$  и  $HB$  их ошибки можно считать некоррелированными только при значительном расстоянии между точками А и В, когда эти высоты вычисляются по несмежным горизонталям, проведенным по различным пикетным точкам. В противном случае необходимо учитывать корреляционную связь между ними и пользоваться формулами

$$m_h = m_H \sqrt{2 (1 - r)} \quad (3.17)$$

и

$$m_i = m_H / (s \sqrt{2 (1 - r)}) \quad (3.18)$$

**ТОЧНОСТЬ измерения площадей.** Ошибки измерения на плане площади, ограниченной некоторым контуром, зависят от точности определения положения поворотных точек этого контура.

Проф. А. В. Масловым выведена формула для оценки точности площади

$$m_p = m_T \sqrt{p} \sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}, \quad (3.20)$$

где  $m_T$  — средняя квадратическая ошибка определения поворотных точек (или измерения длин сторон);  $p$  — величина измеряемой площади;  $K$  — отношение длины участка к его ширине (для треугольника — отношение высоты к основанию). Коэффициент  $\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$  имеет минимум при  $K=1$ . Следовательно, наиболее точно определяется площадь квадратного участка или треугольной формы, в котором высота равна основанию. В этом случае относительная ошибка

$$\frac{m_p}{p} = \frac{m_T}{\sqrt{p}}. \quad (3.21)$$

При выборе масштаба топографической съемки учитывают ряд обстоятельств. В первую очередь масштаб топографической съемки определяется ее назначением и стадией проектирования.

Топографическая съемка производится для создания топографической основы, необходимой для решения определенных задач, в частности, выполнения инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Масштаб топографической съемки  $1/N$  зависит от масштаба топографической основы  $1/N_0$ , который обеспечивает решение поставленных задач с достаточной точностью и детальностью.

Масштабы топографической съемки и топографической основы зависят от *масштабообразующих факторов*. Основные из них: полнота изображения, которая зависит от минимального размера, представленного на плане элемента местности, детальность изображения, выражаемая подробностью отображения на плане топографических элементов при допустимых погрешностях в изображении ситуационных контуров и форм рельефа; точность изображения, выражаемая погрешностью во взаимном положении точек местности на плане и по высоте.

Расчет масштаба топографической съемки осуществляется по универсальной формуле:

$$N = A/a$$

где  $A$  — расстояние на местности, соответствующее расстоянию на планшете  $a$ .

Для расчета задаются минимальным расстоянием  $A$ , которое определяется масштабообразующими факторами, а также минимальным  $a$ , определяемым возможностями графического изображения при обозрении невооруженным глазом. В общем случае  $A$  и  $a$  являются независимыми величинами.

Масштаб топографической съемки выбирается также по технико-экономическим соображениям. Во всех случаях стараются вести топографическую съемку в масштабе более мелком, чем масштаб топографической основы.

Выбор *высоты сечения рельефа* обуславливается масштабом плана и съемки, рельефом местности, видом строительства, назначением и требуемой точностью плана. Она определяется в зависимости от максимальной крутизны ската  $\alpha_{\max}$ , которую можно изобразить на карте горизонталями. Такое изображение допустимо при некотором минимальном заложении  $d_{\min}$ . Тогда высота сечения рельефа

$$h_0 = d_{\min} \operatorname{tg} \alpha_{\max}.$$

Выбор  $\alpha_{\max}$  зависит от характера местности и колеблется в широких пределах — от  $3^\circ$  до  $60^\circ$ , что соответствует уклонам  $i_{\max} = \operatorname{tg} 3^\circ \approx 0,05$  и  $i_{\max} = \operatorname{tg} 60^\circ \approx 1,73$ . Заметим, что сечение рельефа, определяемое для  $\alpha_{\max} = 45^\circ$  ( $\operatorname{tg} 45^\circ = 1$ ) и  $d_{\min} = 0,2$  мм (или в масштабе карты  $d_{\min} = 0,2$  М мм =  $0,0002$  М м), называют *нормальным*. Расчет его ведется по формуле

$$h_H = 0,0002 \text{ М м.}$$

Для топографических карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000 и 1:200 000  $h_H = 2; 5; 10; 20$  и  $40$  м.

Нормальное сечение рельефа не позволяет изображать на топографических картах скаты крутизной более  $45^\circ$ . Между тем в высокогорных районах такие скаты встречаются довольно часто. В равнинных районах нормальное сечение оказывается недостаточным для детального изображения рельефа. Поэтому, помимо нормального, пользуются другими сечениями рельефа, чаще всего кратными нормальному. Они указаны в инструкциях и наставлениях и обосновываются характером рельефа местности.



При выборе сечения рельефа соблюдают некоторые ограничительные условия (генерализация, необходимость передачи типа местности), а также не изображают горизонталями топографическую шероховатость местности. Во всех случаях сечение рельефа принимают равным не менее 0,2 м.

Система горизонталей воспринимается при условии, что заложение не превышает некоторой величины  $d_{\max}$ . В этом случае крутизна ската становится  $\alpha_{\min}$ . Поэтому подсчет сечения рельефа контролируют по условию

$$d_{\max} \operatorname{tg} \alpha_{\min} < h_0.$$

Довольно часто при выборе карты для инженерных изысканий расчет сечения рельефа ведут не по максимальной, а по преобладающей крутизне ската  $\alpha_0$ , иначе, модальной крутизне ската. Для этого выбирают некоторое оптимальное заложение  $d_0$ , хорошо обеспечивающее чтение карты. Ему должна соответствовать модальная крутизна ската. Тогда оптимальное сечение рельефа находится по формуле

$$h_0 = d_0 \operatorname{tg} \alpha_0.$$

Тем не менее расчет по этой формуле связан с затруднениями в выборе  $\alpha_0$  и критерия для оценки оптимального значения  $d_0$ . Эвристическим путем проектировщики установили, что  $d_0 = 2$  см, или в масштабе карты  $d_0 = 2 \text{ М см}$ . Тогда  $L_0 = 2 \text{ М tg } \alpha_0 \text{ см} = 0,02 \text{ М tg } \alpha_0 \text{ м}$ . Например, для  $\alpha_0 = 1^\circ$ ,  $\operatorname{tg} 1^\circ = 0,017$  и  $\text{М} = 10\,000$  получим  $h_0 = 0,02 \times 10\,000 \cdot 0,017 = 3,4 \text{ м}$ . Выбор сечения рельефа — более сложная задача, чем определение нужного масштаба карты. Не исключена также такая ситуация, когда карта соответствует требованиям инженерных изысканий по масштабу, но нуждается в более мелком сечении рельефа.

Существенное значение приобретает выбор сечения рельефа в зависимости от необходимой точности определения отметок точек на топографическом плане, т. е. точности изображения рельефа. Положение горизонтали, чаще всего произвольной, полученной путем интерполяции, определяет положение сооружения в плане и по высоте с некоторыми погрешностями  $\Delta_{\text{п}}$  и  $\Delta_{\text{в}}$ , связанными между собой (рис. 3.1).

Погрешность  $\Delta_{\text{п}}$  зависит от многих факторов (точности определения по высоте пунктов геодезической основы — главной и рабочей, пикетов, точности нанесения их на карту, числа пикетов и размещения их, точности рисовки и вычерчивания горизонталей, характера рельефа и погрешностей горизонталей, точности картосоставительских работ, оформления и издания карты, деформации карты, погрешностей интерполяции, графических построений и измерений).

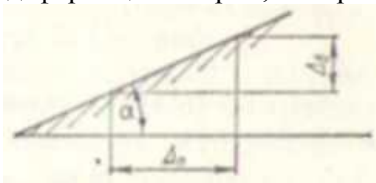


Рис.3.1

Горизонталь является контурной линией и погрешность положения ее в плане  $\Delta_{\text{п}}$  зависит от масштаба карты, т. е.  $\Delta_{\text{п}} = \Delta \text{М}$ . Таким образом, расчетная формула приобретает следующий вид:

$$\Delta_{\text{в}} = k' h_0 = \Delta \text{М tg } \alpha = \Delta \text{М} i.$$

Наибольшее значение  $\Delta_{\text{в}}$  будет в случае  $\alpha_{\max}$  или  $i_{\max} = \operatorname{tg} \alpha_{\max}$ :

$$\Delta_{\text{в}} = k' h_0 = \Delta \text{М tg } \alpha_{\max} = \Delta \text{М} i_{\max}.$$

Методом горизонталей при заданном постоянном сечении рельефа строится неравноточное изображение рельефа. Погрешность определения отметок точек с увеличением крутизны ската повышается, а погрешность положения горизонталей в плане понижается.

Вероятностно-статистический анализ показывает, что стандартная погрешность определения отметки точки по топографическому плану может быть определена из выражения

$$\sigma_e = \sqrt{a^2 + b^2 i^2}$$

где коэффициенты  $a$  и  $b$  находятся эмпирически для карт определенного масштаба с определенным сечением рельефа и характером местности.

Таким образом, выбор масштаба карты и сечения рельефа являются взаимно связанными.

#### КРУПНОМАСШТАБНЫЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Характер топографической съемки для инженерного проектирования зависит от его стадии, топографических условий, характера застройки, степени благоустройства местности и густоты

подземных сетей в масштабах от 1:10000 и крупнее. В масштабе 1:10000 с сечением рельефа 1 м в равнинной местности и 2—5 м в горных районах ведется съемка незастроенной территории, необходимая, например, для составления генеральных планов городов и поселков, проектов первоочередного строительства, инженерной подготовки территории, озеленения ее, земельно-хозяйственного устройства. Для решения таких же задач, но в условиях застроенной территории производится съемка в масштабе 1:5000 с сечением рельефа 1 м в равнинной и 2 м в горной местности.

Съемка в масштабе 1:2000 с сечением рельефа 0,5 м или 1 м ведется для составления проектов детальной планировки, технических проектов застройки, технико-рабочих и рабочих проектов ряда сооружений. Для рабочего проектирования застройки территории и сложных сооружений выполняют съемку в масштабах 1:1000 и 1:500 с сечением рельефа 0,5 м, а на асфальтированных территориях — 0,25 м. Исполнительную съемку законченного строительства производят в масштабах 1:1000 и 1:500. Для решения специальных архитектурно-строительных задач, например, составления проектов подземных сетей, водозаборных сооружений, памятников съемку ведут в масштабе 1:500, а план составляют в масштабах 1:200 или 1:100. Заметим, что планы, полученные в результате съемки в масштабах 1:10000, 1:5000, 1:2000 и 1:1000, также могут оформляться в виде планов более крупного масштаба — соответственно 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.

Топографические съемки подразделяются на основные и специализированные. Основные съемки выполняются согласно требованиям «Основных положений по созданию топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. Специализированные съемки, в том числе и инженерно-топографические, выполняются для различных видов строительства согласно ведомственным инструкциям и наставлениям. Особенностью специализированных съемок является отражение специфических требований, предъявляемых к точности, полноте и детальности изображения предметов местности и рельефа при данном виде строительства. Например, в мелиоративном строительстве применяют нестандартные сечения рельефа в связи с повышенными требованиями к точности изображения рельефа.

Важнейшей особенностью инженерно-топографических съемок, применяемых в строительстве, является аналитическое координирование ряда точек сооружений и зданий, например, углов опорных зданий, центров колодцев подземных коммуникаций, вершин поворотов и примыканий путей сообщения и др.

Специализированные планы могут издаваться в виде цифровых моделей местности и фотокарт. Для создания цифровых моделей местности количественные данные, полученные в результате полевых съемочных работ, вводит в ЭВМ с последующим представлением их проектировщикам в цифровом или графическом виде (в последнем случае — с помощью автоматических координатографов). Имеющуюся в блоке памяти топографическую информацию можно периодически дополнять и обновлять. При создании фотокарт полученное аэрофотоизображение сочетается с необходимой графической нагрузкой, наносимой условными знаками. В необходимых случаях сочетают различные методы съемок.

Существуют аэротопографические и наземные методы съемок. К наземным методам съемок относятся: мензульная, тахеометрическая, фототеодолитная, нивелирование поверхностей, а также горизонтальная и вертикальная съемки.

Выбор метода топографической съемки обусловлен технико-экономическими соображениями, которые учитывают большое число факторов: заданный срок завершения отдельных видов инженерных изысканий, масштаб карты и сечение рельефа, характер местности, климатические, транспортные и другие условия, техническое оборудование, наличие специалистов и т. д. В первую очередь стремятся выполнить аэротопографическую съемку, которая позволяет начать инженерные изыскания сразу же после летно-съемочных работ и выпуска промежуточной продукции — аэрофотоснимков и фотосхем. Аэротопографическая съемка наиболее удобна не только при изучении топографических условий, но и в процессе производства других видов изыскательских работ. На основе ее построены аэрометоды инженерных изысканий.

Для масштабов 1:5000 и 1:2000 наземные методы съемок применяются тогда, когда по экономическим и техническим соображениям нецелесообразно применять аэротопографическую съемку. Для застроенных территорий обычно применяют горизонтальную и вертикальную съемки, для незастроенных — тахеометрическую.

Крупномасштабная аэрофотографическая съемка, основанная на применении универсальных высокоточных стерео-фотограмметрических приборов с автоматической регистрацией координат, является наиболее прогрессивным методом инженерно-топографической съемки. Аэрофотографическая съемка выполняется в более мелком масштабе, чем масштаб изыскательского плана, например, для создания планов в масштабе 1:500—1:1000 она осуществляется в масштабах 1:2000 — 1:4000, а для создания планов в масштабе 1:2000—1:5000 — в масштабах 1:7000— 1 : 12 000.

Перед аэрофотосъемкой выполняют *маркирование*. Обычно маркируют точки геодезического обоснования, опознавательные знаки, ориентирующие точки и точки сооружений.

Аэрофотосъемку застроенных территорий обычно выполняют ранней весной или поздней осенью, когда отсутствуют листья на деревьях и кустарниках; в ранние утренние и поздние вечерние часы; в пасмурную погоду при сплошной облачности.

К процессу полевых работ при аэрофотографической съемке производят плановую, планово-высотную и высотную привязки аэрофотоснимков, полевую съемку рельефа и дешифрирование контуром.

Элементы ситуации опознают и вычерчивают в условных знаках на фотопланах или отдельных аэрофотоснимках в процессе топографического и специального (или тематического) дешифрирования.

Технологию аэрофотографической съемки застроенных территорий выбирают в зависимости от масштаба съемки, характера рельефа и характера застройки. При съемках в масштабах 1:5000 и 1:2000, а также в масштабах 1:1000 и 1:500 в случае малоэтажной застройки контуры планов получают путем составления фотопланов или ортофотопланов, а также графических планов (для масштаба 1 : 2000), создаваемых с помощью универсальных стереоприборов. Съемку рельефа выполняют либо топографическими стереометрами, либо универсальными приборами. Для застроенных территорий часто выполняют съемку в масштабе 1 : 2000, по результатам которой составляют фотокарты масштаба 1 : 5000.

При густой многоэтажной застройке и в горных районах контуры получают с помощью универсальных стереоприборов в виде графических планов, а рельеф — с помощью внутриквартальной съемки. На незастроенных территориях производится стереоскопическая съемка рельефа.

Обработку аэрофотосъемки ведут на универсальных приборах с составлением графических планов, часто на пластиковой основе, и ортофотопланов. При этом с помощью регистрирующего устройства определяют фотограмметрические координаты необходимых точек (в обычной записи и на перфоленте). На электронно-вычислительной машине эти координаты преобразуются в геодезические, которые используются для проектирования сооружений, переноса проектов в натуру и дополнительной съемки.

Крупномасштабные планы городов и заводских территорий составляют методами аналитической фотограмметрии, которые отличаются особой точностью. На высокоточном стереокомпараторе измеряют координаты точек стерео-У0 к in местности и составление плана ведут на координатографе с программным управлением.

В случае невозможности применения аэрофотографической съемки выполняют топографическую съемку аналитическими, графическими или графоаналитическими методами.

Тахеометрическую съемку применяют при съемках застроенных территорий, небольших участков местности, съемках вдоль трасс линейных сооружений, в неблагоприятных условиях, а также в сочетании с другими видами съемок. Главное преимущество ее заключается в быстроте съемки одним измерительным прибором — тахеометром.

Съемочным обоснованием при тахеометрической съемке являются точки опорных сетей, построенных аналитическими методами, или пункты тахеометрических ходов, прокладываемых одновременно со съемкой для сгущения опорных сетей. Станциями при тахеометрической съемке служат пункты триангуляции, полигонометрии, съемочного обоснования, тахеометрических ходов, а также переходных (висячих) точек.

**Нивелирование поверхности** применяют для составления топографических планов при слабовыраженном рельефе. Различают следующие способы нивелирования поверхностей: прокладывание нивелирных ходов по характерным линиям рельефа с разбивкой поперечников и построение на местности правильных геометрических фигур, покрывающих собой всю площадь, подлежащую съемке.

При первом способе, который применяется обычно на закрытой местности, прокладывают ряд параллельных нивелирных ходов. Такие ходы привязывают к топографической основе. Параллельные нивелирные ходы связывают между собой перемычками. Расстояния между ходами не должны превышать 1000 м при съемке в масштабе 1 : 2000 и 600 м — при съемке в масштабах 1:500 и 1:1000. От нивелирных ходов разбивают поперечники через 40 м при съемке в масштабе 1:2000 и через 20 м — при съемке в масштабах 1:1000 и 1:500. Длина поперечников не должна превышать 500 м при съемке в масштабе 1:2000 и 300 м — при съемке в масштабах 1 : 1000 и 1:500. По поперечникам с помощью ленты разбивают пикетаж и нивелированием определяют высоты пикетов.

При съемке больших территорий прокладывают магистральный ход, на котором устанавливают постоянные реперы не реже, чем через 500 м. Магистраль в плане закрепляют, прокладывая по ее точкам теодолитные ходы с привязкой к пунктам государственной сети.

При втором способе, который применяется на открытой местности, прокладывают теодолитные и нивелирные ходы по контуру основных фигур со сторонами 200—400 м. Такие ходы привязывают к опорной геодезической сети. Вершины углов поворота закрепляют на местности. Затем заполняющие фигуры разбивают внутри основных. Наиболее часто нивелирование поверхности выполняют по сети квадратов. Размеры квадратов должны быть 40 м при съемке в масштабе 1:2000 и 20 м — при съемке в масштабах 1:1000 и 1:500. Производство работ при нивелировании этим способом значительно ускоряется, если применить троса дайной 50 м и 100 м, размеченные через 20 м.

После составления планов в карандаше их проверяют в поле, корректируют и вычерчивают в туши. При нивелировании поверхностей рельеф рисуют аналогично рисовке при мензульной или тахеометрической съемках. Высоты сечения рельефа на таких планах обычно небольшие (0,2; 0,25; 0,5 м) и выбирают их в зависимости от требований проектирования и масштаба съемки.

В последнее время в практике инженерных изысканий нивелирование поверхностей осуществляют также с помощью оптических квантовых генераторов (ОКГ), создающих светящуюся «лазерную плоскость», с помощью которой берут отсчеты по рейкам, устанавливаемым на нивелируемой поверхности. Использование лазера повышает производительность труда и ускоряет выполнение полевых работ.

**Фототеодолитная** съемка получила широкое распространение при съемках отдельных районов городов и промышленных объектов, фасадов зданий, карьеров, открытых горных районов, при наблюдениях за деформациями сооружений и т. д.

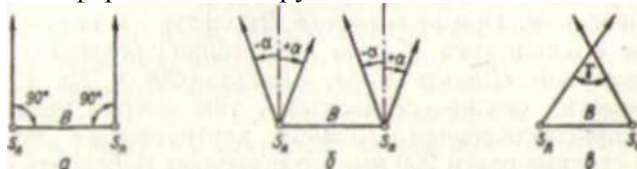


Рис.3.2

Сущность фототеодолитной съемки заключается в том, что топографический план получают с помощью специальных приборов — фототеодолитов, устанавливаемых на земной поверхности на концах базиса. Дальнейшую обработку снимков и получение пространственных координат точек объекта производят фотограмметрическими приборами в лабораторных условиях.

Преимуществами фототеодолитной наземной съемки перед другими способами являются возможность одновременного определения координат значительного количества точек, а также точек, недоступных для непосредственного измерения, определение смещений точек на сооружениях в один физический момент, уменьшение объема полевых работ, снижение стоимости геодезических работ и др. Недостатками этого способа являются сравнительная сложность и громоздкость оборудования, необходимость фотообработки и обработки результатов на фотограмметрических приборах, относительно высокая стоимость оборудования, наличие «мертвых зон» и др.

Перед производством полевых работ на крупномасштабной карте намечают расположение базисов. В процессе полевого обследования корректируют места стоянок фототеодолитов с учетом возможно более полной съемки «мертвых пространств». Досъемка таких участков осуществляется для масштабов 1:2000 и 1:5000 аэрофотограмметрическим методом, а для масштабов 1:2000, 1:1000 и 1:500 — методами наземной съемки.

В процессе фототеодолитной съемки выполняют фотограмметрические и геодезические работы. При фотограмметрических работах устанавливают штативы с приборами на концах базиса

и фотографируют объект с левого и правого штативов. Для контроля наблюдения выполняют несколько раз и получают 2—3 пары снимков. При фотографировании следят за плотным прижатием пластинки к прикладной рамке камеры.

При геодезических полевых работах на фотостанции измеряют базис, ориентируют его (определяют дирекционный угол) и определяют превышение одного конца базиса над другим. Ориентирование базиса выполняют теодолитом Theo-020 или ему равноточным, превышение определяют измерением вертикальных углов, а длину базиса — непосредственным измерением или параллактическим способом.

Станции фототеодолитной съемки обычно привязывают к пунктам геодезической основы засечками, микротриангуляцией или теодолитными ходами. Привязку контрольных точек осуществляют с пунктов базиса или пунктов опорной сети. В процессе полевых работ выполняют также топографическое дешифрирование, при котором опознают детали и предметы местности, которые нельзя определить при камеральном дешифрировании (отдельные здания, линии связи и электропередач, гидрографическую сеть и пр.).

Горизонтальная съемка застроенных территорий включает съемку проездов и внутриквартальную. При съемке ситуации различают четкие контуры — капитальные сооружения и нечеткие — некапитальные сооружения.

Геодезической основой для съемки проездов и внутриквартальной съемки являются государственные геодезические сети I, II, III и IV классов, сети сгущения 1-го и 2-го разрядов и съемочные обоснования, главным образом теодолитные ходы и микротриангуляция.

*Способы съемки проездов* существуют следующие: способ перпендикуляров, полярный, угловых и линейных засечек, створов и комбинированный (графоаналитический).

При *способе перпендикуляров* положение точки определяется абсциссой  $x$  и ординатой  $y$ . Абсциссой является расстояние от точки съемочного обоснования по стороне теодолитного хода, а ординатой — перпендикуляр, восстановленный со стороны теодолитного хода до определяемой точки. Перпендикуляр восстанавливается теодолитом, эккером или глазомерно. Длина перпендикуляров не должна превышать 4 м в масштабе 1 : 500, 6 м — в масштабе 1 : 1000 и 8 м — в масштабе 1 : 2000. Если длины перпендикуляров превышали указанные значения, то они подкрепляются засечками. При применении эккера длины перпендикуляров для масштабов 1 : 500, 1 : 1000 и 1 : 2000 увеличивают до 20 м, 40 м и 60 м.

Положение контурной точки можно определить не только восстановлением перпендикуляра со стороны хода, но и опусканием его из точки на линию хода. В таком случае ноль рулетки устанавливают в снимаемой точке и по кратчайшему направлению измеряют расстояние до стороны хода. Длину перпендикуляров при съемке четких контуров определяют с точностью до 1 см, нечетких — с точностью до 0,1 м.

При *полярном способе* съемки положение точки определяют углом, измеренным от опорной линии до снимаемой точки, и расстоянием до нее. При этом способе углы измеряют теодолитом при одном положении круга с точностью до  $\Gamma$ , а расстояния — металлической рулеткой, лентой или дальномером.

Если нельзя выполнить линейные измерения до определяемой точки, применяют *способ угловых засечек*. При этом с двух пунктов базиса измеряют два угла на определяемую точку. Базисом может служить сторона теодолитного хода. Углы измеряют так же, как и при полярном способе. Угол засечки должен находиться в пределах от  $30^\circ$  до  $150^\circ$ .

Если имеется возможность произвести линейные измерения, применяют *способ линейных засечек*. Положение точки определяют линейными промерами рулеткой, лентой или дальномером с опорной линии. Длины линий засечек не должны превышать длины мерных приборов (20—50 м). Треугольник засечки стараются сделать равносторонним. Важные контуры — углы кварталов, капитальных зданий и т. п. определяют с трех точек линейными засечками.

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

И процессе съемки проездов снимают ситуацию и обмеряют фасады зданий. В нужных местах между снятыми точками противоположных сторон фасадов делают контрольные промеры. Такими измерениями по диагонали связывают углы кварталов. В процессе съемки проездов составляют абрис (за исключением комбинированного способа).

*Внутриквартальную съемку* выполняют после съемки проездов. Перед внутриквартальной съемкой для облегчения выполнения работ на планшет с абрисов накладывают снятую ситуацию проездов и фасадов. Если пунктов съемочного обоснования недостаточно, прокладывают сети сгущения в виде диагональных ходов, висячих теодолитных ходов, разбивки створных точек, различного вида засечек и т. п. Точность положения точек сетей сгущения должна соответствовать точности производства съемки.

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

По результатам горизонтальной съемки составляют топографический план. Вначале проверяют полевые документы и проводят необходимые вычисления. Затем на планшете строят координатную сетку. Пункты съемочного обоснования, контуры и объекты наносят в той же последовательности, что и при съемке.

Составив план в карандаше, проверяют вначале точки съемочного обоснования, а затем — ситуации. При камеральной проверке элементы составленного плана сверяют с абрисами. После этого осуществляют полевой контроль, сличают план с местностью, делают контрольные промеры и доснимают пропущенные места. Расхождения между расстояниями, взятыми с плана и полученными при контрольных промерах, не должны превышать 0,4 мм в масштабе плана.

**Вертикальная** съемка применяется для нивелирования проездов, застроенных территорий и отдельных элементов ситуации, высотное положение которых следует определить по заданию заказчика.

По оси проездов прокладывают нивелирные ходы, которые должны опираться на реперы нивелирования I—IV классов и технического нивелирования. Определяют отметки в характерных местах перегибов рельефа. Разбивают поперечники и определяют отметки у фасадной линии, на оси проезда, на бровках и дне кюветов, а также на всех характерных точках рельефа. Если горизонтальная съемка выполнялась комбинированным способом, то специальной высотной съемки не проводят. Высоты пикетов на застроенных территориях определяют не реже чем через 50 м при съемке в масштабе 1:2000, 30 м — при съемке в масштабе 1:1000 и 20 м — при съемке в масштабе 1:500. Максимальное расстояние от инструмента до рейки не должно превышать 150 м.

При плотной застройке и на равнинной местности вертикальную съемку производят нивелиром, а на холмистой — тахеометром. При нивелировании застроенных территорий определяют отметки цоколей зданий, головок рельсов, бетонированных лотков, урезов воды, входов в здания и т. п. На территориях с плотной застройкой разрешается не проводить горизонталей, а выписывать только отметки точек.

Инженерным изысканиям сопутствуют **специальные съемки**. К ним относятся габаритная съемка и съемка подземных коммуникаций.

**Габаритная съемка** — это обмер сооружений. Результаты ее представляются в виде рабочих строительных чертежей. Если такие проектные или исполнительные чертежи сохранились, то результаты обмера современного состояния сооружений представляются на них. При отсутствии этих чертежей производится съемка в крупных масштабах (1:100–1:20) основных габаритов сооружений, строительных конструкций и их элементов. Для выполнения габаритной съемки строится пространственная геодезическая основа. В последнее время для габаритной съемки успешно применяется наземная фототеодолитная съемка с обработкой снимков на стереокомпараторе, стереоавтографе или стереопланиграфе. В результате этой обработки получают пространственные координаты точек сооружения или план-чертеж сфотографированного объекта, например фотоплан фасада здания, составленный по трансформированным снимкам. Такое трансформирование выполняется на несколько конструктивных плоскостей.

Для выполнения габаритной съемки нужно знать конструктивные элементы зданий и сооружений, назначение и условия их работы. Это дает возможность при съемке обращать внимание на те особенности конструкций, которые обусловили необходимость самой съемки.

Разновидностями габаритной съемки являются *архитектурные обмеры* старинных и уникальных зданий и сооружений, обмеры строительных работ, результаты которых имеют контрольно-учетный характер.

#### **Съемка подземных коммуникаций.**

*Виды подземных коммуникаций.* Современные промышленные и гражданские сооружения характеризуются большой сетью подземных коммуникаций, число которых вдоль отдельных проездов доходит до нескольких десятков. Для технической инвентаризации коммуникаций при

их эксплуатации, решения проектных задач при реконструкции и расширении сооружения необходимо иметь точные и полные планы подземного хозяйства с отражением в них всех имевших место изменений и дополнений.

С точки зрения геодезических измерений все подземные коммуникации можно разделить на три вида.

1. **С а м о т е ч н ы е т р у б о п р о в о д ы**, отводящие загрязненные сточные воды к очистным сооружениям (промышленная и бытовая канализация) и атмосферные воды в водоемы (ливневая канализация) и построенные из неметаллических труб: железобетонных при диаметре труб 600 мм и выше и асбестоцементных, керамиковых при малых диаметрах. В канализации в местах присоединения труб, поворотов трассы, перемены диаметров и уклонов устраивают колодцы (камеры). На прямых участках канализационных коллекторов колодцы строят через 50—100 м. Переходы коллектора через реки и каналы осуществляют при помощи напорного подводного джукера.

К самотечным трубопроводам относится также дренаж, который строят для понижения уровня грунтовых вод из небольших (0,3—0,5 м) асбестоцементных, гончарных и других труб диаметром 150—200 мм. Грунтовые воды поступают в дренажные трубы через миллиметровые стыки труб или мелкие отверстия в стенках и отводятся в общий коллектор.

При укладке самотечных трубопроводов строго соблюдают проектные уклоны, минимальная величина которых для труб диаметром 200 мм составляет 0,005, диаметром 600—1000 мм — 0,003—0,001 и для диаметра 1250 мм и более — 0,0005. Лотки труб в подходах к коллектору от зданий и дождеприемных колодцев обычно располагают по уклону на глубине промерзания. Сами же коллекторы на больших площадках, несмотря на очень маленькие уклоны их лотков, чтобы обеспечить сток, приходится укладывать на значительную глубину (3—5 м и более).

2. **Н а п о р н ы е т р у б о п р о в о д ы**, транспортирующие под давлением жидкостные и газовые продукты и состоящие в основном из стальных труб (водопровод, теплофикация, газопровод и др.).

Водопровод различают по назначению: хозяйственно-питьевой, противопожарный, промышленный. В колодцах, расположенных примерно через 100 м, устраивают задвижки для выключения подачи воды и пожарные гидранты; в пониженных местах строят выпуски для возможного слива воды в случае аварии. Линия водопровода укладывается ниже глубины промерзания с уклоном около 0,001.

Тепловые сети применяют для отопления и горячего водоснабжения и укладывают бесканальными в теплоизоляции и в каналах или подземных туннелях с уклоном 0,002—0,003. В сетях через 150—200 м устраивают П-образные температурные компенсаторы. Сети заглубляют на 0,5—0,7 м ниже поверхности земли. Переходы через реки и дороги делают в виде надземных эстакад.

Газопроводы разделяются на линии высокого, среднего и низкого давления и закладываются на глубину от поверхности земли до верха трубы 0,7 м. На газопроводах устраивают колодцы с задвижками и коверы — контрольные трубки для выявления утечки газа, выведенные на поверхность земли и покрытые металлическими крышками, конденсационные горшки для сбора и удаления конденсированной воды, в связи с чем трубопроводу придается определенный уклон, температурные компенсаторы. На промышленных площадках, кроме газопроводов, прокладывается большая сеть специализированных технологических трубопроводов, часто идущих параллельно многими нитками.

3. **К а б е л ь н ы е с е т и** разделяются на силовые кабели высокого и низкого напряжения, используемые для электротранспорта и освещения, и на слаботочные линии для телефонной и телеграфной связи, радиовещания, сигнализации. Кабели прокладывают в блоках из бетонных, асбестоцементных и других труб или непосредственно по дну траншеи (в песок), прикрывая их сверху рядом кирпича. Глубина закладки кабеля 0,7—1 м, а силовых кабелей напряжения 110 кВ и более—1,5—1,8 м. Иногда подземные сети размещают в общих подземных туннелях, построенных из сборных железобетонных элементов. В одной или двух секциях туннеля укладывают водопровод, теплофикацию, кабели силовые и связи. При размещении в туннеле самотечных трубопроводов он должен строиться с соответствующим уклоном, а для укладки газопровода — быть оборудованным вентиляцией.

Подземные коммуникации, как правило, проектируют не ближе 2—3 м от фундаментов зданий и сооружений (кабели могут быть расположены в 0,5 м). Минимальное расстояние в свету



между коммуникациями в зависимости от их вида может составлять 0,5—1 м. Только для газопровода высокого давления это расстояние должно быть не менее 4—5 м.

*Требования к точности съемки.* Точность плановой съемки всех видов коммуникаций примерно одинакова. На застроенных территориях средняя квадратическая ошибка в положении отдельных линий между собой и по отношению к фундаментам сооружений допускается 0,10—0,15 м. На незастроенной территории и подходах с редкой сетью коммуникаций эта ошибка может доходить до 0,5 м.

Точность высотной съемки коммуникаций зависит от требований к соблюдению проектных отметок и уклонов. Для самотечных трубопроводов ошибку в отметках лотков соседних колодцев допускают не более 5—10 мм, а отклонение от проектных уклонов — до 10—20% от величины самого уклона, равного для труб больших диаметров 0,001—0,0005. Поэтому здесь высоты определяют геометрическим нивелированием. В напорных трубопроводах уклоны выдерживаются с меньшей точностью и возможно применение тригонометрического нивелирования. На кабельных линиях глубина заложения определяется простым промером от поверхности земли.

На промышленных и городских территориях подземные сети снимают в масштабе 1 :500, в особенно сложных местах планы составляют в масштабе 1 :200.

*Методы съемки.* Самым простым и в то же время самым точным и достоверным методом является исполнительная съемка уложенных подземных коммуникаций в незасыпанных траншеях, т. е. в процессе их строительства. В плане узловые колодцы, вершины углов поворота, вводы коммуникации и другие точки привязывают к пунктам геодезического обоснования или к осям сооружений. По высоте трубопровод нивелируют.

На территориях, где не производилась вертикальная планировка (подходы к строительным площадкам, участки нефтегазопромыслов и др.)» хорошие результаты по выявлению давно уложенных подземных сетей может дать к р у п н о м а с ш т а б н а я а э р о ф о т о с ъ е м к а . Предварительно в натуре маркируют все обнаруженные колодцы и выходы сетей. Изучая аэрофотоснимки под стереоскопом, прослеживают линии отдельных коммуникаций. Демаскирующими признаками при этом служат впадины или насыпи грунта вдоль траншей, отличие тона грунта засыпанной траншеи от окружающей среды, отличие растительности на траншее и местности и др.

Для составления планов подземных коммуникаций на заводских и городских территориях, где отсутствует исполнительная документация, приходится прибегать к методу ш у р ф о в а н и я , т. е. к рытью глубоких поперечных траншей на некотором расстоянии одна от другой. Проект шурфов составляют с учетом обнаруженных выходов на поверхность подземных сетей и имеющейся документации и располагают их с таким расчетом, чтобы можно было с достаточной достоверностью выявить все коммуникации. Шурфы (траншеи) разбивают в натуре и осторожно роют их, обнажая трубопроводы и кабели. Стремятся определить повороты линий, вводы в здания, отводы и дать им характеристику. При глубине заложения более 1 м положение коммуникации на поверхности фиксируют при помощи отвеса для последующей привязки к пунктам съемочной сети или к сооружениям. Плановая привязка производится линейными промерами между зафиксированными на поверхности точками по створам, положение которых известно. Высотная привязка выполняется нивелированием.

Метод шурфования весьма дорогостоящий. Однако он не гарантирует определение подземных коммуникаций от пропусков и ошибок.

В последние годы широко используют для выявления подземных коммуникаций специальные индуктивные приборы — т р у б о - и к а б е л е й с к а т е л и . Эти приборы состоят из трех основных узлов: генератора звуковой частоты, приемного устройства с поисковым контуром (антенной) и индикаторной частью (головными телефонами), источника питания и рассчитаны на определение планового положения и глубины залегания металлических трубопроводов и кабельных линий.

#### ИНДУКТИВНЫЙ МЕТОД ПОИСКА ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

В основе индуктивного метода поиска подземных коммуникаций лежит принцип электромагнитной индукции. При помощи задающего генератора, подключенного к отыскиваемой токопроводящей коммуникации, вокруг нее искусственно создается переменное электромагнитное поле звуковой частоты. Магнитная составляющая этого поля будет индуцировать во внесенном в поле замкнутом контуре переменный ток той же частоты. Так как напряженность магнитного поля изменяется в плоскости, перпендикулярной к направлению токопроводящей коммуникации, то, перемещая в этой плоскости приемное устройство (антенну), наблюдатель по изменению



индукционного тока (звукового сигнала в телефонах) может судить о местоположении коммуникации.

Напряженность магнитного поля прямолинейного цилиндрического проводника, помещенного в однородной непроводящей среде, согласно закону Био—Савара изменяется по гиперболической кривой

$$H = 2(I/r),$$

где  $H$  — вектор магнитной напряженности;  $I$  — сила тока, протекающего в проводнике (коммуникации);  $r$  — радиус-вектор, в нашем случае расстояние от оси коммуникации до точки наблюдения на дневной поверхности в плоскости, перпендикулярной к направлению трассы (рис.2.1). Векторы  $H$  и  $r$  в любой точке поля взаимно нормальны.

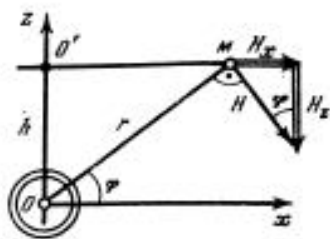


Рис.3.3

*Индуктивные приборы поиска (трубокабелеискатели).* Все применяемые приборы поиска подземных коммуникаций построены на одном и том же принципе и различаются лишь схемами и техническими характеристиками. Они состоят из двух блоков: передающего  $I$  и приемного  $II$  (рис.3.3). Передающий блок включает генератор  $\Gamma$  с управляющим устройством, питание (батареи)  $B_1$  провода заземления  $3$  и подключения к коммуникации (контакта)  $K$ . Генератор служит для создания переменного электромагнитного поля звуковой частоты и снабжается модулятором.

Приемное устройство (поисковый контур) состоит из магнитной антенны  $A_1$ , каскада усиления  $У$  с источником питания индикаторной части (головных телефонов)  $B_2$ . При перемещении антенны в магнитном поле токопроводящей коммуникации в ней возбуждается индукционный ток, который усиливается и подается в головные телефоны. Для ослабления влияния индукционных токов с частотой, отличающейся от модулируемой генератором (обычно 1000 Гц), усилительное устройство имеет помехозащитные фильтры. Кроме звуковой индикации, некоторые приборы имеют визуальную индикацию (миллиамперметр).

Магнитная антенна представляет собой катушку индуктивности на ферритовом стержне, имеет длину 0,2 м и укреплена на метровой ручке под прямым углом или под углом  $45^\circ$ .

Трубокабелеискатели по своим техническим характеристикам разделяются на три класса.

**П р и б о р ы I к л а с с а** имеют мощность генератора на выходе 35—50 Вт, коэффициент усиления поискового контура не менее 10 000, снабжены помехозащитным фильтром. В благоприятных условиях дальность прослушивания коммуникации без переключения генератора составляет около 2 км. К приборам I класса относят ВТР-IVM, ВТР-V, ТПК-1.

**П р и б о р ы II к л а с с а** имеют мощность генератора на выходе до 20 Вт, коэффициент усиления — 2000. В благоприятных условиях длина участка прослушивания приборами этого класса составляет около 1 км. К приборам II класса относят ВТР-IV, ИПК-2, ТКИ-2.

**П р и б о р ы III к л а с с а** применяются для обнаружения кабельных линий (ИП-7, ГКИ). Они имеют небольшую мощность (до 2 Вт) и небольшой коэффициент усиления (1000). В благоприятных условиях дальность прослушивания может быть до 0,5 км. Из всех этих приборов наиболее уверенный поиск подземных коммуникаций обеспечивают ВТР-V и ИПК-2. стороны поперечника, где эти сети находятся дальше.

*Точность индуктивного метода.* Основными источниками ошибок индуктивного метода являются разрешающая способность прибора поиска, установка в заданное положение антенны приемного устройства, влияние внешних помех.

**Р а з р е ш а ю щ а я с п о с о б н о с т ь п р и б о р а** определяется главным образом его чувствительностью, т. е. минимальным значением перемены напряженности индукционного магнитного поля в приемном устройстве, которую наблюдатель еще может различать как изменение звучания сигналов. Зафиксированная на местности полоса чувствительности прибора и является его разрешающей способностью — приборной точностью, величина которой зависит от

параметра прибора, глубины залегания коммуникации, а также остроты слуха наблюдателя и может составлять в плане до 5 см, по высоте около 10 см (при глубине до 3 м).

Установка антенны в заданное положение при поиске коммуникации (в отвесное положение или на угол  $45^\circ$  относительно местности) производится на глаз, в результате чего допускается отклонение в среднем около  $1^\circ$ . Это вносит ошибку в определение планового положения коммуникации

$$m_x = \frac{1^\circ}{\rho^\circ} h$$

и по высоте (глубине)

$$m_h = \frac{1^\circ}{\rho^\circ} \frac{h}{\cos^2 45^\circ} = 2h \frac{1^\circ}{\rho^\circ},$$

что при  $h = 3$  м составляет соответственно 5 и 10 см.

Внешние помехи, создаваемые посторонними источниками переменного тока, оказывают сильное влияние на наблюдаемое магнитное поле. При поисках одиночных коммуникаций блуждающие токи приводят к неблагоприятным условиям слышимости сигналов, в результате чего затрудняется определение минимума звучания и понижается разрушающая способность приемного устройства. В этих условиях резко уменьшается дальность уверенного прослушивания сигналов и приходится часто переставлять по трассе генератор.

Более сложное явление наблюдается, когда рядом с определяемой коммуникацией находятся другие токопроводящие подземные сети, создающие свое магнитное поле. В результате сложения этих полей вектор магнитной напряженности смещается, и наблюдатель фиксирует на местности максимумы и минимумы этого суммарного поля, не соответствующие створу искомой коммуникации («ложные экстремумы»). Особенно большое искажение поля наблюдается, если расстояние между коммуникациями меньше глубины их залегания. Даже контактный способ не дает уверенных результатов, так как не исключена возможность наведения электромагнитного поля, создаваемого генератором, на идущую рядом коммуникацию. Более надежные результаты могли бы дать наблюдения на разных частотах, т. е. применение многочастотных генераторов.

Значительное влияние на точность поиска подземных коммуникаций оказывает влажность грунта. При большой влажности происходит ослабление магнитного поля и, следовательно, понижение точности поиска коммуникаций.

Из анализа ошибок индуктивного метода и экспериментальных исследований установлено, что точность этого метода главным образом зависит от глубины залегания коммуникаций  $h$  и в зоне уверенного прослушивания сигналов может быть выражена следующими средними квадратическими ошибками:

а) в плане

$$m_{пл(см)} = 7,5h (м);$$

б) по высоте

$$m_{h(см)} = 13h (м).$$

Большинство токопроводящих коммуникаций заглубляется до 2 м, и, следовательно, при использовании индуктивного метода они могут быть определены в благоприятных условиях с ошибками  $m_{пл} = 15$  см и  $m_h = 26$  см.

Съемка подземных коммуникаций, включает следующие виды работ: подготовительные работы; рекогносцировку сетей на местности и обследование колодцев и выходов; определение индуктивным методом планового положения и глубины подземной коммуникации; контрольные промеры и определение неметаллических трубопроводов методом шурфования; развитие планового и высотного геодезического обоснования; привязку (съемку) подземных коммуникаций; составление планов и профилей коммуникаций.

*Подготовительные работы.* Для успешного применения электронных приборов поиска на промышленных и городских территориях требуется определенный навык в работе с приборами и проведение больших подготовительных работ. До начала полевых наблюдений собирают и анализируют имеющуюся на площадке техническую документацию: проектные планы и профили сетей, материалы разбивочных работ и исполнительных съемок строительного периода, документы технической инвентаризации коммуникаций и обмеров колодцев, общие и детальные схемы сетей эксплуатационных служб, крупномасштабные планы территории и др. На основании этих материалов составляют схематический план подземных сетей и детальные схемы отдельных

коммуникаций. Также собирают сведения об имеющейся на территории съемки геодезической основе и ее точности.

*Рекогносцировка сетей.* Совместно со специалистами эксплуатационных служб составленные схемы отдельных видов коммуникаций уточняют при рекогносцировке на местности, при этом обследуют колодцы и учитывают видимые признаки и выходы отдельных сетей. По уточненным схемам устанавливают способы поиска отдельных видов коммуникаций, места контрольных промеров на сложных и сомнительных участках.

Одновременно проверяют сохранившиеся в натуре пункты планового и высотного геодезического обоснования и разрабатывают проект развития геодезических сетей (сгущения и съемочных), достаточных по плотности и точности для съемки подземных коммуникаций и примыкающих к ним сооружений, составляют план съемочных работ.

*Поиски коммуникаций.* В соответствии со схемой подземных сетей и принятым планом съемочных работ на всех углах поворотов и ответвлениях и через 50 м на прямых участках производят индуктивным прибором поиск и определение планового положения и глубины отдельных токопроводящих коммуникаций способами. Следует иметь в виду, что на площадках с большим количеством подземных сетей сильно возрастают внешние помехи и точность индуктивного метода поиска резко понижается. Здесь могут быть пропущены отдельные ответвления и даже целые линии. Весьма трудно отличить коммуникации, идущие рядом. На подходах к подстанциям и промышленным установкам, где в отдельных каналах сосредоточено большое число кабельных линий и технологических трубопроводов, при помощи трубокабелеискателей можно определить лишь полосу ввода коммуникаций, а не положение каждой линии в отдельности. Поэтому при съемке подземных сетей в неблагоприятных условиях приходится в сомнительных местах прибегать к шурфованию.

Для обнаружения индуктивным методом неметаллических трубопроводов (канализация, дренаж) можно ввести в колодец медный провод с поплавком и пропустить его на некоторое расстояние. Подключив провод к генератору, создают вокруг него электромагнитное поле, по которому поисковым контуром определяют направление трубопровода. Более надежные результаты этим способом можно получить, если воду в колодце подсолить или подкислить, сделав ее токопроводящей. Иногда при строительстве неметаллических коммуникаций сверху труб специально укладывают металлическую проволоку, по которой она при необходимости может быть обнаружена индуктивным прибором. О недостатках при малой точности таких способов говорить не приходится.

Для поиска неметаллических трубопроводов рекомендован высокоточный радиоволновый метод — *р а д и о п р о ф и л и р о в а н и е*, который широко используется при инженерно-геологических и горнотехнических работах. В этом методе используется диэлектрическая проницаемость среды: над пустотелыми сооружениями (трубопроводы, каналы, туннели) наблюдается резкое понижение напряженности вторичного магнитного поля.

По этому признаку фиксируют в натуре положение оси коммуникации в плане с точностью 0,1—0,2 м, по высоте — около 1 м.

Радиоволновое устройство состоит из генератора с частотой модуляции 1,76 МГц, приемника с рамочными антеннами, двух блоков питания. При поисках генератор и приемник с антеннами, установленные на теодолитных штативах, располагают на поперечниках по разные стороны от оси коммуникации на некотором расстоянии один от другого. Генераторную антенну приводят по отвесу в вертикальное, а приемную по уровню — в горизонтальное положение. При помощи теодолита производят взаимное ориентирование антенн, чтобы вертикальная плоскость витков генераторной антенны с точностью 6' проходила через центр приемной антенны. По поперечнику через каждые 0,5—1 м определяют величины напряженности магнитного поля  $H_z$ , по которым находят положение трубопровода (рис. 3.4).

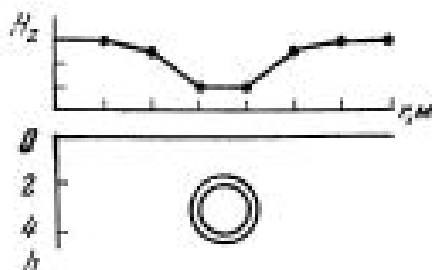


Рис.3.4

Метод радиопрофилирования требует дальнейшего исследования применительно к поискам коммуникаций и выявлению его точности в зависимости от диаметров труб и глубины их залегания, влияния внешних помех, инженерно-геологических условий и др.

Применение индуктивных и радиоволновых приборов облегчает отыскание трубопроводов и кабельных линий, но не решает задачи съемки подземных сетей в целом. Точность метода, особенно по определению глубины коммуникаций, его надежность недостаточны. Главным методом съемки, дающим наиболее точный, достоверный и полноценный материал, и при этом наиболее экономически эффективным, был и остается метод исполнительной съемки коммуникаций в незасыпанных траншеях в процессе их строительства.

*Геодезическая привязка.* Все точки по оси коммуникаций, выявленные при помощи электронных приборов поиска (индуктивных, радиопрофилирования) или установленных методом шурфования, а также все колодцы, выпуски и другие выходы подземных коммуникаций привязывают аналитическим методом с относительной ошибкой измерений порядка  $\pm 2000$  к пунктам геодезической основы и съемочного обоснования, а на застроенной территории — и к точкам капитальной застройки.

В колодцах все линейные промеры относят к центру крышки. К вертикальной линии, проходящей через этот центр и проектируемой в колодец нитяным отвесом или оптическим центриром, привязывают габариты стенок и детали колодца, расположение фасонных частей. Для контроля измеряют расстояния между колодцами, вводами коммуникаций и углами зданий. Расхождение контрольных промеров и данных, полученных по координатам, не должны превышать 0,4 мм в масштабе плана.

Отметки труб и лотков коммуникаций определяют от реперов высотного обоснования, точность построения которого рассчитывается с учетом минимальных уклонов трубопроводов. При уклонах канализации 0,001 и менее развивают нивелирную сеть III класса и высоты колодцев и труб определяют нивелированием IV класса. В напорных трубопроводах и канализации с уклоном 0,003 и больше отметки могут определяться соответственно нивелированием IV класса и техническим.

В колодцах нивелируют кольцо люка, поверхность земли (мощения), дно, а также лотки и перепады (в канализации), верх труб (в водопроводе), верх и низ каналов (в теплофикации), входы и выходы (в кабельных линиях).

*Составление планов.* Основным топографическим масштабом планов подземных коммуникаций является 1 : 500. На весьма сложных участках могут составляться планы масштаба 1 : 200, в районах, мало насыщенных коммуникациями, — масштаба 1 : 1000. На этих планах, на планшетах или прозрачных пластиках с надлежащей точностью и полнотой изображают положение отдельных коммуникаций и примыкающих к ним зданий и сооружений принятыми условными знаками с указанием координат и высот углов поворота, узловых колодцев, вводов в здания, а также других данных, необходимых для проектирования.

Дополнительно составляют планы и продольные профили отдельных видов подземных коммуникаций (канализации, водопровода, теплофикации, газопровода и других технологических трубопроводов, кабельных линий) с подробной их аналитической характеристикой: координаты, высоты, уклоны, диаметры труб, расстояние между колодцами и др.

Как уже отмечалось, планы подземных коммуникаций в масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000 являются документами учетно-справочного характера и обычно составляются фотомеханическим путем по планам масштаба 1 : 500 с надлежащим отбором и генерализацией сетей.

#### **Лекция 4. Инженерно-геологические изыскания. Задачи инженерно-геологических изысканий. Геодезические и топографические работы при геологической съемке. Гидрогеологические изыскания**

Инженерно-геологические изыскания являются основной частью инженерных изысканий и преследуют цель выяснения - геологических условий, оказывающих влияние на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений. К этим условиям относят общие физико-географические (рельеф, климат, гидрографию, гидрологию и др.), геоморфологические (строение рельефа и его формирование), гидрогеологические факторы, геологическое строение (стратиграфию, литологию и тектонику), геологические процессы, их интенсивность, физико-механические свойства горных пород, влияющие на прочность и устойчивость оснований сооружений, наличие местных

строительных материалов. Геологические процессы делят на природные или физико-геологические (выветривание, морская и речная абразия, размыв склонов, просадки, оползни, суффозии, пlyingуны, образование оврагов и болот и т. д.) и инженерно-геологические, возникающие при возведении сооружений, в результате деятельности человека. Выполняют инженерно-геологические изыскания специалисты (геологи) в тесном взаимодействии с геодезистами.

Объем и содержание инженерно-геологических изысканий зависят от степени геологической изученности района изысканий, стадии проектирования, характера использования территории для строительства и сложности геологических условий. Изысканиям предшествуют изучение архивных и литературных материалов, рекогносцировочное обследование, определение слабых грунтов, выходов грунтовых вод, условий строительства на соседних участках, составление схематических геологических разрезов, записки, характеризующей природные условия застраиваемой территории, и программы полевых и лабораторных исследований грунтов. Такая программа освещает цель съемки, характер изученности района изысканий, описаний инженерно-геологических условий этого района, обоснование масштаба съемки, границ ее, методику работ, примерное содержание отчетных материалов, стоимость работ и календарный план их выполнения.

Инженерно-геологические изыскания делят на три периода: *подготовительный*, включающий подготовку и оформление задания, сбор и анализ ранее выполненных изысканий, составление программы изысканий; *полевой*, включающий рекогносцировку территории, инженерно-геологическую съемку, геофизическую разведку, горно-геологические и буровые работы, полевые опытные работы, стационарные наблюдения, лабораторные исследования и др.; *камеральный*, связанный с составлением отчета, инженерно-геологических разрезов, геоморфологической, геолого-литологической, гидрогеологической и других карт.

Инженерно-геологическая съемка на разных стадиях проектирования выполняется в различных масштабах. При составлении проекта планировки и размещения первоочередного строительства она производится в масштабах 1 : 5000— 1 : 25 000, для разработки проекта детальной планировки и застройки — укрупняется до масштаба 1 : 1000—1 : 2000.

В процессе инженерно-геологической съемки изучают, фотографируют и описывают естественные и искусственные обнажения горных пород, геоморфологические элементы и физико-геологические явления, проявления водоносности, определяют места заложений геологических выработок, производят отбор проб горных пород и подземных вод для лабораторных исследований, обследуют состояние инженерных сооружений и месторождений строительных материалов. Результаты съемки отражаются в дневнике и на полевых картах. Съемка сопровождается аэрогеологическими, геофизическими, горнопроходческими, буровыми, опытными и лабораторными работами.

При выполнении инженерно-геологических изысканий производят районирование территории по ряду признаков.

По х а р а к т е р у р е л ь е ф а в равнинной степной местности выделяют площадки с *нерасчлененным рельефом*, на водоразделах — с *достаточно выраженным рельефом*, на склонах речных долин и в пределах этих долин — *площадки на надпойменных террасах*. Сразу же отметим, что геоморфологическая характеристика местности, связанная с оценкой высот форм рельефа, определением их соотношений, очертания и размеров, определением возраста рельефа, является исходным критерием для многих инженерно-геологических суждений. Особенно важным является геоморфологический анализ речных долин, выявление террас и их элементов, поперечного и продольного профиля долин и водораздельных пространств характера склонов и др.

По геологическому строению площадки местности делят на четыре категории. При этом учитывают характер пород, залегающих на глубине закладки фундаментов (2—3 м). На *площадках 1 категории* залегают прочные, практически несжимаемые породы, на *площадках 2 категории* — рыхлые, средние и мелкозернистые породы (пески, неплотные песчаные грунты), которые могут дать осадку, особенно под действием динамических нагрузок, на *площадках 3 категории* — равномерно распределенные пластичные сжимаемые породы (глины, суглинки, иловатые отложения), на *площадках 4 категории* — породы различного состава и состояния, неравномерно распределенные.

По гидрогеологическим условиям выделяют *сухие площадки*, без верховодки и с глубиной залегания грунтовых вод, превышающей **глубину** заложения фундаментов, *избыточно-увлажненные площадки* с глубиной залегания грунтовых вод меньше,

чем глубина заложения фундаментов, *частично заболоченные* — *площадки с пестрыми гидрогеологическими условиями*, разной глубиной залегания грунтовых вод, периодической верховодкой. Такое районирование территории имеет существенное значение при инженерно-геологических изысканиях.

На каждой категории площадки, выделенной по рельефу, требуется закладка геологоразведочной выработки. Число таких выработок уменьшается при расчлененности рельефа и наличии естественных обнажений. Число, глубина, тип и способ проходки выработок, число образцов и способ их отбора, объем и содержание полевых и лабораторных исследований зависят от категории площадки по геологическому строению.

Гидрогеологические условия определяют характер стационарных наблюдений за уровнем грунтовых вод в наблюдательных скважинах, определение водопроницаемости пород, скорости и направления грунтовых потоков и т. д.

По совокупности инженерно-геологических условий строительные площадки делят на *простые* — с благоприятными условиями, и *сложные*, когда требуется проведение ряда мероприятий по борьбе с неблагоприятными природными условиями. Инженерно-геологические изыскания на сложных площадках ведутся по особой программе. Такое районирование облегчает инженерно-геологический поиск, преследующий цель выбора участка с наиболее благоприятными геологическими условиями для строительства. Ведется он методами инженерно-геологической съемки с учетом требований, предъявляемых к сооружению. Например, плотины возводят на скальных и нескальных основаниях.

При возведении на скальном основании нужна достаточная прочность горных пород, их монолитность (отсутствие значительных трещин, зон глубокого выветривания, разрушения или размягчения). Избегают участков сброса, слабых пород, особенно с падением в сторону нижнего бьефа и с облегченными условиями фильтрации. Основание должно быть водоустойчивым. Избегают наличия в основании плотин гипсов, ангидридов, сильно загипсованных пород и пластов каменной соли.

При возведении плотин на наскальном основании нужна достаточная несущая способность пород, возможно большая однородность их. Избегают грунтов с прослойками и пластами, легко вымываемыми фильтрационными потоками, со слоями и линзами слабых пород, создающими условия для скольжения плотин в сторону нижнего бьефа. Выбирают места (створы) с породами, имеющими малую и равномерную сжимаемость, достаточную водоустойчивость.

Характеристика геологического строения и гидрогеологических условий дается на глубину, превышающую на 15—20% глубину активной зоны под фундаментами сооружений. Поэтому для изучения геологического строения участка промышленного и гражданского строительства и гидрогеологических условий производят разведочные работы, бурение и шурфование. Скважины размещают в вершинах квадратной сетки (70 X 70, 100 X 100, 250 X 250 м) или по створам, перпендикулярным к направлению реки. Глубина скважин и расстояние между ними зависят от геологического строения и стадии изысканий.

При предварительных изысканиях часто ограничиваются глубиной 10 м и для подсечки пласта большой мощности до 10—15% скважин заглубляют до 30 м. На этой стадии изысканий на 1 км створа размещают от 5 до 15 скважин. Расстояние между створами 150—400 м. Некоторые скважины оборудуют фильтрами для наблюдений за колебаниями уровня грунтовых вод и их химического состава.

Физико-технические свойства грунтов изучают в лаборатории по образцам, отобранным из скважин и шурфов. Такие выработки называют техническими. Пробы отбирают из каждой литологической разности. Одновременно с разведочными работами выполняют инженерно-геологическую съемку района строительства. При этом на топографический план наносят горные выработки, обнажения пород, колодцы и выходы источников.

Детальные инженерно-геологические изыскания производят при составлении рабочих проектов промышленных и гражданских зданий и сооружений. Скважины располагают по осям фундаментов или контуру сооружений на расстоянии от 20 до 50 м друг от друга. Глубина их от 10 до 30 м. Отбор проб производят для каждой литологической разности через 1 м. При бурении устанавливают число водоносных горизонтов, условия залегания, питания и режим. В пределах участка расположения наиболее ответственных сооружений производят испытания грунта статической нагрузкой. Ведутся они по каждой литологической разности, залегающей в пределах сжимаемой толщи. В районе вечной мерзлоты определяют глубину деятельного слоя, участки островной мерзлоты и др.

При проведении геологоразведочных работ осуществляют *геологическое картирование территории* — составляют геологические карты, геологические разрезы, стратиграфические колонки и др. На геологических картах условными знаками показаны площади распространения пород различного возраста, условия их залегания, тектонические разломы. Составляются геологические карты на основе топографических карт разного масштаба.

По назначению геологические карты делят на *обзорные*, показывающие геологическое строение обширных территорий и составляемые в масштабах 1 : 1 000 000—1 : 5 000 000, *региональные*, иллюстрирующие геологическое строение отдельных республик, краев и областей, составляемые в масштабах 1 : 200 000—1 : 500 000, *детальные*, показывающие геологическое строение отдельных районов, составляемые в масштабах 1 : 50 000—1 : 100 000, и *специальные*, составляемые для участков строительства в масштабах 1 : 2000—1 : 50 000.

Обычно выполняют комплексное геологическое картирование, создавая *геологические* или *геолого-стратиграфические карты*, отображающие общее геологическое строение, различные по возрасту толщи; *литолого-петрографические карты*, показывающие распределение пород по вещественному составу; *структурно-тектонические карты*, отображающие с помощью стратозигопис поверхности тех или иных горизонтов, зоны или участки с одинаковыми тектоническими характеристиками; *карты четвертичных отложений*, показывающие распределение возрастных групп четвертичных образований; *фациально-палеогеографические карты*, дающие представление о распределении ископаемых геологических фаций; *геоморфологические карты*, показывающие участки местности с разными по форме, происхождению и возрасту элементами рельефа; *гидрогеологические карты*, отображающие распределение подземных вод в горных породах, движение и выходы их на поверхность; *инженерно-геологические карты*, показывающие распределение пород с разными механическими свойствами; *карты полезных ископаемых*, отображающие распределение полезных ископаемых, запасы и качество их, и разные *геофизические карты*, показывающие распределение пород с различными физическими параметрами. На *пластовых картах* (геологических и литологических) показано расположение пород на некоторой заданной глубине, например, соответствующей глубине заложения фундаментов сооружений. По геологическим и литологическим картам строят геологические разрезы. Основой для них служит профиль земной поверхности, составляемый по топографической карте.

Для составления карт используют результаты геологической съемки, геофизических и геохимических исследований, результаты изучения образцов горных пород, руд, флоры и фауны, гидрогеологических и инженерно-геологических наблюдений, шлихового опробывания и опробывания полезных ископаемых, проходки горных выработок и буровых скважин.

Инженерно-геологические изыскания выполняют различно в зависимости от вида строительства. Например, при надстройке зданий без уширения фундамента главное внимание сосредоточивается на определении несущей способности основания. Для этого производят бурение 4—6 скважин вокруг здания, шурфование у стен здания по характерным сечениям, отбор монолитов грунта под подошвой фундамента и глубже, в пределах верхней части сжимаемой зоны, лабораторные исследования этих монолитов, обследование состояния здания.

Обширные инженерно-геологические изыскания ведут при планировке, строительстве и благоустройстве городов. На основании изучения геологического строения и гидрогеологических условий составляют *карту инженерно-геологического районирования*.

При проектировании дорог выполняют инженерно-геологическую съемку по различным вариантам трассы, разведочные работы (бурение и шурфование), определяют запасы дорожно-строительных материалов и составляют инженерно-геологическую карту.

Инженерно-геологические изыскания не только предшествуют проектированию сооружений, но в ряде случаев сопутствуют строительным работам, а также выполняются после возведения сооружений. Например, при уплотнении грунтов основания сооружений, возведении земляных сооружений (дамб, насыпей), устройстве противифльтрационной одежды из местных глинистых материалов осуществляют инженерно-геологический контроль после окончания работ. При установлении причин деформации эксплуатируемых сооружений производится инженерно-геологическая экспертиза.

Для строительства зданий и сооружений всегда стремятся воспользоваться местными строительными материалами. Поэтому инженерно-геологические изыскания включают в себя поиск и разведку таких материалов (песка, галечника, камня и др.). Разведка ведется для

установления запасов материалов, их качества и выяснения условий эксплуатации (мощность вскрыши, наличие подземных вод и др.).

#### ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ И ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ, ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Для ведения геологической съемки и поисково-разведочных работ пользуются имеющимися топографическими картами в масштабах  $1 : 10\,000$ — $1 : 100\,000$ . Если эти карты устарели, то их обновляют, чаще всего методом аэрофотосъемки. Используют фотопланы и уточненные фотосхемы. В случае отсутствия топографических карт нужного масштаба выполняют топографическую съемку. Масштаб этой съемки зависит от стадии геологических работ и группы месторождений полезных ископаемых. Различают три группы месторождений твердых полезных ископаемых.

К первой группе относят крупные месторождения, простого или среднего по сложности геологического строения с постоянной мощностью залежей, имеющих правильные очертания.

Вторую группу составляют средние по величине месторождения с правильными очертаниями залежей и месторождения крупных размеров, но со сложным геологическим строением и с неправильными очертаниями залежей полезных ископаемых.

К третьей группе относят малые и средние месторождения со сложным геологическим строением и неправильными очертаниями залежей.

Для первой группы топографическая основа геологической карты составляется в масштабах  $1 : 25\,000$  — при поисково-разведочных работах,  $1 : 10\,000$  — при предварительной разведке и  $1 : 10\,000$  —  $1 : 5000$  — при детальной разведке. В связи с этим топографическая съемка ведется в первом случае в масштабе  $1 : 25\,000$ , а во втором и третьем случаях в масштабе  $1 : 10\,000$ .

Для второй группы топографическая основа создается в масштабах соответственно:  $1 : 10\,000$  —  $1 : 25\,000$ ,  $1 : 10\,000$  и  $1 : 5000$ , а топографическая съемка ведется в масштабах  $1 : 10\,000$  —  $1 : 25\,000$  и  $1 : 10\,000$ .

Для третьей группы топографическая основа составляется в масштабах  $1 : 5000$  —  $1 : 10\,000$ ,  $1 : 5000$  и  $1 : 2000$ , а съемка выполняется в масштабах  $1 : 10\,000$ ,  $1 : 10\,000$  и  $1 : 5000$ .

При поисках и разведке месторождений нефти и природного газа топографическая съемка производится в масштабе  $1 : 25\,000$ . Однако и складчатых и солянокупольных областях часто приходится выполнять ее в масштабе  $1 : 10\,000$ . Топографическая съемка выполняется по основа государственной геодезической сети, для сгущения которой развивают сети местного значения.

Привязка обнажений, скважин, шурфов и других выработок при геологических съемках производится по имеющимся топографическим картам наиболее крупного масштаба, фотопланам и фотосхемам или к пунктам геодезической сети. Отметки устьев выработок определяют по топографической карте или методом барометрического нивелирования. При поисково-разведочных работах перенос в натуру проекта выработок и их привязка осуществляется по четким контурным точкам на топографических картах и фотопланах или от пунктов геодезической опорной сети. Погрешности привязки определяются масштабом карты. Отметки устьев выработок находятся с погрешностью до  $1$ — $2$  м. Перенос в натуру и привязка выработок при предварительной и детальной разведке производится от пунктов геодезической сети с погрешностью не более  $1$  м. Отметки устьев выработок находятся методами тригонометрического или геометрического нивелирования с погрешностью порядка  $0,3$  м.

Для создания топографических карт применяется, как правило, аэрофотосъемка. Обычно ведется стереотопографическая съемка. Комбинированная съемка (съемка на фотопланах) применяется на залесенной равнинной местности с сечением рельефа  $1$  м.

В горной открытой местности прибегают к фототеодолитной съемке. В исключительных случаях выполняется мензульная съемка. Для перенесения в натуру проекта геологоразведочных выработок и привязки их развивают опорные сети — опорные геологические линии и сетки. В плане их строят в виде аналитической сети (микротриангуляции, геодезических засечек, сгущения государственной геодезической сети), геометрической сети, магистральных теодолитных и тахеометрических ходов, профильных линий, инструментальных мензульных ходов. Магистральные теодолитные ходы прокладываются между пунктами геодезической сети при поисках и разведке в масштабах  $1 : 50\,000$ ,  $1 : 25\,000$ ,  $1 : 10\,000$ ,  $1 : 5000$  и  $1 : 2000$  длиной до  $15$ ;  $12$ ;  $8$ ;  $6$  и  $4$  км. В результате образуется система с ходами между узловыми точками длиной  $10$ ;  $8$ ;  $6$ ;  $4$  и  $3$  км. Горизонтальные углы измеряют теодолитами с точностью отсчета  $30''$ . Длины линий измеряются оптическими дальномерами, лентами и рулетками. Относительная невязка в



периметре теодолитных ходов допускается до 1 : 1000. Теодолитные ходы можно прокладывать и без измерения длин сторон. На пункте такого хода измеряют, кроме угла поворота, угол между стороной хода и направлением на пункт, координаты которого известны. Координаты  $x$  и  $y$  искомого пункта находят путем решения уравнений прямых, проходящих через пункты с известными координатами  $x_1, y_1$  и  $x_2, y_2$ . Уравнения прямых будут  $y - y_1 = k_1(x - x_1)$  и  $y - y_2 = k_2(x - x_2)$ . Здесь  $k_1 = \operatorname{tg} \alpha_1$ , и  $k_2 = \operatorname{tg} \alpha_2$  - угловые коэффициенты, где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - дирекционные углы прямых.

Разбивка профильных линии выполняется так же, как разбивка строительных базисов и сеток, но с меньшей точностью. Осуществляется такая разбивка от магистральных " ходов. При разведке направления профильных линий задают теодолитом, а при поисках — глазомерно или с помощью бинокля. Для определения положения в плане пунктов разведочной сети применяют метод четырехугольников без диагоналей.

Отметки пунктов определяют методом геометрического, тригонометрического и барометрического нивелирования. Геометрическое и тригонометрическое нивелирование применяют в тех случаях, когда требуется относительно высокая точность определения отметок.

При барометрическом нивелировании пользуются микробарометрами. Выполняют это нивелирование способом полигонов с опорой на одну станцию, способом передвижной станции, способом опорных станций, способом повторных наблюдений, способом «скачущей» станции и способом замкнутых полигонов.

При геологическом картировании определяют в плане и по высоте положения геологических точек (естественных и искусственных обнажений). Такая привязка осуществляется в плане методами теодолитной или мензульной съемок, путем дешифрирования аэрофотоснимков и др. Обычно полагают, что точность определения положения геологических точек соответствует точности положения контуров на топографической карте. На самом деле эти точки определяются с большой погрешностью. Практически геодезическая граница между обнажениями находится путем графической интерполяции. Погрешность  $\epsilon$  достигает на топографической основе 5—10 мм.

При геологических изысканиях широко применяют *аэрометоды*. Физическая сущность их заключается в наблюдении электромагнитного поля на разных высотах с последующим установлением зависимости между этим полем и строением верхнего слоя земной коры, характером земной поверхности и расположенными на ней объектами. Электромагнитное поле может быть представлено видимым, инфракрасным и ультрафиолетовым излучениями, гамма-излучением, радиоволнами и магнитным полем. Применяют аэрометоды, использующие искусственно создаваемые в верхнем слое земной коры электромагнитные поля.

Для аэрофотосъемки применяют самолеты Ан-24, Ил-14, Ан-2, Ли-2 и вертолеты В-8, Ми-4, Ми-1, Ка-18 и др. Самолеты и вертолеты имеют специальное оборудование (аэрофотоаппарат, радиовысотомер с фоторегистратором, статоскоп, навигационные прицелы, солнечно-теневого компас). Аэрофотосъемку изучают в курсе фотограмметрии. Для геологических исследований широко применяют цветное фотографирование с использованием трехслойных фотографических материалов, спектрально-аэрофотографии и аэрофотографии в инфракрасных лучах. Инфракрасное излучение обладает более высокой проникаемостью через атмосферу, увеличивает дальность фотографической видимости, уменьшает яркость дымки, увеличивает контрастность освещенных и теневых участков, повышает надежность опознавания.

Разрабатываются также аэрометоды, использующие ультрафиолетовое излучение. Ряд геологических образований под влиянием ультрафиолетового излучения флюоресцирует. На этом основана система поисков нефти на суше и на море с воздуха. Приемниками служат электронно-оптические преобразователи. В последнее время для фотографирования с воздуха начинает внедряться электрофотография (ксерография).

Большое развитие получает аэроспектрометрическое исследование земной поверхности. Так как спектральные коэффициенты яркости отдельных объектов в ряде случаев имеют небольшие различия в узком участке спектра и выделить их путем подбора светофильтров и пленок (включая цветные и спектрально-аэрофотографии) невозможно, то для регистрации потоков лучистой энергии в узких спектральных интервалах применяется электронная аппаратура и используется аэроспектрометрическая съемка. Такая съемка состоит из перемещения изображения местности по входному отверстию оптического блока, т. е. развертки или сканирования изображения местности, преобразования лучистой энергии в электрическую и регистрации электрических сигналов. Аэроспектрометрическая съемка делится на одномерную, когда развертка производится вдоль

линии полета, и двумерную, когда развертка выполняется в двух взаимно перпендикулярных направлениях. В первом случае применяют регистрирующие зональные телефотометры и летные спектрометры, а во втором — аэроспектрометрические камеры с вычислительным устройством.

Применяется также радиолокационная (радарная) съемка с самолета. С ее помощью получают сведения о составе и свойствах горных пород, скрытых под маломощным покровом четвертичных отложений или под растительностью и снегом, определяют размеры поверхностных отложений, определяют влажность почвы, содержание металла в поверхностном слое, изучают ледовой покров, исследуют земную поверхность в темноте и при сплошной облачности.

При аэрогеологических исследованиях важная роль отводится процессам дешифрирования (обнаружению, опознаванию и интерпретации), признакам дешифрирования, корреляционным и функциональным связям. При дешифрировании используют геометрические и фотометрические свойства аэроснимков. Дешифрирование аэроснимков выполняют визуальным и инструментальными способами. Широко применяется микрофотометрирование. В последнее время разрабатываются автоматические опознающие системы.

#### Гидрогеологические изыскания

К водно-техническим свойствам пород относят влажность, влагоемкость и водоотдачу. Для определения влажности грунта его взвешивают во влажном состоянии, а затем, этот грунт высушивают при температуре 105°C и определяют массу скелета грунта (твердой фазы). Разность масс грунта во влажном состоянии и его скелета составит массу воды, заключенную в порах  $P_w = Q_w - Q_c$ .

Тогда влажность

$$\omega = \frac{P_w}{Q_c} 100\%$$

Содержание влаги в грунтах природного залегания называют *естественной влажностью*  $w_{\text{ест.}}$ .

Под *влагоемкостью* грунта понимают способность его вмещать или удерживать определенное количество воды. В зависимости от количества и состояния содержащейся в грунте воды различают полную *влагоемкость* (влаговместимость) и неполную.

*Полная влагоемкость* соответствует такому состоянию грунта, при котором его поры и промежутки между ними полностью заполнены водой. Она определяется по формуле

$$\omega_0 = \frac{n}{\gamma_c}$$

где  $n$  — пористость грунта;  $\gamma_c$  — объемная масса скелета грунта.

*Неполная влагоемкость* в свою очередь делится на капиллярную, наименьшую и максимальную (гигроскопическую).

Есть очень влагоемкие породы (суглинок, торф, глина), слабо влагоемкие (мергель, мел, лесс, глинистый песок) и невлагоемкие (песок, гравий, галечник, трещиноватые породы).

*Степень влажности*, или коэффициент водонасыщения грунта, составляет

$$G = \frac{\omega_{\text{ест.}}}{\omega_0}.$$

При степенях влажности менее 0,5; 0,5—0,8 и 0,8—1,0 породы считают соответственно маловлажными, влажными и насыщенными. При увеличении влажности грунта эффективность его уплотнения, оцениваемая объемной массой скелета  $\gamma_c$ , вначале возрастает, а затем уменьшается. Эффективность уплотнения будет наибольшей при оптимальной влажности.

*Набуханием* называют способность грунта увеличивать свой объем при впитывании воды. Максимально набухают тяжелые глинистые грунты. Супеси и пески почти не набухают.

*Усадкой* называют способность влажного грунта при высыхании уменьшать свой объем. Наибольшую усадку дают глины и суглинки, а крайне малую — супеси.

Способность грунта при погружении в воду терять связность и превращаться в массу, не оказывающую сопротивления передаваемым нагрузкам, называют *размокаемостью*. Скорость и характер размокания зависят от содержания в грунте глинистых частиц и водорастворимых солей, степени уплотнения, первоначального увлажнения и других факторов.

*Водоотдача* — это свойство пород, насыщенных до полной влагоемкости, отдавать часть воды путем свободного стекания под влиянием сил тяжести. Находится водоотдача по формуле

$$\omega_B = \omega_0 - \omega_{M.M.B.}$$

где  $\omega_{M.M.B.}$  — максимальная молекулярная влагоемкость грунта.

*Удельная водоотдача* — это количество воды, вытекающее из 1 м<sup>3</sup> породы. Наибольшую водоотдачу имеет галечник. Песок может отдавать почти всю имеющуюся в его порах гравитационную воду, а глина и торф почти не отдают воду. В колодцы и котлованы, пересекающие насыщенные водой глины, вода совсем не поступает.

При гидрогеологических изысканиях определяют также водопроницаемость пород, свойства подземных вод, скорости и направления их течения и др.

*Водопроницаемость* характеризуется способностью пропускать воду через поры породы. Различают породы водопроницаемые (галечник, гравий, песок, трещиноватые породы), полупроницаемые (торф, мергель, лесс, супесь) и непроницаемые, или водоупорные (глина, плотный суглинок, скальные нетрещиноватые породы). Движение подземных вод в порах и трещинах пород, происходящее при полном заполнении водой пор или трещин, называют *фильтрацией*. Движение воды через толщу неводоносных пород, происходящее с неполным заполнением пор водой и при изменяющемся напоре, называют *инфильтрацией*. Например, в пределах водоносных горизонтов происходит фильтрация, а через зону аэрации — инфильтрация. Характеризуется водопроницаемость *коэффициентом фильтрации*, т. е. скоростью фильтрации при напорном градиенте, или пьезометрическом уклоне, равном единице.

Напорный градиент определяется из выражения

$$i = \frac{h}{l}$$

где  $h$  — разность уровней, или падение напора;  $l$  — длина пути фильтрации.

Коэффициент фильтрации  $K$  определяется отношением расхода воды  $Q$  к полному сечению породы  $w$ , включающему не только поры, но и частицы, не проницаемые для воды. Поэтому он характеризует не действительную, а кажущуюся скорость движения воды — скорость фильтрации  $V_K = K$ . Если пористость  $n'$  выражена в долях единицы, то площадь пор будет  $n'\omega$ . Тогда действительная скорость движения воды

$$V_d = \frac{Q}{n'\omega}.$$

Отсюда коэффициент фильтрации

$$K = V_K = n'V_d.$$

Однако здесь не учтено, что физически связанная влага не принимает участия в гравитационном движении воды. Такой расчет допустим только для крупнообломочных пород (галечника, гравия) и песков с малым содержанием влаги. В случае глинистых пород нужно определить активную пористость, учитывающую только часть сечения пород, способную пропускать движущуюся воду:

$$n'_{\text{акт}} = n' - \omega'_{M.M.B.} \gamma_c,$$

где  $\omega'_{M.M.B.}$  — максимальная молекулярная влагоемкость в долях единицы. Тогда

$$V_d = \frac{Q}{n'_{\text{акт}} \omega}.$$

*Направление грунтового потока* определяют измерениями уровня воды в трех скважинах. Оно будет перпендикулярно к гидроизогипсам, для построения которых производится нивелирование устья скважин (рис.). По карте гидроизогипс, построенной по ряду скважин, можно проследить характер грунтового потока (плоский, радиальный), его направление и уклон. Глубину залегания зеркала подземных вод относительно земной поверхности показывают на карте гидронзобат. Для характеристики поверхности напорных водоносных горизонтов строят карты гидроизопьез.

Движение грунтовых вод в порах пород происходит разной скоростью, например, в крупных порах песка с большей скоростью, чем в мелких, в центральной части пор с большей скоростью, чем у поверхности частиц. Поэтому ограничиваются определением средней скорости в пределах некоторого сечения грунта.

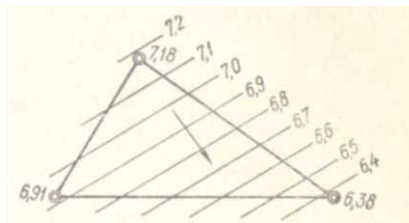


Рис. К определению направления грунтового потока.

Для определения скорости потока грунтовых вод используют две выработки (два шурфа или две скважины). В выработку, находящуюся выше по течению (опытную выработку), вводят индикатор и следят за появлением его в наблюдательной выработке. Индикаторами служат хорошо растворимые в воде соли (каменная соль, нашатырь и др.), некоторые красители и радиоактивные вещества. Скорость движения воды

$$V=l/t$$

где  $t$  — время движения индикатора;  $l$  — расстояние между выработками.

В зависимости от индикатора и способа оценки появления его в наблюдательной выработке различают методы определения скорости движения подземных вод: *химический*, или солевой, основанный на запуске раствора каменной соли в опытную скважину и определении концентрации ионов хлора в наблюдательной скважине; *колориметрический*, или красочный, основанный на использовании для щелочных вод красок (флюоресцин, эозин и красное конго), а для кислых — метиленовой или анилиновой синек; *электролитический*, основанный на вводе в опытную скважину электролита (хлористого аммония) и наблюдении за показаниями амперметра, включенного в сеть между скважинами.

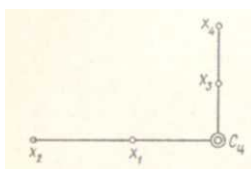
В последнее время применяют метод эквипотенциальных линий, используя одну скважину, вокруг которой разбивают восьми- или двенадцатилучевую радиальную сетку с длиной радиусов, превышающей глубину скважины. Один из питающих электродов батареи (БАС-80, БС-70 и др.) опускают в скважину (в водоносный горизонт), а второй забивают на расстоянии, равном примерно глубине скважины, выше течения воды, затем включают ток и третий электрод перемещают поочередно по каждому радиусу и находят точки, в которых гальванометр показывает нуль, т. е. точки равного с неподвижным электродом потенциала. Это точки наносят на планшет и строят эквипотенциальную линию. Затем опускают в скважину в мешочке размельченную каменную соль и через некоторое время (30 минут) вновь определяют эквипотенциальную линию, которая будет вытянута по направлению движения воды.

Для определения скорости движения подземных вод уточняют положение измерительного электрода и находят наибольшее смещение  $\Delta R$  эквипотенциальной линии за время  $t$ . Тогда искомая скорость движения воды

$$V = \frac{\Delta R}{t}.$$

Метод эквипотенциальных линий применяют в случаях слабой минерализации воды, сравнительно большой скорости ее движения (более 1 м/сутки), отсутствии обсадных труб.

Найденная тем или иным методом действительная скорость воды используется для вычисления коэффициента фильтрации грунта, который можно определять по формулам, учитывающим состав и пористость грунта, с помощью приборов (Тима, Каменского, Спецгео) в лабораторных условиях, а также в полевых условиях по результатам опытных откачек. В этом случае создают опытный узел, который состоит из центральной выработки (шурфа глубиной до 5 м или скважины — при большей глубине) и двух взаимно перпендикулярных лучей с 2—3 наблюдательными скважинами (рис.).



Скважины опытного узла оборудуют специальными фильтрами. После предварительной прокачки (до осветления воды) производят с помощью насосов откачку воды из центральной скважины с несколькими понижениями. Для каждого понижения  $s_1, s_2, s_3, s_4$  находят расчет воды  $Q$  и значения  $y_1 = H - s_1, y_2 = H - s_2, y_3 = H - s_3, y_4 = H - s_4$ , где  $H$  — мощность водоносного горизонта. При расстояниях наблюдательных скважин от центральной, соответственно  $x_1, x_2, x_3, x_4$  получим частные коэффициенты фильтрации  $K'$  и  $K''$  для ненапорных вод

$$K' = 0,73Q \frac{\lg x_2 - \lg x_1}{y_2^2 - y_1^2}; \quad K'' = 0,73Q \frac{\lg x_4 - \lg x_3}{y_4^2 - y_3^2}$$

Тогда коэффициент фильтрации

$$K = 0,5(K' + K'').$$

Для напорных вод

$$K' = \frac{Q}{2\pi a} \frac{\ln(x_2/x_1)}{y^2_2 - y^2_1}, \quad K'' = \frac{Q}{2\pi a} \frac{\ln(x_4/x_3)}{y^2_4 - y^2_3}$$

где  $a$  - мощность водоносного горизонта.

Подземные воды могут находиться в различных состояниях — парообразном, гигроскопическом, капиллярном и гравитационном (собственно грунтовые воды).

Различают следующие типы грунтовых вод: верховодка, собственно грунтовая (безнапорная) и межпластовая вода. Питание грунтовых вод чаще всего происходит благодаря двум процессам: конденсации парообразно передвигающихся вод грунта и просачиванию атмосферных осадков (инфильтрации). Интенсивность инфильтрации зависит от геологического строения, рельефа местности, климатических условий, факторов биосферы и хозяйственной деятельности человека.

Различают также грунтовые воды *речных долин*, расположенные в аллювиальных отложениях и гидравлически связанные с водой в реке, *водораздельных пространств*, расположенных в толщах ледниковых отложений, *степей, полупустынь и пустынь*, подстилающиеся глинами, *горных районов*. Режим грунтовых вод характеризуется определенными изменениями во времени уровня, температуры, химического и газового состава и зависит от многих факторов.

**Полевые гидрогеологические работы** заключаются в опытных откачках, нагнетаниях, наливах, определении направления и скорости движения грунтовых вод.

Опытные откачки производят для обоснования способов временного водопонижения на строительных площадках и проектов дренажа подтопленных территорий, временного и постоянного водоснабжения, для определения ожидаемых потерь воды из водохранилищ и т. д. Применяют *одиночные опытные откачки*, обеспечивающие определение удельного дебита и зависимости дебита от понижения уровня воды при откачке, и *кустовые*, определяющие, кроме того, коэффициент фильтрации. Продолжительность опытных откачек зависит от производительности водоносного горизонта и его характера. При устройстве водоснабжения за счет подземных вод выполняют *пробно-эксплуатационные откачки*.

Опытные нагнетания в скважины производят для определения удельного водопоглощения и фильтрационных свойств глубоко залегающих сухих пород.

Опытные наливы применяют в сыпучих и связных породах. Направление грунтового потока и скорость его определяют по карте гидроизогипс и ранее указанными способами.

К гидрогеологическим работам относят стационарные наблюдения за режимом грунтовых вод (поведением верховодки, уровнем грунтовых вод, гидравлической связью грунтовых вод с водами открытых водоемов, изменениями химического состава воды и др.). Из скважин отбирают для химического анализа пробы воды (1—3 л) с помощью приборотборника — водоноса. Наблюдательные скважины оборудуют фильтрами, крышками или пробками. Измерение уровня воды в этих скважинах производят одновременно с помощью мерного шнура, к концу которого прикрепляют поплавков, хлопушку или свисток. При соприкосновении с водой в результате сжатия воздуха хлопушка издает хлопок, а свисток — свист. Есть и другие приборы: дисковый уровнемер, сообщающий о соприкосновении конца троса с водой включением лампочки, поплавковый измеритель с самопишущим механизмом. Для измерения температуры применяют «ленивые» термометры.

## Лекция 5. Инженерно-гидрометеорологические изыскания. Задачи инженерно-гидрологических изысканий. Морские гидрографические изыскания. Инженерно-метеорологические изыскания

*Комплексные инженерно-гидрологические изыскания* выполняют для проектирования гидротехнических сооружений; водоснабжения населенных мест, промышленных предприятий, электростанций; мостовых переходов, переходов

через реки трубопроводов и других линейных сооружений; рыбного хозяйства, водного транспорта; защиты территорий населенных мест от наводнений и подтоплений.

Инженерно-гидрологические изыскания выполняются также для создания зон отдыха, для научных целей (исследование водного обмена в водоемах, гидрохимические и гидробиологические исследования и др.).

Большинство этих изысканий имеют общие черты. Например, при комплексных инженерно-гидрологических изысканиях изучают общие черты.

Инженерно-гидрологические изыскания обычно подразделяют по объектам (исследование рек, озер, водохранилищ и т. п.) и по объему исследований (весь водный объект или его часть), а также в зависимости от поставленной задачи.

Инженерно-гидрологические изыскания базируются на целом ряде научных дисциплин: *гидрологии суши* (изучение вод на земной поверхности); *гидрогеологии* (изучение подземных вод); *гидрометеорологии* (изучение режима атмосферных вод); *океанологии* (изучение режима вод океанов и морей); *гляциологии* (изучение режима ледников); *лимнологии* (озероведения); *болотоведения*; *геокринологии* (изучение вечной мерзлоты и режима вод в ней) и т. д.

Основными разделами гидрологии являются: общая гидрология, гидрометрия, гидрография, инженерная гидрология.

*Общая гидрология* рассматривает общие закономерности циркуляции воды на земном шаре, различные типы водных объектов, их образование и развитие.

*Гидрометрия* рассматривает способы измерения параметров водных объектов: колебаний уровней воды, глубин водоемов, направлений и скоростей течения воды, расходов в; занимается изучением наносов, уклонов водной поверхности, волнений и др.

*Гидрография* изучает положение, размеры, режим и условия водных объектов. Гидрография тесно связана с геодезией и картографией. Результаты гидрографических работ представляются в виде гидрографических описаний, которые составляются на все крупные водоемы.

*Инженерная гидрология* изучает вопросы, связанные с водохозяйственным строительством - исследует водный баланс речных систем, водные ресурсы рек, разрабатывает методы определения и регулирования стока, изучает гидравлический режим рек, заиление водохранилищ, формирование русел, зимний режим водоемов и др.

Проведение инженерно-гидрологических изысканий имеет свои специфические особенности: во-первых, гидрологические исследования основаны на длительных наблюдениях и, во-вторых, закономерности гидрологического режима в подавляющем большинстве случаев носят эмпирический характер. Поэтому в основу расчетов, как правило, положены эмпирические зависимости.

#### **МОРСКИЕ ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ**

Морская гидрография, или гидрография моря, занимается разработкой методов составления навигационных карт, лоций, руководств по судовождению, обеспечивающих практически безопасные для плавания судов пути и безопасные районы для их маневрирования. Гидрографические изыскания ведутся также для проектирования морских портов и морской геологии. Производятся такие изыскания с судна или шлюпки. В состав гидрографических изысканий включают создание сети опорных пунктов на берегу, на грунте мелководья и в виде судов, вех и бакенов на якорях в глубоководных районах, съемку побережья, изучение рельефа морского дна путем промерных работ с одновременным обследованием донных грунтов, гидрографическое траление, изучение колебаний уровня моря и течений и т. д.

Береговая опорная геодезическая сеть при гидрографических изысканиях строится на основе государственной геодезической сети. На береговой полосе шириной от 3—4 до 20—30 км выполняется топографическая съемка, обычно аэрофототопографическая. Промеры глубин производятся вдоль галсов, располагаемых на одинаковых расстояниях

друг от друга перпендикулярно к береговой черте. Карты составляются в масштабах 1:25000- 1:100 000, а для наиболее важных в судоходном и экономическом отношении участков (бухты, порты и гавани) в масштабах 1:2000-1:10000. Проводят также дополнительные гидрографические изыскания (корректурa карт и лоций, попутные гидрографические работы в малоисследованных районах).

Опорные пункты на берегу устанавливают так, чтобы они были видны с водной поверхности. Закрепляют их центрами и наружными знаками: простыми пирамидами высотой 5-12 м, щитами из дощатых решеток, призмами из соединенных двух щитов, береговыми вехами (шестами, гуриями, сложенными из камней), пятнами краски на камнях или скалах и т. д. Размер знака, наблюдаемого с расстояния  $D$  при угле критического зрения  $\epsilon$ , должен быть не менее  $b=D\epsilon$ . Высота знака  $H$ , м, над уровнем моря при расстоянии  $D$ , км, и высоте глаза наблюдателя  $d$ , м, определяется по формуле

$$H = (0.25D - \sqrt{d})^2.$$

Гидрографическими знаками на воде служат морские вехи, состоящие из деревянного или полого металлического поплавка и смоленого пенькового каната или стального троса и якоря (каменного, бетонного, металлического).

Месторасположение опорных пунктов определяют простыми способами (прямой и обратной засечкой, способом Ганзена и др). На судне измерение углов ведут секстантом — отражательным угломерным прибором.

Для выполнения гидрографических работ довольно часто опорную сеть создают в виде створов, которые делятся на направляющие, или ведущие, предназначенные для удерживания вдоль них работающего судна или шлюпки, и секущие, указывающие достижение этими суднами или шлюпками определенного места.

Результаты гидрографических работ наносят на гидрографические планшеты — рабочие и отчетные. Обычно планшеты имеют квадратную или прямоугольную разграфку (50 х 50, 60 х 60, 70 х 70, 70 х 100, 80 х 130 см). Составляют их в равноугольной (конформной) проекции: поперечной цилиндрической Гаусса или нормальной цилиндрической Меркатора. При этом стандартных шестиградусных координатных зон не придерживаются. За осевой меридиан принимают средний меридиан района работ. При составлении карт в меркаторской проекции главная параллель установлена для каждого моря, например, для Азовского моря — 44°, Балтийского моря — 60°, Белого моря — 66°, Берингова моря — 69°, Карского моря — 70°, Каспийского моря — 42°, Охотского моря — 52°, Северного Ледовитого океана — 75°, Черного моря — 44°, Японского моря — 40°.

Масштаб планшетов выбирают такой, чтобы расстояние между галсами было не менее 5 мм и не более 20 мм (1 : 2000 — 1 : 200 000). Нарезку планшетов производят по навигационной карте, на которую предварительно наносят километровую сетку. Планшеты нарезают встык или с перекрытием одного другим. Наклеивают планшеты на жесткую основу из алюминия (или дюралюминия) толщиной 1—2 мм, тонкой фанеры, деревянной доски или на холст. Обозначают планшеты шифром, включающим знаменатель численного масштаба без трех последних нулей, год выполнения работ, выраженный двумя последними цифрами, и порядковый номер (например, 100-71-14, соответствует масштабу 1 : 100 000, 1971 г., номер 14). Рабочие планшеты составляют в полевых условиях, а окончательные — в камеральных. При этом соблюдают определенные условные знаки и правила оформления морских карт и планов. На каждый отчетный планшет составляют формуляр.

**Инженерно-метеорологические изыскания** производятся для того, чтобы выяснить влияние различных физических явлений и процессов, происходящих в атмосфере, на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений, на их надежность и долговечность. Например, инженерно-метеорологические изыскания крайне необходимы для учета динамического действия ветровой нагрузки на гибкие сооружения. Под влиянием ветра эти сооружения испытывают колебания, которые происходят не только вдоль, но и поперек ветрового потока. При проектировании аэропортов и линий электропередач учитываются материалы наблюдений за грозами, гололедом и ветром. Инженерно-метеорологические изыскания выполняются в тесной связи с инженерно-гидрологическими изысканиями.

Для гидрологических расчетов с использованием уравнения водного баланса, для расчетов стока и максимальных расходов требуются данные об осадках. Испарение учитывается как при гидрологических расчетах, так и для определения потерь воды в водохранилищах, каналах и т. п. Изучение силы и направления ветра является важным для характеристики уровня режима озер и водохранилищ. Под действием ветра происходят нагоны и сгоны, которые оказывают влияние на напор гидростанций и учитываются при расчетах размеров волны и т. п.

При оценке точности выполнения геодезических измерений влияние метеофакторов объединяют в один общий источник ошибок — влияние внешней среды. Вводятся метеопоправки при измерении расстояний свето- и радиодальномерами, поправки за горизонтальную и вертикальную рефракцию при измерении углов, поправки за изменение длины мерных приборов от температуры и др.

При исследовании атмосферных явлений и процессов находят количественные и качественные характеристики их. Эти характеристики называют *метеорологическими элементами*. Число их достаточно велико. Основными являются следующие характеристики: температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, скорость и направление ветра, облачность.

*Измерение температуры воздуха (термометрия).* При измерении температуры, согласно принятой Международной системе единиц (СИ), пользуются термодинамической температурной шкалой Кельвина. Для характеристики же температуры воздуха в настоящее время служит в основном международная практическая температурная шкала, основанная на шести постоянных, или реперных, точках: точке кипения кислорода —  $182,97^{\circ}\text{C}$ , тройной точке воды  $0,01^{\circ}\text{C}$ , точке кипения воды  $100^{\circ}\text{C}$ , точке кипения серы  $444,6^{\circ}\text{C}$ , точке затвердения серебра  $960,8^{\circ}\text{C}$  и точке затвердения золота  $1063^{\circ}\text{C}$ . За исключением тройной точки воды, они получены при нормальном давлении 101 325 Па. В указанной шкале пользуются градусами шкалы Цельсия.

Измерение температуры выполняется на метеорологических станциях. Кроме температуры воздуха, измеряют температуру почвы, снега и воды. Применяют жидкостные, ртутные, полупроводниковые и деформационные термометры. Чаще всего пользуются жидкостными термометрами, имеющими резервуар с капиллярной трубкой, свободный конец которой запаян. Изготовлены они из специального термометрического стекла. При нагревании жидкость заполняет капилляр, канал которого имеет постоянное поперечное сечение. В таких термометрах наблюдают не истинное расширение жидкости, а кажущееся, являющееся разностью между расширением жидкости и оболочки.

В *ртутных термометрах* резервуар заполнен ртутью, коэффициент расширения которой равен 0,000181 (при  $18^{\circ}\text{C}$ ), а коэффициент кажущегося расширения ее будет 0,000156. Ртуть имеет точку замерзания —  $38,87^{\circ}\text{C}$  и точку кипения  $356,9^{\circ}\text{C}$ , обладает малой удельной теплоемкостью, большой теплопроводностью и не смачивает стекло. В термометрах применяют не только химически чистую осушенную ртуть, но и амальгамы ее, например, сплав ртути с 4% таллия. Такой термометр пригоден для измерения температур от  $-62^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ .

Помимо ртутных термометров, пригодных не для всего интервала измерения температур, применяют *спиртовые термометры*. У этилового спирта точка замерзания —  $117,3^{\circ}\text{C}$  и точка кипения  $78,5^{\circ}\text{C}$ . Спирт обладает коэффициентом расширения 0,00110 (при  $18^{\circ}\text{C}$ ), т. е. большим, чем у ртути. Область применения спиртовых термометров ограничена. Они непригодны для измерения высоких положительных температур.

Жидкостные термометры могут быть палочными (толстостенными) со шкалой, нанесенной на капиллярной трубке, или со вставной шкалой на пластинке, прикрепленной к тонкостенному капилляру. Шкалу и капилляр помещают в стеклянную защитную оболочку.

Широкое применение имеет психрометрический ртутный термометр ТМ-4 со вставной шкалой из молочного стекла. Он предназначен для измерения температуры и влажности воздуха. У него шкала с делениями через  $0,2^{\circ}$ . Этот термометр устанавливается в вертикальном положении.

Для определения температуры поверхности почвы используется специальный ртутный термометр. Температуру почвы на разной глубине измеряют коленчатым ртутным термометром Савинова ТМ-5 с ценой деления  $0,5^{\circ}$ . Промышленностью выпускаются комплекты таких термометров для измерения температуры почвы на глубинах 5; 10; 15 и 20 см.

Для измерения температуры термометрами сопротивления используются мостовые схемы, чаще всего мост Уинт-сона. Регистрация температуры выполняется с помощью электронных мостов и гальванометра. Показания термометра можно снимать на довольно большом расстоянии от точки установки термометра. Термометры сопротивления используют в дистанционных метеорологических станциях.

Для измерения температуры почвы на глубине 2—5 см применяют *электротермометры* АМ-2М, состоящие из комплекта датчиков и измерительного пульта. Есть также электрические установки для дистанционного измерения температуры почвы М-54 и М-54-ИМ на глубинах от 5 до 320 см.

На принципе изменения электродвижущей силы термопары при изменении разности температур слоев основан *термоэлектрический термометр*. Используется он для измерения температуры воздуха, почвы, воды, определения градиентов температуры.

Измерение температуры в естественных условиях усложняется рядом обстоятельств. При выполнении некоторых измерений и осереднении результатов измерений температуры за некоторый промежуток времени нужно учитывать инерцию — запаздывание восприятия термометром температуры окружающей среды. Происходит это явление из-за тепловой инерции, обусловленной конечной скоростью теплообмена между термометром и средой, а также из-за реакции указывающей части прибора, например, вследствие трения ртути о капилляр.

Измерения совершаются в условиях радиационных потоков, идущих от солнца, атмосферы, подстилающей поверхности и окружающих предметов. Поэтому возможны радиационный



перегрев или радиационное выхолаживание чувствительного элемента термометра. Если измерение температуры ведется с самолета, то действует скоростной нагрев термометра. В облаках, тумане и осадках возможно смачивание термометра и обледенение. Это вызывает дополнительную разность температур среды и термометра.

Если поместить термометр на открытом воздухе, то он покажет температуру самого термометра, зависящую от поглощательной и излучательной способности его и интенсивности падающей радиации и отличающуюся от действительной температуры воздуха.

*Измерение атмосферного давления.* Атмосферное давление, или давление воздуха  $p$ , — это сила гидростатического давления воздуха, равномерно действующая на единичную площадку. Единицей давления, или напряжения, согласно Международной системе единиц, является паскаль ( $1 \text{ Па} = 0,102 \text{ кгс/м}^2$ ).

Для измерения атмосферного давления используют главным образом *ртутные барометры*, действующие по законам гидростатики, и *анероиды* — металлические барометры, основанные на упругих свойствах твердых тел. Иногда применяют *термобарометры*, где используется зависимость точки кипения жидкости от внешнего давления, и *газовые барометры*, измеряющие атмосферное давление по величине объема постоянного количества газа, изолированного от внешнего воздуха подвижным столбиком жидкости.

*Анероиды* не используют на метеорологических станциях, а применяют на постах и в экспедиционных условиях. Есть несколько типов метеорологических и других барометров-анероидов.

*Термобарометр* — это термометр большой чувствительности, позволяющий выполнить отсчет с помощью лупы до  $0,01\text{—}0,005^\circ \text{C}$ . Он имеет специальный кипяtilьник и защитный ящик. Используется термобарометр в экспедиционных условиях для проверки анероидов. Измерив температуру  $t$  пара кипящей дистиллированной воды и введя в нее поправку, указанную в поверочном свидетельстве, вычисляют давление.

Для барометрического нивелирования применяют чашечные и сифонные ртутные барометры различной конструкции, барометры-анероиды, термобарометры, дифференциальные барометры, баронивелиры и др.

*Измерение влажности воздуха.* Для характеристики влажности воздуха пользуются различными показателями.

*Упругость водяного пара*  $e$ , содержащегося в воздухе, определяется как парциальное давление газа в смеси, представляющее собой давление, под которым находился бы водяной пар, если из смеси удалены все остальные газы.

Выражается упругость водяного пара, как и упругость воздуха, в миллиметрах ртутного столба. *Абсолютная влажность* воздуха  $a$  — это масса водяного пара, содержащаяся в единице объема воздуха. Обычно абсолютную влажность воздуха измеряют в  $\text{г/м}^3$ . Если учесть, что единица плотности —  $\text{кг/м}^3$ , то абсолютная влажность равна плотности водяного пара, умноженной на  $10^3$ .

*Относительная влажность*  $r$  — это отношение упругости водяного пара, находящегося в воздухе, к упругости насыщенного пара при данной температуре, выраженное в процентах.

Для непрерывной регистрации изменений влажности служат волосные и пленочные гигрометры с суточным и недельным заводом.

Для измерения влажности воздуха пользуются и другими видами гигрометров.

**Измерение направления и силы ветра.** Ветер характеризуется скоростью и направлением. Скорость ветра представляется вектором, горизонтальная составляющая которого значительно превосходит вертикальную составляющую. Поэтому при наблюдениях ветер характеризуют горизонтальной составляющей. Направление ветра определяется точкой горизонта, откуда он дует. При этом указывают географический азимут или румб направления на розе ветров. Часто ограничиваются делением горизонта на 8 или 16 румбов. Скорость ветра измеряют в метрах в секунду или в километрах в час. Кроме того ее характеризуют в условных единицах — баллах, взятых по шкале Бофорта, принятой в морской практике. Скорость ветра, выраженная в баллах, называется силой ветра. Скорость и направление ветра меняются непрерывно. Поэтому мгновенные значения их являются неустойчивыми характеристиками ветра.

**Облачность.** Конденсация водяного пара, содержащегося в атмосфере, приводит к образованию облаков. Совокупность облаков называется *облачностью небесного свода*. Характеризуется облачность количеством облаков, их формой, высотой, направлением и скоростью движения. Степень покрытия небесного свода облаками оценивается по 10-балльной

шкале, каждый балл которой соответствует 10% покрытия неба облаками. Чистое небо имеет 0 баллов. Сплошной облачности соответствует 10 баллов. Есть морфологическая классификация облаков, в основу которой положены высота нижней границы расположения облаков и их внешний вид. Задача отнесения облаков к тому или иному морфологическому классу облегчается при использовании атласа облаков, в котором приведены фотоснимки различных классов облаков.

Высота нижней границы облаков визуально определяется весьма ненадежно. Поэтому такие измерения ведут с помощью шаров-пилотов.

По своей природе к облакам близок туман — мельчайшие капельки воды. Туман уменьшает прозрачность и видимость воздуха. Для оценки прозрачности атмосферы пользуются шкалой видимости. Она имеет 10 баллов: 0 — видимость < 50 м; 1-50 ÷ 200 м; 2-200 ÷ 500 м; 3-500 м ÷ 1 км; 4-1 ÷ 2 км; 5-2 ÷ 4 км; 6-4 ÷ 10 км; 7-10 ÷ 20 км; 8-20 ÷ 50 км; и 9 — > 50 км

## **Лекция 6. Геодезические работы при гидротехнических изысканиях. Гидротехнические сооружения. Составление продольного профиля. Топографические работы на водохранилищах. Русловые съемки**

*Комплексные инженерно-гидрологические изыскания* выполняют для проектирования гидротехнических сооружений; водоснабжения населенных мест, промышленных предприятий, электростанций; мостовых переходов, переходов через реки трубопроводов и других линейных сооружений; рыбного хозяйства, водного транспорта; защиты территорий населенных мест от наводнений и подтоплений.

Инженерно-гидрологические изыскания выполняются также для создания зон отдыха, для научных целей (исследование водного обмена в водоемах, гидрохимические и гидробиологические исследования и др.).

Большинство этих изысканий имеют общие черты. Например, при комплексных инженерно-гидрологических изысканиях изучают общие сведения о водных объектах, определяют сток, скорости течения, уровни, расходы воды и т. п.

Инженерно-гидрологические изыскания обычно подразделяют по объектам (исследование рек, озер, водохранилищ и т. п.) и по объему исследований (весь водный объект или его часть), а также в зависимости от поставленной задачи.

Инженерно-гидрологические изыскания базируются на целом ряде научных дисциплин: *гидрологии суши* (изучение вод на земной поверхности); *гидрогеологии* (изучение подземных вод); *гидрометеорологии* (изучение режима атмосферных вод); *океанологии* (изучение режима вод океанов и морей); *гляциологии* (изучение режима ледников); *лимнологии* (озероведения); *болотоведения*; *геокринологии* (изучение вечной мерзлоты и режима вод в ней) и т. д.

Основными разделами гидрологии являются: общая гидрология, гидрометрия, гидрография, инженерная гидрология.

*Общая гидрология* рассматривает общие закономерности циркуляции воды на земном шаре, различные типы водных объектов, их образование и развитие.

*Гидрометрия* рассматривает способы измерения параметров водных объектов: колебаний уровней воды, глубин водоемов, направлений и скоростей течения воды, расходов воды; занимается изучением наносов, уклонов водной поверхности, волнений и др.

*Гидрография* изучает положение, размеры, режим и условия водных объектов. Гидрография тесно связана с геодезией и картографией. Результаты гидрографических работ представляются в виде гидрографических описаний, которые составляются на все крупные водоемы.

*Инженерная гидрология* изучает вопросы, связанные с водохозяйственным строительством: исследует водный баланс речных систем, водные ресурсы рек, разрабатывает методы определения и регулирования стока, изучает гидравлический режим рек, заиление водохранилищ, формирование русел, зимний режим водоемов и др.

Проведение инженерно-гидрологических изысканий имеет свои специфические особенности: во-первых, гидрологические исследования основаны на длительных наблюдениях и, во-вторых, закономерности гидрологического режима в подавляющем большинстве случаев носят эмпирический характер. Поэтому в основу расчетов, как правило, положены эмпирические зависимости.

Гидротехнические сооружения предназначены для использования водных ресурсов с целью решения ряда народнохозяйственных задач. Наиболее важными из них являются:

- 1) использование энергии рек в гидроэлектростанциях;

- 2) решение транспортных проблем путем возведения судоходных и лесосплавных магистральных каналов и шлюзов;
- 3) гидромелиорация земель- орошение и осушение;
- 4) водоснабжение городов и промышленно-транспортных объектов путем строительства водозаборов, водоводов, водных каналов.

Совокупность гидротехнических сооружений для совместного решения комплексных задач называют гидроузлом. Составными частями крупного гидроузла являются: плотина железобетонная с водосливом и глухая земляная; гидроэлектростанция (ГЭС); сооружения для прохода судов (аванпорт, шлюзы или судоподъемники, судоходные каналы); сооружения для пропуска рыбы (рыбоподъемники, ступенчатые рыбоходы); водохранилище с водозаборами и магистральными каналами для орошения земель и водоснабжения.

По возможности гидроузел используют как мостовой переход, проектируя по нему железную и автомобильную дороги.

Плотина делит реку на две части - верхний и нижний бьефы, образует в верхнем бьефе водохранилище и создает напор  $H$  как разность уровней верхнего и нижнего бьефа. На равнинных реках обычно строят массивные гравитационные плотины прямолинейного типа. На горных реках возводят арочные криволинейные плотины, работающие как система упругих арок, опирающихся на скальные берега.

Напор ГЭС на равнинных реках обычно не превышает 25÷30 м. Однако и при этом напоре образуются крупные водохранилища, затопляющие большие площади ценных земель. Чтобы избежать этого, мощные ГЭС строят на горных реках, создавая напор в 200-300 м (Нурекская, Ингурская, Чиркейская и др.).

Как и все сложные сооружения, крупные гидротехнические объекты проектируются в две стадии: технический проект и рабочие чертежи, при этом важнейшая роль принадлежит внестадийному этапу- технико-экономическому обоснованию проекта.

Крупные гидротехнические сооружения в значительной степени изменяют сложившийся водный баланс в природе. Так, строительство каскадов гидроузлов на реках и образование больших водохранилищ нарушают режим речного стока и приводят к обмелению внутренних морей и озер, а также к нарушению естественного нереста рыбы. Затопление водохранилищами сельскохозяйственных и лесных угодий, необходимость строительства берегоукрепительных и защитных сооружений весьма дороги для народного хозяйства и должны быть тщательно и всесторонне исследованы в технико-экономическом обосновании и выбраны такие варианты проекта, которые вносили бы минимальные изменения в сложившееся равновесие в природе. Подтверждением этого является современная проблема Волги и Каспийского моря, а также среднеазиатских рек и Аральского моря и идея переброски на юг части стока северных рек.

Проекты по гидромелиорации, как правило, охватывают большие территории и также требуют всестороннего и весьма тщательного изучения. Так, например, осушение значительных площадей в верховьях Днепра и Десны привели к резкому уменьшению их водного расхода, что наносит большой ущерб хозяйству и природе Украины.

Проектирование гидротехнических сооружений требует детального изображения рельефа местности с повышенной точностью. Поэтому используемые для этих целей крупномасштабные топографические карты снимаются с сечением рельефа через 0,5-1 м. При составлении продольного профиля больших рек, падение на 1 км которых часто достигает 5-10 см, требуется проложение вдоль них ходов нивелирования I-II классов.

При вынесении проектов гидротехнических сооружений в натуру требуется строгое соблюдение проектных высот и уклонов объектов, расположенных на значительной территории и связанных между собой и с водотоками гидрологическими расчетами. Это вызывает необходимость построения на местности высокого класса нивелирной основы, уравненной в единой абсолютной системе высот.

При проектировании плотин важное значение имеет выбор высоты так называемого нормального подпорного уровня (НПУ) -наивысшего уровня верхнего бьефа, определяющего величину напора и расчетную мощность ГЭС, а также границы контура водохранилища.

Точность расчета напора  $H$  и сливной призмы  $V_{сл}$  зависит главным образом от топографо-геодезических данных; точность расчета транзитного стока определяется в основном условиями гидрологических наблюдений.

Для расчета технического проекта высоты уровней нижнего и верхнего бьефа обычно определяются от нивелирных знаков на водомерных постах. С учетом кинетических потерь напора

в каналах и трубах можно принять, что величина  $m_n$  не будет превышать 0,5 м и, следовательно, в ГЭС с напором более 50 м влияние  $m_n/H$  на мощность не будет превышать 1 %. В низконапорных плотинах это влияние может достигать 2-3 % и для его уменьшения необходимо более точно определять высоты бьефов и объем водохранилища.

Влияние величины  $m_{wTP}$  на точность расчета мощности ГЭС зависит от режима речного стока, его изменчивости, вызываемой колебаниями расхода, и определяется из гидрологических наблюдений. Приблизительно принимают, что относительная величина этого влияния может достигать 6 %. Величина  $m_{Vcl}$  зависит от масштаба и точности топографической основы чаши водохранилища, ошибок планиметрирования площадей и подсчета объема водохранилища, а также неточного учета потерь при наполнении водохранилища.

*Схема способа. Продольный профиль реки* представляет собою вертикальный разрез русла по линии динамического потока. Он является основным документом для проектирования по реке каскада ГЭС, регулирования реки с целью улучшения судоходства, лесосплава и др.

Для составления продольного профиля необходимо определить уровни характерных точек водной поверхности на большом протяжении реки. Так как этот уровень непрерывно изменяется, а одновременное нивелирование реки не представляется возможным, то возникает задача приведения высотных измерений, выполненных на отдельных участках в разное время, к одному моменту времени (обычно к самому низкому, меженному уровню).

Для составления продольного профиля по одному из коренных берегов реки (на больших реках по двум) прокладывают магистральный нивелирный ход высокого класса точности. От пунктов этого хода передают высоты на рабочие реперы, расположенные вблизи русла реки, развивая нивелирные ходы более низкого класса. Рабочие реперы используют для непосредственного нивелирования уровней водной поверхности в реке.

Требования к точности определения уклонов реки. Точность определения уклона потока можно вывести на основе анализа формулы Шези

$$v = c \sqrt{Ri},$$

где  $v$  - скорость,  $c$  - скоростной коэффициент,  $R$  - гидравлический радиус, равный отношению площади живого сечения  $w$  русла к смоченному периметру  $p$  (для больших рек гидравлический радиус равен средней глубине потока),  $i$  - уклон потока,

$$i = v^2 / c^2 R.$$

При определении уклонов реки из нивелирования  $i = h/L$ , где  $h$  - превышение между точками («падение реки») и  $L$  - расстояние между ними.

Пренебрегая по малости влиянием ошибки измерения расстояния, можем представить

$$m_i/i = m_h/h,$$

Значением падения  $h$  для участка реки длиной 1 км, определяют соответствующую этому падению допустимую величину ошибки  $\eta$  на 1 км и, следовательно, необходимый класс нивелирования магистрального хода.

Приняв среднюю квадратическую величину  $\eta$  в 2,5 раза меньше предельной, получают ее значения: для II класса нивелирования  $\eta_{км II} = 2$  мм; для III класса  $\eta_{км III} = 4$  мм; для IV класса  $\eta_{км IV} = 8$  мм.

Для горных рек с уклоном больше 0,001 можно применять тригонометрическое нивелирование.

Нивелирование уровней воды в реке. Уровни воды фиксируют примерно через 1-3 км на характерных точках реки: перекатах и порогах, плесах, в местах резкого поворота, на суженных островами участках, в верхних и нижних бьефах плотин, у мостов, при впадении притоков. Характерные точки реки, в которых забивают колья для определения уровня воды, называют точками однодневной связи (ТОС).

Реку разделяют на участки длиной порядка 30-50 км, которые поручают отдельным исполнителям. Длина участка зависит главным образом от интенсивности изменения уровня воды.

На границах участков, а также в характерных перегибах профиля реки устраивают временные водомерные посты, на которых ведут систематические наблюдения за уровнями воды. Желательно нивелирование реки вести в летнюю межень. При устойчивом уровне (когда он изменяется в день не больше чем на 1 см) колья можно забить вровень с поверхностью воды в течение одного дня на всем или значительной части участка, используя катер или моторную лодку. Однако при этом следует иметь в виду, что нивелирование установленных колея должно быть закончено в течение 2-3 дней, чтобы была уверенность, что высота колея за это время не

изменилась. Коля устанавливают не далее 1 м от уреза воды или в отведенных траншеях в тихую безветренную погоду. Для контроля в каждой характерной точке дополнительно забивают один-два кола один от другого на расстоянии 1-2 м. Установленные урезные колья рабочим нивелированием связывают с реперами магистрального нивелирного хода (рис. 6.1).

Постоянные железобетонные реперы в магистральном ходе устанавливают в незатопляемых местах через 5-7 км, по возможности ближе к характерным точкам реки. Временные реперы могут быть установлены через 2-3 км.

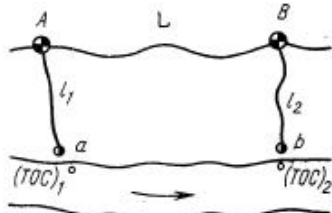


Рис.6.1

*Приведение к срезочному уровню.* В журналах продольного профиля реки указывают время установки урезных колеь и время их нивелирования. На водомерных постах ведут наблюдения за уровнем воды в реке. Используя результаты этих наблюдений, простым интерполированием приводят высоты водной поверхности к одному мгновенному («срезочному») уровню как внутри участков, так и между отдельными участками на всем протяжении реки.

При расположении уровней, показанных на рис. 6.2, приведенная высота  $H'_{ТОС}$  некоторой точки находится по формуле

$$H'_{ТОС} = H_{ТОС} + (-h_B) + \frac{(-h_A) - (-h_B) l_B}{l_{AB}},$$

где  $h_A$  и  $h_B$  - разности высот уровней на водомерных постах А и В на дату приведения уровней к одному моменту и дату нивелирования урезных колеь;  $H_{ТОС}$  - рабочая высота точки.

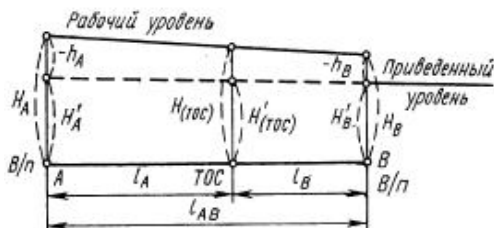


Рис.6.2

На продольном профиле отмечают высоты характерных уровней реки, дна, берегов; поверхностные скорости; падение на 1 км уровней воды, высоты нулей водомерных постов и реперов; береговую речную обстановку; населенные пункты.

Для получения сведений о возможных затоплениях при образовании водохранилищ наносят высоты самых низких точек населенных пунктов и сооружений.

#### ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА ВОДОХРАНИЛИЩАХ

При возведении на реке плотины бытовой уровень воды поднимается до отметки нормального подпорного уровня (НПУ), образуя в верхнем бьефе водохранилище. Длина водохранилища от плотины до хвостовой части, где выклинивается подпор, может быть подсчитана по приближенной формуле

$$L = K \cdot H / J,$$

где  $H$  - высота напора;  $J$  - средний продольный уклон бытового потока;  $K$  - коэффициент, принимаемый для плотины с затворами равным 1,5÷2,2.

Вода в реке, перегороженной плотиной, имеет неравномерное движение, при этом по мере приближения к плотине глубины и площади живого сечения возрастают, а скорость потока убывает. Вследствие этого поверхность потока в продольном профиле имеет вид вогнутой кривой, называемой кривой подпора (рис. 6.3). Уровни смежных поперечных профилей водохранилища будут отличаться между собой на величину  $\Delta h$ , которая в первом приближении определяется из формулы Шези.

При расстоянии между поперечными профилями  $l$  величина  $\Delta h = li$ , где  $i$  - уклон потока в водохранилище.

Подставляя значение уклона  $i$  из формулы Шези и выражая скорость  $v^2 = Q^2/w^2$ , где  $Q$ -расход воды,  $w$ -площадь живого сечения, имеем

$$\Delta h = \frac{1Q^3}{C^2 \omega^3 R}.$$

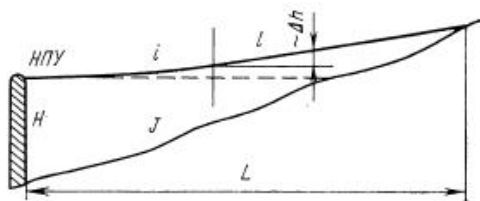


Рис.6.3

На водохранилищах больших равнинных рек разность высот хвоста водохранилища и НПУ у плотины достигает 6-8 м.

При проектировании водохранилища решаются следующие основные задачи:

- 1) установление контура водохранилища при заданном НПУ и отбивка при необходимости этого контура в натуре;
- 2) определение площади затопления и объема воды в водохранилище;
- 3) установление подлежащих затоплению населенных пунктов, путей сообщения, ЛЭП и других объектов; подсчет стоимости убытков от затопления; разработка проектов новых населенных пунктов, путей сообщения, ЛЭП и т. д.;
- 4) разработка проектов инженерной защиты от затопления и подтопления городов и других населенных пунктов, предприятий, ценных угодий и др., а также проектов берегоукрепительных работ;
- 5) подсчет площадей лесосводки; выявление мест, требующих проведения санитарных и противомаларийных мероприятий, разработка проектов организации рыбного хозяйства;
- 6) трассирование в чаше водохранилища судовых ходов, выбор мест расположения портов, пристаней, убежищ для судов.

Для проектирования водохранилищ используют топографические карты различных масштабов. Предварительные расчеты могут быть выполнены на картах масштаба 1:100 000-1:50000. Для разработки технических проектов крупных водохранилищ используют карты масштаба 1 : 25 000. Детальные расчеты производятся на топографических картах масштаба 1:10000-1:5000 с сечением рельефа через 1-2 м. Отдельные участки водохранилища для проектирования инженерной защиты, перенесения населенных пунктов и предприятий, выбора портов и др. снимают в крупных масштабах ( 1 : 1000-1 : 2000).

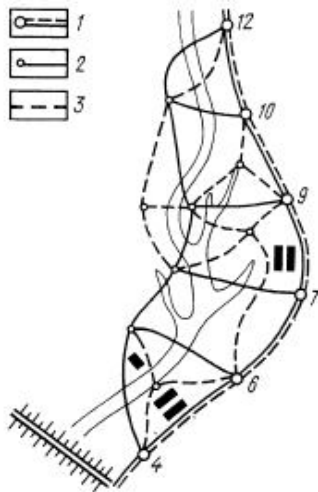


Рис.6.4

Съемка водохранилища производится комбинированным или стереофотограмметрическим методом.

В качестве плановой основы служит триангуляция и полигонометрия. Высотная основа создается в виде полигонов нивелирования III и IV классов. При проектировании плановых и высотных сетей учитывают, что они будут служить основой не только для съемки, но и для вынесения контура водохранилища в натуре. Поэтому стремятся, чтобы по возможности больше опорных пунктов разместилось вблизи границ, вне затопления водохранилища. На рис. 6.4 приведена типовая схема размещения высотной основы на водохранилище, опирающейся на магистральный ход нивелирования II класса.

Площадь водохранилища в пределах контура затопления определяют по топографическим картам при помощи планиметра. Точность определения площади в среднем составляет  $m_p/p=1/100$ .

Общий объем воды в водохранилище находят путем суммирования элементарных объемов  $v$  между двумя смежными горизонталями, начиная с самой низкой высоты в чаше водохранилища и кончая горизонталью затопления

$$V_o = \sum_{H_{min}}^{H_{НПУ}} v_i.$$

Разность между элементарными объемами, составляет

$$\Delta v = v - v' = \frac{(\sqrt{p_i} - \sqrt{p_{i+1}})^2}{6} h.$$

Относительная величина разности  $\Delta v/v$  зависит от соотношения площадей  $P_i/P_{i+1}$ .

На участках с малыми углами наклона и большой высотой сечения рельефа площади смежных горизонталей будут сильно отличаться между собой и возникает необходимость в определении объема по уточненным формулам.

Для более точного определения объемов по предложению проф. Г. Ф. Глотова устанавливают функциональную зависимость площадей затоплений от изменения высоты:  $p=f(H)$ . Эта зависимость может быть линейной или в виде параболической или степенной функции и определяется эмпирическим путем.

Коэффициенты этой функции находят по методу наименьших квадратов, используя высоты геодезических точек или точек на горизонталях.

Элементарный объем

$$v = \int_{H_1}^{H_2} p dH = \int_{H_1}^{H_2} f(H) dH$$

и полный объем

$$V_o = \int_{H_{\text{ма}}}^{H_{\text{нп}}} f(H) dH.$$

В пойменных местах с микрорельефом возникает большое число замкнутых горизонталей, изображающих выпуклые или загнутые формы рельефа. Их можно рассматривать как шаровые сегменты и определять объемы по формуле

$$v_m = Ph/2,$$

где  $P$  - площадь основания (площадь замкнутой горизонтали);  $h$ -высота. Эти объемы соответственно вычитают или прибавляют к общему результату.

Для уточнения величины объемов следует также учитывать форму склонов долины, речные террасы и др.

По топографическим картам объем водохранилища подсчитывается с точностью порядка 3-5%, уточненным способом 1,5÷2 %.

#### РУСЛОВЫЕ СЪЕМКИ

Масштабы съемок. Обоснование. При воднотранспортных изысканиях важнейшим вопросом являются русловые съемки рек, выполняемые для целей гидротехнического строительства и эксплуатации водных путей. Особое значение русловые съемки имеют для исследования руслового режима: глубин потока, уклонов водной поверхности, движения наносов, состояния берегов. На основании периодических русловых съемок устанавливают общее изменение русла реки и деформацию берегов за многолетний период.

Съемка русла реки и поймы ведется до границы уровня высоких вод, при этом главное внимание обращают на полноту и точность промеров глубин реки и отображение всех характерных особенностей русла. Съемка береговой ситуации может быть выполнена обобщенно. В связи с этим несколько понижаются требования к точности построения планового обоснования.

Для рек шириной 200-500 м планы составляют в масштабе 1 : 2000-1 : 5000 с изображением рельефа дна горизонталями или глубины реки изобатами через 0,25-0,5 м. Для ширины более 500 м масштаб съемки уменьшается до 1 : 10 000 при высоте сечения 0,5-1 м.

Наземные съемки целесообразно дополнять аэрофотосъемкой, дающей наглядное представление о морфологических особенностях реки.

П л а н о в о е о б о с н о в а н и е русловых съемок строится в виде рядов триангуляции 1 разряда, линейно-угловых сетей из базовых треугольников, полигонов светодоальномерной полигонометрии, которые сгущаются теодолитными ходами или цепочками микротриангуляции. При больших участках съемки плановое обоснование привязывается к государственным сетям, при этом средняя квадратическая ошибка в положении пунктов в слабых местах уравнированного обоснования не должна превышать 0,5 мм в масштабе составляемого плана, а сетей сгущения (съемочных сетей) 1мм. Общая ошибка в положении промерных точек и контуров речной обстановки и береговой ситуации не должна превышать 1,5 мм.

Высотная основа русловых съемок равнинных рек создается в виде ходов и полигонов нивелирования III класса, сгущаемых ходами нивелирования IV класса и технического.

Длины этих ходов рассчитывают из условия, чтобы невязки  $f_h$  ходов и замкнутых полигонов на исследуемых участках были

$$\text{пред } f_h \leq 1/a \cdot h.$$

где  $h$ - падение реки.

*Промерные работы.* Детальное изображение рельефа дна реки или глубины потока производят по поперечным профилям, называемым галсами, которые, как правило, располагаются перпендикулярно к оси потока на расстоянии один от другого через 1-2 см в масштабе плана. Промерные точки на галсах назначают в 2-4 раза чаще.

В состав промерных работ входит измерение глубины реки, определение планового положения промерных точек, наблюдение за высотой уровня воды в реке в момент промерных работ.

Измерение глубины потока производится односточным способом при помощи наметки или способом ее непрерывного фиксирования перемещающимся эхолотом. Эхолот основан на принципе ультразвуковой локации и определяет глубину потока  $h$  путем измерения времени прохождения ультразвукового импульса от излучателя А до дна реки В и обратно к приемнику С (рис. 6.5). Зная скорость распространения ультразвуковой волны в воде ( $v \approx 1500$  м/с) и время  $t$  прохождения звука до дна и обратно с учетом глубины осадки катера, имеем

$$l = vt/2$$

$$h = h_1 + a = \sqrt{\frac{v^2 t^2}{4} - b^2} + (h_0 - d),$$

где  $b$ - половина базы эхолота;  $h_0$ - осадка катера;  $a$ - расстояние от плоскости излучателя АС и приемника до поверхности воды;  $d$ - расстояние от днища катера до плоскости АС.

В речном эхолоте использован эффект магнитострикции, возникающий в пакетах из никелевых пластинок при прохождении по ним электрического тока. Основными частями прибора являются:

- 1) центральный прибор с индикаторным устройством в виде самописца для автоматической записи глубин на равномерно движущейся графитовой ленте (батиграмме);
- 2) блок образования звуковых колебаний в электрическом поле;
- 3) вибратор-излучатель ультразвуковых колебаний заданной частоты;
- 4) вибратор-приемник ультразвуковых колебаний после отражения их от дна реки;
- 5) усилитель вновь преобразованных звуковых колебаний в электрические импульсы;
- 6) фильтр.

Точность измерения глубин эхолотом составляет 10-15 см при глубине до 5 м и с увеличением глубины понижается до 1-2 %. Случайные ошибки измерений связаны с неравномерной работой самописца и отсчетами по батиграмме. Для уменьшения влияния систематических ошибок в показания эхолота вводят поправки: 81- за отклонение реальной скорости распространения ультразвука в воде от расчетной; 82- за отклонение скорости вращения электродвигателя от расчетной; 83 - за глубину погружения вибраторов и базы между ними.

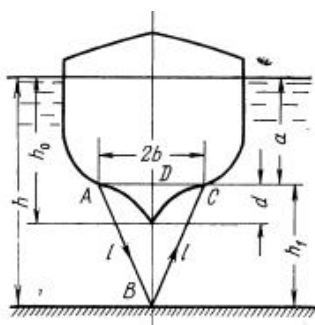


Рис.6.5

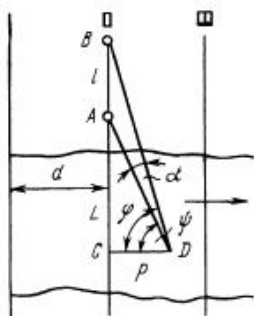


Рис.6.6

Конструктивно эхолоты выполнены в виде двух приборов: центрального, в котором размещены самописец, усилитель, блок питания, регулятор скорости оборотов электромотора и заборного устройства, состоящего из двух вибраторов.

Глубина погружения вибраторов при движении катера определяется по шкале, нанесенной на штангах заборного устройства.

При промерах на батиграмме фиксируются оперативными отметками: начало и конец промерного галса; точки на галсе, определяемые в плане засечками; привязки к пунктам радиогодезического обоснования и др.



*Плановая привязка промерных точек.* Плановое положение промерного катера,двигающегося по галсу, может быть определено инструментальными засечками, радиодальномерными системами, фотограмметрическими методами.

Плановая привязка промерных точек на галсах производится не реже чем через 10 мм в масштабе плана, при этом обязательно определяют точки начала и конца галсов, резкого изменения скорости хода катера и глубин потока, перерыва хода промера.

Прямые засечки промерных точек проводят по команде, подаваемой с катера отмахивая флага или по радиотелефону, с пунктов геодезического обоснования или с некоторого базиса, измеренного на берегу или острове и привязанного к пунктам обоснования. В момент засечки положение точки фиксируется (прожигается) на батиграмме и делается пояснительная надпись.

Катер при измерениях движется в створе галса по выставленным на берегу вехам, и от точности выдерживания створа (чувствительности створа) зависит качество съемки рельефа дна.

Допустим, А и В - опорные вехи на створе П (рис. 6.6), отрезок  $CD = p$  - отклонение промерного судна от створа,  $\varphi$  и  $\Psi$  - углы, с помощью которых определяется чувствительность створа  $\alpha$ , тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} (\varphi - \psi) = \frac{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \psi}{1 + \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \psi}.$$

Обозначим  $AB=l$ ;  $AC=L$ . Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{lp}{L^2 + Ll + p^2}.$$

Длину  $L$  можно взять с плана промерных работ, величину допускаемой нестворности  $p$  назначить по расстоянию  $d$  между смежными галсами, полагая  $p=0,1d$ .

Засечками определяются примерно треть или четверть от общего числа промерных точек; положение остальных точек определяется по секундомеру, считая, что промерный катер движется с равномерной скоростью.

При анализе прямой засечки для промерных работ следует иметь в виду, что ошибка визирования в этом случае значительно увеличивается за счет влияния реакции наблюдателя на отмахивку флага, отклонения промерного катера от створа и т. д. и достигает для теодолитов при визуальной сигнализации 3-5' и для мензулы 7-10'.

Местоположение промерной точки может быть определено также обратной засечкой с движущегося катера путем измерения секстаном угла между направлениями на створные знаки и на береговой пункт планового обоснования. Наиболее надежные результаты получаются при более или менее перпендикулярном расположении измеряемого створа к базисной линии и при угле засечки в опорном пункте не менее 30°. Однако и в этих условиях средняя квадратическая ошибка засечек промерных точек секстаном в полосе съемки 1000 м и достигает 10 м и более.

Влияние поперечного уклона реки. Промеряя глубины, необходимо иметь в виду, что водная поверхность реки имеет некоторый поперечный уклон, вызванный вращением Земли, влиянием центробежной силы на поворотах, действием бокового ветра и др.

Вследствие вращения Земли и уровня воды у правых берегов рек северного полушария несколько возвышен. Величина этого возвышения равна

$$h_{\text{в}} = \frac{2v\omega \sin \varphi}{g} s,$$

где  $v$  - средняя скорость потока в м/с;  $\omega$  - угловая скорость вращения Земли ( $7,29 \cdot 10^{-5}$  1/с);  $\varphi$  - широта места;  $g$  - ускорение свободного падения ( $9,8 \text{ м/с}^2$ );  $s$  - ширина реки.

Резкое искажение поперечного профиля водной поверхности вызывается боковым ветром и быстрым изменением уровня воды в паводки. В последнем случае вследствие того, что скорость течения в середине потока больше, чем у берегов, средняя часть водной поверхности будет несколько приподнятой при резком подъеме воды и опущенной при сильном спаде ее. На больших реках величина этого подъема или спада воды может достигать нескольких дециметров.

При промерных работах на больших реках необходимо учитывать поперечный уклон реки, разбивать высотное обоснование на обоих берегах реки и периодически нивелировать в поперечных профилях правые и левые урезы воды.

Обработка материалов. Как уже отмечалось, одновременно с промерами глубин ведутся наблюдения на временных и постоянных водомерных постах за колебаниями уровня воды. Зная высоту уровня в момент промера и вычитая из нее измеренную глубину в зафиксированной

промерной точке, получают ее высоту, которую выписывают на плане. По высотам рисуют горизонталь дна. Методом тахеометрической съемки или стереофотограмметрии изображают рельеф берегов и поймы.

Для целей судоходства измененные глубины по наблюдениям на водомерных постах и высотам точек однодневной связки приводят к одной дате, выписывают их на план и проводят линии равных глубин - изобаты. По высотам дна и глубинам реки на плане изображают линию наибольших глубин.