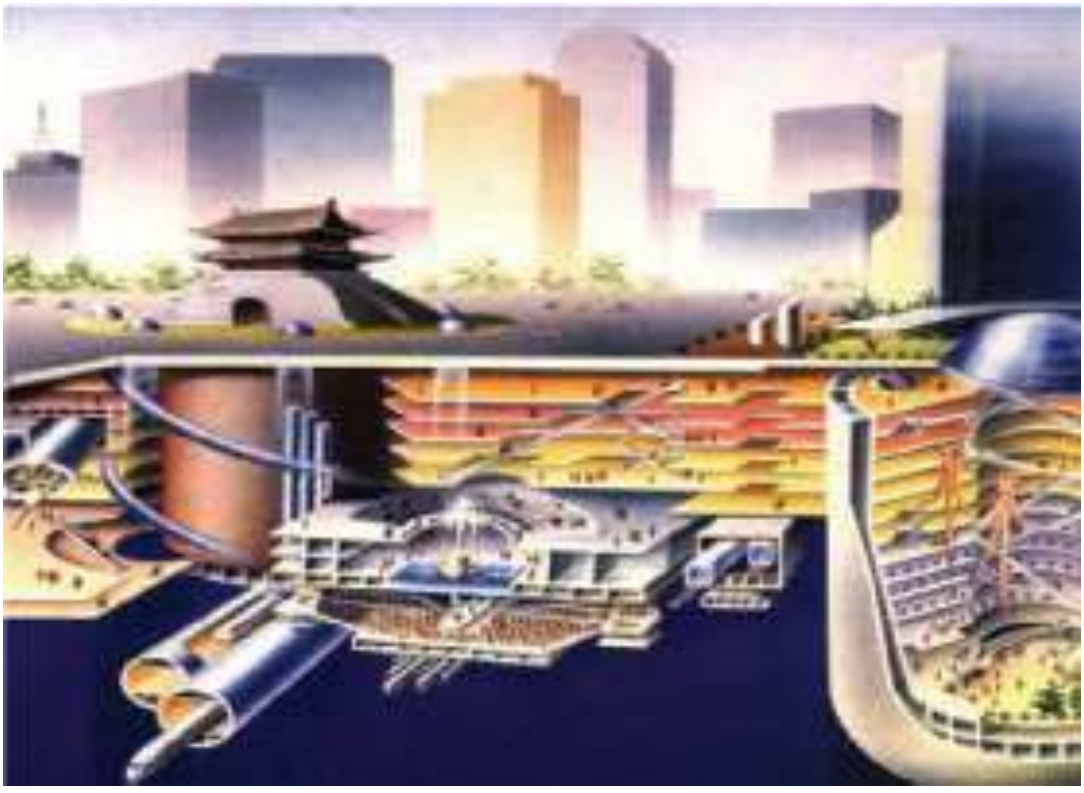
ВВЕДЕНИЕ

Рост объемов и масштабов подземного строительства в крупных городах, развивающихся как культурно-исторические и торгово-промышленные центры, наблюдается сегодня во всем мире. Связан он с непрерывно возрастающей концентрацией населения в этих городах и непрерывным ростом численности автомобильного парка, которые порождают практически все наиболее острые современные городские проблемы - территориальные, транспортные, экологические, энергетические.

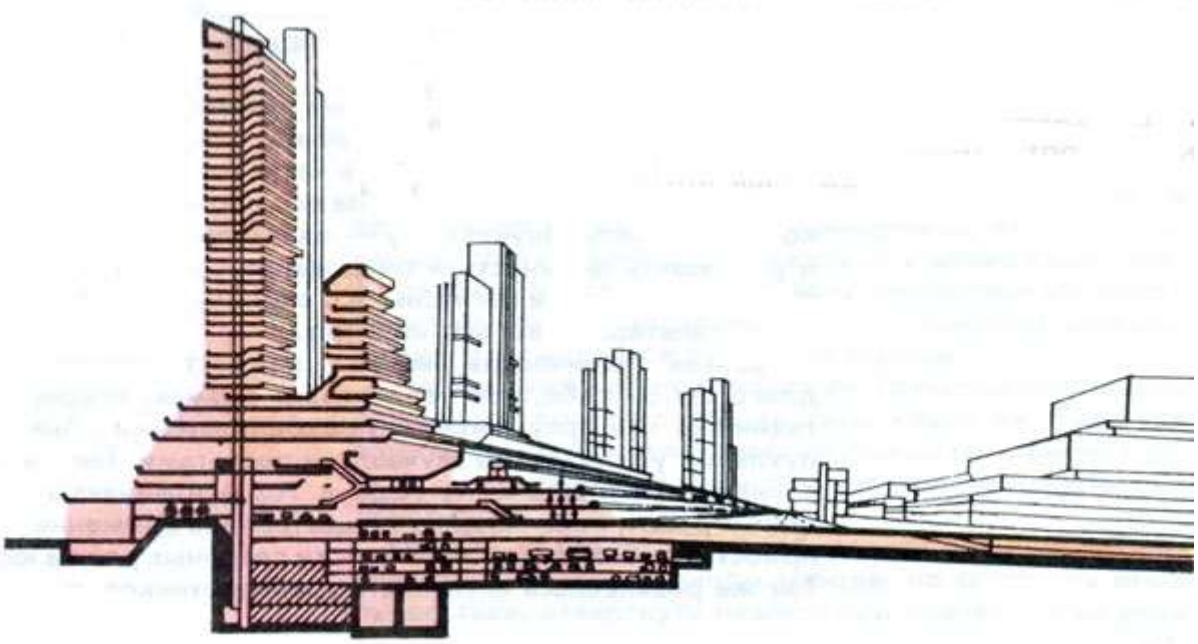
Мировая практика градостроительства свидетельствует, что одним из наиболее эффективных путей решения этих проблем является комплексное освоение подземного пространства, в котором могут размещаться сооружения различного назначения.



В последние десятилетия рост объемов и масштабов подземного строительства наблюдается и в крупных городах России. Строятся крупные подземные комплексы различного назначения, транспортные и коммуникационные тоннели, подземные стоянки и гаражи, производственные и складские

помещения, растет протяженность линий метрополитена.

Важнейшую роль в комплексном освоении подземного пространства городов играют архитектурно-планировочные решения подземных объектов. К настоящему времени уже в значительной степени определились общие требования к городскому подземному строительству. В частности, предпочтительной признана такая его форма, при которой наземная и подземная части городской застройки сочетаются на основе принципов их максимального горизонтального и вертикального блокирования.



Сложность и высокий уровень ответственности подземных сооружений, значительное влияние их возведения в условиях плотной городской застройки на существующие окружающие объекты выдвигает целый ряд требований, которые необходимо учитывать при планировании, проектировании и строительстве этих сооружений. Основные из них сводятся к следующим.

1. *Необходимость изучения строения и свойств грунтов на большую глубину*, разработки прогнозов возможных изменений состояния окружающего грунтового массива и гидрогеологических условий, а также обследования оснований близ расположенной застройки, предопределяют значительное увеличение площади, объема и детальности инженерно-геологических изысканий по сравнению с

требованиями действующих нормативных документов.

2. *Применяемые конструктивные решения и технологии* возведения подземных сооружений *должны обеспечивать сохранность* и *нормальные условия эксплуатации окружающих наземных и подземных объектов*, особенно памятников истории и архитектуры. Для решения этой задачи необходимо проводить математическое моделирование изменения напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вмещающего в себя само подземное сооружение, а также основания существующих зданий, попадающих в зону влияния нового строительства.
3. При возведении и эксплуатации подземных сооружений первостепенное значение приобретает их *защита от подземных вод*, особенно при наличии помещений, где должно быть абсолютно сухо. Это требует при проектировании решать вопросы водопонижения, дренирования грунтов и устройства гидроизоляции.
4. При проектировании подземных сооружений необходимо также проектировать *проведение геотехнического мониторинга*, способного обеспечить как контроль в процессе выполнения принятых проектных решений, так и оперативную корректировку этих решений в случае необходимости.

К настоящему времени научными, проектными и строительными организациями уже накоплен большой опыт успешной реализации даже самых сложных проектов подземного строительства. Созданы новые прогрессивные конструктивные и технологические решения подземных объектов, в том числе для защиты окружающей застройки, разработаны методы расчета и численного моделирования поведения возводимого подземного объекта и находящихся в зоне его влияния существующих объектов, методы и средства мониторинга. Главный акцент при разработке проблемы комплексного освоения подземного пространства крупных городов приходится сегодня на поиск путей наиболее целесообразного размещения подземных объектов и наибо-

лее рационального применения тех методов и средств их возведения, которые наработаны. Поэтому большое значение приобретает научно-техническое сопровождение городского подземного строительства, которое в последние годы стало одной из главных составляющих системы обеспечения его безопасности и надежности.

Раздел 1
ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

1.1. Международный опыт подземного строительства

За рубежом уже несколько десятков лет воплощаются самые смелые инженерные мысли, каждый год появляются все новые и все более интересные объекты. Иностранцы не боятся осваивать подземное пространство, поскольку понимают, что это единственный выход из положения, в котором оказались все крупные города, – недостаток наземных территорий. За рубежом разрабатывают схемы финансирования и технологии, развивают подземную строительную деятельность, в результате появляются замечательные примеры объектов подземного строительства. Вот лишь некоторые из них.

Среди наиболее видных подземных сооружений Парижа стоит назвать **торговый комплекс под площадью Этуаль**, расположенный на пересечении линий метрополитена и подземных переходов, торговый центр «ЛеАлль» на месте бывшего Центрального рынка, где совмещены пересадочные станции автобуса и метро, а также 11-уровневая система различных сооружений под площадью Дефанс.

Современный **Торонто** нельзя себе представить без **Path – подземного отапливаемого комплекса под самым центром города**, который по размаху и захватывающей феерии не знает себе равных. Его открыли в 1997 году. Сегодня комплекс включает в себя 12 уровней совокупной площадью 370 тыс. кв. м, на которых расположились:

- торговая галерея из 1500 магазинов общей протяженностью 27 км;
- рекреационные зоны;
- 2 десятка автомобильных парковок;
- 2 крупнейших универмага;
- 6 крупных отелей;
- железнодорожный терминал;
- многочисленные пешеходные переходы, которые ежедневно пропускают через себя не менее 100 тыс. человек;
- выходы на 5 станций городского метрополитена.

Для тех, кто работает в центре Торонто, нет необходимости подниматься из сабвея на улицу – Path соединяет подземные этажи большинства небоскребов города. Небольшие ресторанчики, магазины, офисы, отделения банков и банкоматы, парикмахерские – под землей пролегают настоящие улицы, а все сервисы прямо на этих улицах.

Подземный водный центр Itakeskus (Хельсинки, Финляндия), вырубленный в скале, где расположены спа-центр, бассейны, сауны. В случае опасности центр может служить убежищем для 3800 человек.

Под землей находится **у финнов** и **лаборатория VTT – Государственного научно-технического центра** – крупнейшего в Северной Европе. Построенный непосредственно под жилым массивом, в котором проживает 3500 жителей, завод Viikinmaki по переработке сточных вод служит примером

компактного и экологически сбалансированного градостроительного решения. Завод расположен в скале.

При его строительстве было выработано 1 200 000 кубометров скальной породы. В этой же скале построена система коллекторов. Переработанная вода по тоннелю протяженностью 16 км поступает в открытое море.

Торговый комплекс Stachus Passagen в Мюнхене (Германия) был построен еще в 1970-е годы по проекту бюро «Альманн Заттлер Ваппнер». Он был построен в области между поверхностью земли и уровнем станции метро. Недавно была завершена его реконструкция, в результате которой он получил новое оформление и планировку, а также более тесную связь с площадью над ним. Теперь его план повторяет круговое движение транспорта по Штахус: круговой маршрут помогает посетителям легче ориентироваться в пассаже.

Кроме того, перекрытия закрывают навесной потолок из множества кругов со светильниками, помещенными за и между ними. Их свет отражается в белых полах терраццо. Освещение торгового комплекса проникает наверх в темное время суток через широкие «ворота» для ведущих под землю

эскалаторов: их обрамление полностью подсвечивается. Днем же солнечный свет тем же путем попадает в пространство пассажа.

В центре **Монреаля (Канада)** расположен **торговый комплекс Les Cours MontRoyal.** В верхней части здания находится несколько этажей роскошных квартир. Между квартирами и подземными торговыми площадями расположены офисы.

Одним из ярких примеров подземного строительства является возведение к 2017 году **Готардского базового тоннеля в Швейцарии** – самого

длинного в мире тоннеля стоимостью 6,4 млрд USD. Его протяженность составит 57 км. Через него пройдут пассажирские поезда со скоростью до 200-250 км/ч.

В Японии под землей происходит немало интересного. Население страны велико, а земельного пространства немного, поэтому с 1970-х годов здесь ищут разнообразные пути использования подземного пространства. Теперь число пассажиров метро составляет 10 млн. человек ежедневно, на подземных улицах работает множество магазинов, по проложенным под землей кабелям и трубам идут сигналы связи и передается энергия...

Торговый центр «Ситилинк молл» в Сингапуре имеет 60 тыс. кв. м торговых площадей. Содержит более 50 магазинов, в которых продаются

эксклюзивные подарки, товары для дома. В помещения проникает дневной свет и создает яркое, веселое настроение.

ТРК «Метроград» в Киеве – это 20 тыс. кв. м торговых площадей, занимающих подземное пространство от вестибюля станции метро «Площадь Толстого» до улицы Крещатик. Двадцать три входа – в самых оживленных местах столицы: на станции «Площадь Толстого», бизнес-центры «Макулан», «Киев-Донбасс» и «Бессарабский квартал», улицы Большая Васильковская и Крещатик.

Плюс возможность зайти в «МЕТРО-ГРАД» из Бессарабского рынка и строящегося подземного паркинга на 550 автомобилей в Бессарабском квартале. На сегодняшний день это самый большой двухуровневый комплекс европейского класса на Украине. Концепция ТРК состоит в том, что каждый вид товаров и услуг размещен в соответствующей части комплекса – квартале.

1.2. Отечественный опыт освоения подземного пространства

В России примеров освоения подземного пространства немного, однако, их вполне можно считать успешными и показательными. Конечно, мас-

штаб подземного строительства в России отсутствует, хотя и частные примеры успешных проектов нельзя оставить без внимания.

Торговый центр «Охотный ряд» площадью 62,7 тыс. кв. м, расположенный под Манежной площадью в Москве, является одним из крупнейших в Европе подземных торговых комплексов.

Здание имеет 3 подземных уровня, на которых расположены около сотни магазинов, отделения банка, обменные пункты, банкоматы, бистро, кафе и рестораны, турагентства, продуктовый универсам, боулинг-центр. Верхний уровень «Охотного ряда» – торговая галерея. Средний уровень – универсам «Седьмой континент» и торговая галерея. Нижний уровень – также торговая галерея, зона food-court, кафе, кофейни, рестораны.

Несмотря на то, что в России область подземного строительства не развита, в Петербурге несколько примеров подобных работ все же существует. В городе велась и ведется в этом направлении большая работа, однако она носит случайный, бессистемный характер. Можно сказать, что Северная столица только в начале пути.

Крупногабаритный тоннель на глубине 28 м в комплексе защитных сооружений от наводнений (**КЗС**) был построен в 2006 году. Генподрядчиком по его строительству выступил «Метрострой». Тоннель длиной 1961 м, **соединяющий остров Котлин и город Ломоносов**, стал первым в России крупногабаритным автодорожным тоннелем. При строительстве были применены две оригинальные конструкции деформационных швов (типа «Омега» и «Ватерстоп»), соединяющие секции тоннеля, система гидроизоляции с применением ПВХ-мембраны и другие технические новинки.

Гарантированный срок службы тоннеля С-1 составляет 100 лет. С точки зрения применения систем безопасности является самым защищенным тоннелем в России.

Строительство тоннеля оказало влияние на разработку и принятие в России требований к крупногабаритным тоннелям городского типа (до этого требований к проектам и методам строительства такого типа тоннелей не имелось).

Первая часть **коллектора – от Кантемировской улицы до Северной станции аэрации** – была построена в 1987 году. По этому участку на очистные сооружения ежесуточно поступает 600 тыс. куб. м сточных вод. Тогда же, в 1987-м, начались работы на втором отрезке – от Кантемировской улицы до Финляндского моста (так называемое продолжение главного коллектора), но вскоре из-за финансовых сложностей их пришлось приостановить.

Возобновились они уже в новом веке. Первый этап строительства продолжения главного коллектора был завершен в 2008 году. Тогда на коллектор были переключены 12 прямых выпусков сточных вод – общим объемом 90 тыс. куб. м в сутки. Это позволило повысить уровень очистки городских стоков с 85 до 88%.

В 2009 году петербургский Водоканал ликвидировал еще 32 выпуска сточных вод объемом 42 тыс. куб. м в сутки. В результате на очистку стал поступать 91% сточных вод. Третий этап строительства главного коллектора завершился в конце 2010 года. На коллектор были переключены 12 прямых выпусков. Это около 57 тыс. куб. м в сутки. Уровень очистки сточных вод в городе достиг 93%. Таким образом, благодаря строительству коллектора Водоканалу удалось ликвидировать сброс в Неву – и соответственно, в Балтийское море – неочищенных сточных вод общим объемом около 220 тыс. куб. м в сутки. Это значит, что Петербург избавил Балтику от 80 млн. куб. м грязи в

год. Продолжение главного коллектора строилось в две «нитки» длиной 12,2 км каждая, внутренний диаметр коллектора равен 3,3 м, а наружный – 4,1 м, максимальная глубина заложения достигает 90 м. Генподрядчиком строительства продолжения коллектора работала компания «СТИС».

Вторая сцена Мариинского театра. Генпроектировщик здания, ОАО «КБ высотных и подземных сооружений», спроектировал на участке 14,3 тыс. кв. м здание размером 80,2 тыс. кв. м, состоящее из 9 надземных и 3 подземных этажей. Компания, выполняя функции генпроектировщика, помимо прочего проводит геотехнический мониторинг строительства объекта, выполняет надзор за работами по строительству, строительно-монтажными работами по устройству несущих железобетонных конструкций сцены. Подземная часть объекта имеет строительный объем 141,2 тыс. куб. м (наземная – 310,7 тыс. куб. м).

1.3. Организация освоения подземного пространства мегаполисов

1.3.1. Понятие «организация строительства подземных сооружений»

Организация освоения подземного пространства включает в себя методологические и теоретические основы организации строительства подземных сооружений. Особенность ее заключается в комплексном характере и большой социальной значимости. Специфика организации освоения подземного пространства мегаполисов состоит, прежде всего, в том, что подземное строительство ведется в постоянно изменяющихся горногеологических условиях. Кроме того, организацию освоения подземного пространства осложняют следующие факторы:

- экологические аспекты,
- многочисленные формы риска и их особый характер протекания;
- повышенные требования к безопасности выполнения работ;
- возрастающая интенсивность использования подземного пространства, особенно в крупных городах;
- необходимость сохранения различных систем жизнеобеспечения мегаполисов.

Понятие «организация» применяется и к биологическим, социальным и некоторым техническим объектам, обычно в общем контексте с понятиями структуры, системы, управления, причем очерчивает тот круг явлений, более конкретные характеристики у которых (обычно относящиеся к внутренним закономерностям системы) выражаются в понятиях структуры и организации.

Различают два аспекта организации: упорядоченность и направленность. *Направленность организации* характеризуется соответствием (или несоответствием) условиям окружающей среды, целесообразностью данного

типа организации с точки зрения поддержания нормального функционирования системы, диапазоном ее приспособляемости к среде и т п.

Поскольку *упорядоченность системы* обычно бывает выше, чем упорядоченность окружающей среды, необходимы специальные механизмы, позволяющие сохранять и совершенствовать организацию системы в условиях случайных, неупорядоченных воздействий среды. Эти механизмы могут находиться как вне, так и внутри системы. В последнем случае систему называют самоорганизующейся. Самоорганизация обеспечивается отрицательными (поддерживающими организацию) и положительными (позволяющими повышать организацию) обратными связями, внешними и внутренними. Существенная характеристика сложноизолированных систем – иерархичность, т. е. наличие в них ряда соподчиненных уровней.

Приведенное понятие «организация» является очень емким и, по существу, охватывает и характеризует организацию освоения подземного пространства. Все подсистемы подземной инфраструктуры мегаполисов (инженерные сети и коммуникации, транспортные сети, метрополитены, предприятия торговли и т. п.) необходимы для решения неотложных проблем развития городов и защиты окружающей среды. Они характеризуются внутренней упорядоченностью, согласованностью, взаимодействием дифференцированных и автономных подсистем, обусловленных строением инфраструктуры большого города и его частей.

Организация строительства — взаимоувязанная система подготовки к строительству, установления и обеспечения общего порядка, очередности и сроков выполнения работ, снабжения строительного комплекса всеми видами ресурсов для обеспечения эффективности его деятельности.

Организация строительства призвана обеспечить направленность всех организационных, технических и технологических решений на достижение конечного результата - ввода в эксплуатацию объектов с необходимым качеством и в установленные сроки.

Важным этапом организации строительства является взаимоувязка организационно-производственной деятельности генподрядчика со своими субподрядчиками, осуществляющими строительно-монтажные работы по строительству подземных сооружений.

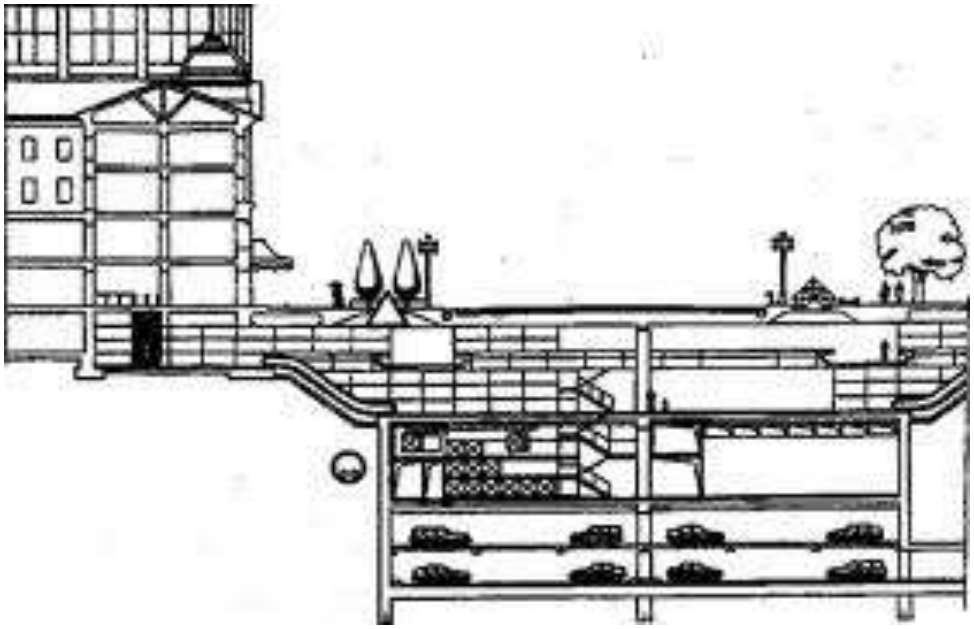
Особую роль приобретает *организация диспетчерской службы и организация производственного контроля качества выполнения строительно-монтажных работ.*

В проектах организации строительства подземных сооружений необходимо предусмотреть *меры по охране окружающей среды.*

1.3.2. Строительная геотехнология

Научное обеспечение проблемы освоения подземного пространства осуществляет строительная геотехнология – наука, изучающая взаимосвязи технологических процессов с объективными законами природы применительно к искусственно создаваемым геосистемам (ПТГС) «массив-технология-подземное сооружение-окружающая среда».

*Предмет*ом ее *изучения* являются технологии, методы строительства, организации и управления горностроительными работами и их экономической эффективностью, методы и технические средства обеспечения экологической безопасности горностроительных процессов.



Объектами изучения строительной геотехнологии являются:

- подземные сооружения горнодобывающих предприятий и энергетических комплексов;
- транспортные, гидротехнические и коммунальные тоннели;
- тоннели и станции метрополитенов;
- инженерные сооружения в подземном пространстве городов;
- другие подземные сооружения различного назначения.

1.3.3. Методологические основы научно-технической проблемы освоения подземного пространства

Методологические основы научно-технической проблемы освоения подземного пространства формируются на базе выполненных исследований в области создания новых конструкций машин и механизмов, разработки новых технологий подземного строительства и схем организации освоения подземного пространства.

Методология организации освоения подземного пространства должна включать в себя исследования по организационно-технологическим схемам освоения подземного пространства. Технология строительства подземных сооружений и ее организационные формы за последние десятилетия претерпели принципиальные изменения, став областью высоких технологий и деловой активности специализированных фирм.

Технология строительства подземных сооружений и ее организационные формы за последние десятилетия претерпели принципиальные изменения, став областью высоких технологий и деловой активности специализированных фирм.

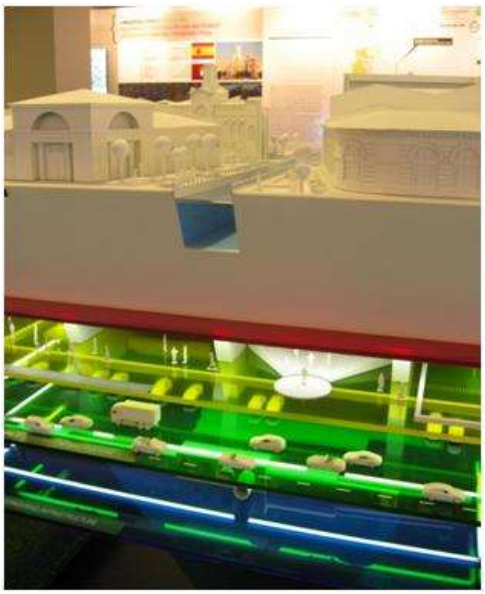
Задачи организации (сочетания) вещественных элементов подземного строительства и освоения подземного пространства мегаполисов и задачи организации строительного процесса сооружения подземного объекта, причем в качестве *критериев эффективности* могут использоваться *не только кратчайшие сроки использования ресурсов*, но и другие показатели.

Теория организации включает в себя ряд организационных принципов и методов.

В основе современной организации подземного строительства лежат *общие принципы*:

- плановость;
- индустриальность;
- комплексная механизация и автоматизация производств;
- поточная организация строительных процессов;
- специализация строительно-монтажных организаций;
- круглогодичность производства строительно-монтажных и горнопроходческих работ;
- использование достижений научно-технического прогресса и современных схем инвестирования.

С учетом сказанного *организация освоения подземного пространства мегаполисов — это совокупность принципов, правил, методов, решений и мероприятий, обеспечивающих эффективную взаимосвязь работ и процессов строительства подземных сооружений в пространстве и времени*.



В практической деятельности по освоению подземного пространства мегаполисов ряд проблем и задач организации подземного строительства принято считать технологическими. Поэтому возникает необходимость уста-

новления различий и связей между организацией подземного строительства и технологией.

К технологии подземного строительства относятся способы строительства, охватывающие процессы проведения подземных горных выработок и строительства подземных сооружений в массивах горных пород с учетом свойств этих массивов и назначения подземных сооружений.

Организация освоения подземного пространства охватывает задачи, касающиеся не сущности самого процесса подземного строительства, а способов его наилучшего выполнения в различных ситуациях с учетом выбора соответствующих организационно-технологических схем освоения подземного пространства и схем строительства подземных сооружений, а также использования достижений строительного менеджмента и наиболее эффективных схем инвестирования строительства.

На практике организация освоения подземного пространства мегаполисов сводится к решению комплекса задач, которые можно разделить на две группы:

- общие принципы организации освоения подземного пространства, его функционирование с учетом свойств массивов горных пород, требований строительной геотехнологии и мирового опыта освоения подземного пространства мегаполисов, а также выбора стратегии освоения подземного пространства;
- организация процесса освоения подземного пространства на основе достижений строительного менеджмента, опыта разработки и экспертизы проектов строительства подземных сооружений, проведения конкурсов (тендеров) на строительство подземных сооружений, использования эффективных схем инвестирования, анализа и экспертизы инвестированных проектов строительства, на основе прогрессивных организационно-технологических схем строительства подземных сооружений.

Следует иметь в виду, что организация освоения подземного пространства мегаполисов в последние годы использует современные формы и способы организации подземного строительства и, в частности, создания специализированных фирм для строительства крупномасштабных подземных сооружений.

Закономерности, характеризующие взаимосвязь организации освоения подземного пространства:

- со свойствами недр;
- особенностями проектирования подземных сооружений в мегаполисах с учетом промышленной безопасности и экологических аспектов освоения недр;
- архитектурой подземного пространства,

составляют теоретические основы методологии проектирования освоения недр и стратегии освоения подземного пространства.

Эта методология вместе с организационно-технологическими схемами и менеджментом составляет в совокупности научные основы организации освоения подземного пространства мегаполисов.

1.3.4. Фактор риска – неотъемлемый атрибут освоения подземного пространства

Городское подземное строительство характеризуется динамизмом и высокой степенью неопределенности, поэтому фактор риска – неотъемлемый атрибут освоения подземного пространства.

Любой вид деятельности, осуществляемой человеком в рамках конкретной природно-технической геосистемы, несет в себе те или иные риски, которые при определенных условиях проявляются и могут иметь негативные последствия для всей системы в целом либо для ее структурных составляющих.

Знания о риске нужны сегодня всем: строителям, проектировщикам, бизнесменам, спасателям, экологам и др. Однако каждый, кто использует это

многоаспектное понятие, приносит в него определенную частицу той или иной профессиональной деятельности и личностного представления.

Выработка концептуальных представлений о риске, огромная потребность в анализе, диагностировании, прогнозировании, программировании и планировании риска при строительстве подземных сооружений предопределили рождение нового раздела строительной геотехнологии – строительная георискология.

Подземное строительство, особенно в условиях городской среды, в силу своей специфики *характеризуется развитием многочисленных форм риска и их особым характером протекания*. При этом современный этап освоения городского подземного пространства все в большей мере сталкивается с проблемами обеспечения технологической и эксплуатационной безопасности, защиты человека и окружающей среды.

Как показывает практика, *в основу концепции безопасности* часто закладывают принцип «нулевого риска», однако многочисленные аварии и катастрофы последних десятилетий на объектах подземного строительства показывают, что такая концепция неадекватна законам развития природно-технической геосистемы «подземное сооружение – геологическая среда». Эти законы имеют вероятностный характер, и возможность аварий и катастроф всегда существует. Нулевая вероятность аварии достигается лишь в системах, лишенных запасенной энергии, химически и биологически активных компонентов. Исходя из этого, применительно к городскому подземному

строительству практикуется *концепция «приемлемого риска»*, позволяющая использовать принцип предвидения и прогнозирования возможного рискового события.

При этом под приемлемым риском понимается *риск, обладающий нижним и верхним расчетными уровнями безопасности с учетом социально-экономических, экологических и технологических факторов и представляющий определенный компромисс между реальным уровнем риска и возможностями его достижения, компромисс между уровнем безопасности и возможностями ее достижения*.

В условиях сложившегося современного подхода к освоению подземного пространства проблема техногенной опасности и эколого-техногенных рисков приобретает особое значение для районов города, где сосредоточена развитая транспортная и коммуникационная инфраструктура, имеется историческая застройка в сочетании со значительным износом большого количества ранее созданных подземных объектов и сложной социально-экономической обстановкой. При этом должен оцениваться риск не только для нормальных условий эксплуатации подземных сооружений города, но и для случаев аварий с разрушением несущих конструкций, резервуаров, выходом загрязняющих веществ в окружающую среду.

Количественные методы анализа риска создают базу для эффективного применения соответствующих методов и приемов управления рисками при городском подземном строительстве.

Таким образом, *организация освоения подземного пространства городов должна осуществляться с учетом научно-обоснованной стратегии управления рисками*, которая может быть охарактеризована как искусство управления риском в неопределенной ситуации, основанное на прогнозировании риска и приемов его минимизации. Минимизация риска возможна только при возможности его идентификации и выработке методов снижения единичных (частных) рисков, являющихся компонентами комплексного показателя риска.

Раздел 2
ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.1. Основные предпосылки и ограничения комплексного освоения подземного пространства городов

Освоение подземного пространства позволяет решать следующие задачи градостроительства:

- предельно компактно размещать здания и сооружения самого различного назначения в наиболее нужных для города местах, в том числе в условиях крайне стесненной застройки;
- совершенствовать транспортное обслуживание населения со значительным повышением скоростей сообщения благодаря использованию подземных рельсовых путей (электрифицированных железных дорог, метрополитена традиционного и новых модификаций, «скоростного трамвая»), а также благодаря организации на отдельных участках магистральных улиц и автомобильных дорог непрерывного движения;
- обеспечивать оптимальные условия для развития, эксплуатации и ремонта городских инженерных сетей;
- решать проблему постоянного и временного хранения непрерывно возрастающего парка легковых автомобилей и других видов транспорта;
- обеспечивать значительную экономию топливно-энергетических ресурсов.

Городское подземное строительство способствует оздоровлению городской среды:

- уменьшается загрязненность воздушного бассейна;
- снижаются уровни шумов и вибраций;
- появляется возможность увеличения площадей озелененных и обводненных территорий.

В первую очередь целесообразно размещать под землей объекты, в которых технологические процессы полностью автоматизированы и герметизированы или, наоборот, просты и не требуют большого количества обслуживающего персонала.

Подземные сооружения не нуждаются в каких-либо разрывах между собой и в нужных для города местах могут распространяться на большие площади. На пространственную организацию подземных сооружений почти не оказывает влияние рельеф, а благодаря созданию подземных транспортных и пешеходных путей могут быть обеспечены самые удобные условия движения с минимальной высотой перемещений по вертикали.

При определении зон наиболее активного подземного строительства решающим фактором должна являться социальная и технико-

экономическая целесообразность использования тех или иных участков и зон города.

Проблема использования подземного пространства городов наиболее актуальна в их центральных, наиболее посещаемых районах, где преобладает капитальная опорная и исторически ценная застройка, а также в различных специализированных центрах и в общественно-транспортных комплексах. При этом подземные сооружения могут быть расположены практически повсеместно, в том числе под зданиями, улицами и площадями, а также под водой.

На характер и масштабы строительства подземных сооружений и их конструктивно-планировочные решения значительное влияние оказывает совокупность конкретных природно-климатических и антропогенных факторов. К природно-климатическим факторам относятся показатели:

- характерного температурно-влажностного и ветрового режима местности;
- особенности рельефа, геологии и гидрогеологии;
- наличие акваторий;
- др.

К антропогенным факторам относится все то, что было ранее создано в городе человеком.

В крупных городах потенциально возможны значительные объемы подземного строительства. Ниже уровня поверхности земли может быть размещено до 70 % от общего объема гаражей, до 80 % складов, до 50 % архивов и хранилищ, до 30 % предприятий сферы обслуживания и других служб.

2.2. Номенклатура городских подземных сооружений

Перечень основных видов городских объектов, потенциально пригодных для размещения ниже уровня поверхности земли, включает:

– инженерно-транспортные сооружения (автотранспортные и пешеходные тоннели; подземные участки путей рельсового транс-

порта – метрополитена, мини-метро, «скоростного трамвая»; автомобильные стоянки и гаражи; помещения автобусных и железнодорожных вокзалов и др.);

- предприятия торговли и общественного питания (торговые центры и залы; магазины различного профиля и киоски; вспомогательные помещения кафе, столовых, ресторанов и др.);
- административные, зрелищные и спортивные сооружения (конференц-залы, архивы, выставочные и концертные залы, кинотеатры, спортивные залы, плавательные бассейны, катки с искусственным льдом и др.);
- предприятия коммунально-бытового обслуживания и связи (ателье ремонта, химчистки, прачечные, бани, парикмахерские, почтовые и телеграфные отделения, автоматические телефонные станции и др.);
- объекты складского хозяйства (продуктовые и промтоварные склады, овощехранилища, холодильники, резервуары для жидкостей и газов, склады горюче-смазочных материалов и др.);
- объекты промышленного назначения и энергетики, в которых необходима тщательная защита от пыли, вибраций, перепадов температур и других внешних воздействий;
- сооружения и сети инженерного оборудования (сети водопровода и канализации, электроснабжения и газоснабжения, тепловые сети, котельные, насосные станции и резервуары, общие проходные коллекторы, трансформаторные станции, газораспределительные станции и др.).

Подземные сооружения и их комплексы в зависимости от назначения, связей с окружающей застройкой и архитектурно-пространственной формы могут быть подразделены следующим образом:

- монофункциональные и многофункциональные;

- расположенные отдельно и встроенные или пристроенные к зданиям и сооружениям;
- мелкого (на отметках до -15 м от уровня поверхности земли) и глубокого (ниже -15 м) заложения.
- одноуровневые и многоуровневые.

2.3. Градостроительные основы подземного строительства в крупных городах

Комплексное использование подземного строительства необходимо осуществлять во всех функциональных зонах городов. *Степень и характер освоения подземного пространства* той или иной территории *города следует дифференцировать*:

- по расположению ее в плане города, по функциональному назначению ее различных зон и ценности земли;
- по характеру застройки (плотности жилья и другой недвижимости, степени ее амортизации, а также архитектурно-художественной и культурно-исторической ценности);
- по уровню развития городского уличного и внеуличного транспорта;
- по обеспеченности предприятиями культурно-бытового обслуживания;
- по совокупности природно-климатических и инженерно-геологических условий.

Планирование подземного строительства должно быть тесно связано с градостроительным планированием. При этом можно условно выделить следующие основные группы подземных объектов:

- «плоскостные» (объекты и их комплексы, распространенные на отдельные участки городских территорий);

- «линейные» (протяженные объекты и их комплексы, например, магистральные сети и сооружения водоснабжения, энергоснабжения, газоснабжения, связи и др.);
- «точечные» (относительно компактные объекты и их комплексы).

Основной зоной комплексного использования подземного пространства города является зона городского центра и другие, наиболее посещаемые части города.

Общие принципы горизонтального зонирования подземного пространства центра города могут быть определены следующим образом.

В ядре центральной части города, с его высокой концентрацией дневного населения и транспорта, подземное пространство объектов массового посещения целесообразно использовать преимущественно для размещения сооружений транспортного назначения, а подземное пространство других зданий и участков между ними – для технологических, складских и вспомогательных помещений, объектов культурно-бытового обслуживания и др.

На периферии центральной части города, в зонах концентрации пешеходных и транспортных потоков, целесообразно создание многофункциональных общественно-транспортных комплексов, включающих в себя пересадочные узлы, гаражи и стоянки легковых автомобилей, а также предприятия культурно-бытового обслуживания, предприятия торговли и общественного питания.

Подземное пространство в селитебных зонах целесообразно использовать для комплексного *размещения в нем автостоянок и гаражей, небольших предприятий торговли, общественного питания и коммунально-бытового обслуживания, всех видов подсобных помещений, «точечных» объектов системы инженерного оборудования*, а также различных комплексов этих сооружений.

Основной принцип использования подземного пространства в зонах массовой жилой застройки – это *устройство подвальных* (подземных) *и цокольных* (полуподземных) *помещений под жилыми и общественными здани-*

ями, а в необходимых случаях – и под незастроенными участками. При этом для предварительных расчетов площади подземных помещений можно принимать по 0,2 м^2/чел. на цели торговли и бытового обслуживания и по 0,1 м^2/чел. на цели культурно-просветительных, зрелищных, спортивных и других организаций.

Использование подземного пространства промышленных зон и районов рекомендуется для следующих производств:

- не допускающих каких-либо вибраций несущих и ограждающих конструкций;
- требующих наличия стабильного микроклимата;
- требующих максимальной изолированности от внешней среды.

Промышленные зоны рекомендуется также использовать для размещения складов, в т.ч. требующих стабильного температурно-влажностного режима, и организации непрерывного движения потоков производственных изделий и грузов.

Освоение подземного пространства промышленных зон может осуществляться:

- отдельно для каждого объекта (с перенесением под землю автоматизированных производств, подсобных помещений и складов);
- на основе максимального блокирования или полного кооперирования отдельных объектов.

В коммунально-складских зонах города в подземном пространстве целесообразно размещать *различного рода хранилища, депо метрополитена, трамвайные депо, троллейбусные и автобусные парки, гаражи грузовых и специальных автомобилей*.

При этом следует учитывать возможность размещения объектов складского хозяйства в отработанных горных выработках шахт и карьеров по добыче известняков, гипса, песчаников, соли и др.

В подземном пространстве зон прибытия и отправления внешнего транспорта рекомендуется *размещение вокзалов, пересадочных узлов различной степени сложности, гаражей и стоянок легковых автомобилей* и др.

Подземное пространство зон отдыха целесообразно использовать для размещения *тоннельных участков транспортной сети города, стоянок легковых автомобилей, небольших предприятий сферы обслуживания* и др.

Необходимая степень использования подземного пространства каждой конкретной зоны или участка определяется на основе комплексного анализа территории с учетом:

- распределения на территории дневного населения и транспорта;
- расчетных показателей системы обслуживания, как населения самого города, так и тяготеющих к нему пригородов;
- характера сложившейся застройки, ее этажности, степени амортизации, а также ее исторической и художественной ценности.
- характера проектируемой наземной застройки, а также природно-климатических условий.

Помимо общих принципов горизонтального зонирования подземного пространства городов, важен учет наиболее общих принципов его *вертикального зонирования*. К их числу относятся следующие:

- максимальное приближение основных уровней пешеходного движения к уровню поверхности земли (расположение их на отметках от -4,00 до -6,00 м; в этих же отметках целесообразно размещение объектов «попутного» обслуживания, в том числе автостоянок кратковременного хранения и остановочных пунктов массового транспорта);
- размещение ниже указанных выше отметок (на отметках от -6,00 до -15,00 м) автотранспортных тоннелей и станций метро мелкого заложения; в этих же отметках целесообразно размещение различных подсобных помещений и крупных складских объек-

тов, а также гаражей, предназначенных для постоянного хранения автомобилей и других транспортных средств;

- размещение на отметках от -15,00 до -40,00 м и ниже автотранспортных тоннелей и станций метрополитена глубокого заложения, а также крупных складов, резервуаров, морозильников, холодильников и других объектов без значительного количества посетителей и обслуживающего персонала.

Разработка основных направлений комплексного использования подземного пространства городов должна осуществляться на всех основных стадиях градостроительного проектирования:

– при составлении или корректировке Генерального плана развития города;
– при разработке проектов детальной планировки и застройки города;
– при разработке проекта застройки.

На *стадии Генерального плана* должна разрабатываться «Схема использования подземного пространства» с определением технических коридоров, зон и участков для всех видов основных подземных сооружений транспорта: метрополитена, тоннельных участков железных дорог и «скоростного трамвая», автотранспортных тоннелей мелкого и глубокого заложения, тоннелей перспективных видов пассажирского транспорта.

В этой схеме должны быть указаны размещение и пространственная организация наиболее важных для города общественно-транспортных комплексов и пересадочных узлов, а также участков и зон, предназначенных для размещения подземных стоянок и гаражей, значительных групп городских инженерных сетей, складских и подсобных сооружений.

На *стадии* разработки проекта *детальной планировки и застройки города* должны определяться габариты соответствующих объектов и их комплексов, осуществляться взаимосогласованное размещение объектов тради-

ционно наземного и подземного строительства, определяться стадийность освоения отдельных участков. При этом в дополнение к обычным проектным материалам может разрабатываться «Проект комплексного освоения подземного пространства», являющийся основой для проектирования отдельных сооружений и их комплексов.

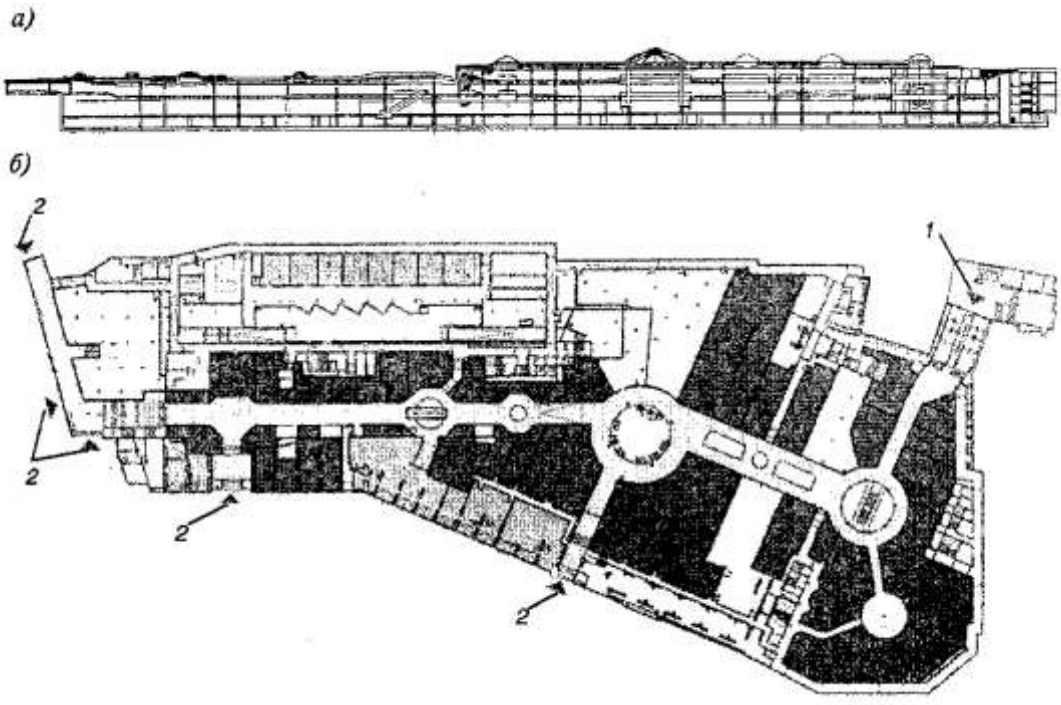
Для достижения наибольшего суммарного (социального, градостроительного и экономического) эффекта от подземного строительства необходимо согласовывать развитие подземных сооружений и их комплексов в масштабах всего города путем работки «Схем комплексного использования подземного пространства». Для оценки эффективности различных вариантов комплексного использования городского подземного пространства необходимо проводить многовариантное проектирование с использованием многокритериальных оценок альтернативных решений, которые должны учитывать:

- характер существующей и проектируемой застройки;
- архитектурно-стилевые характеристики зданий;
- особенности конструктивных схем проектируемых подземных сооружений и технологии производства работ по их реализации;
- строительные и эксплуатационные затраты и их соотношение.

2.4. Многофункциональные подземные объекты и их комплексы

Подземными комплексами называются группы объектов, объединенных пространственно в одно целое и имеющих общую инфраструктуру. Различают монофункциональные и многофункциональные комплексы. Монофункциональные комплексы объединяют в себе функционально связанные объекты. Основой для формирования многофункциональных комплексов, в состав которых входят функционально не связанные между собой объекты, является технико-экономическая целесообразность их увязки.

Специфика каждого интегрируемого в существующую застройку нового подземного объекта, как правило, не отделима от учета его места в городе и от его реального окружения. Необходимость создания многофункциональных подземных комплексов чаще возникает в центральных районах больших городов, которые являются наиболее плотно застроенными и наиболее посещаемыми. Примерами таких комплексов в г. Москве являются ТРК «Охотный ряд» на Манежной площади» и многофункциональный наземно-подземный комплекс «Москва-Сити».



а) разрез; б) план;

1. – вход из вестибюля станции метро; 2. – то же с поверхности площади

Торгово-рекреационный подземный комплекс «Охотный ряд» на Манежной площади в г. Москве.

Торговый комплекс «Охотный ряд» был открыт осенью 1997 года. Огромный торговый комплекс в три подземных уровня общей площадью около 63 тысяч квадратных метров, объединяющий более 100 магазинов, множество кафе, ресторанчиков, баров

Многофункциональный наземно-подземный комплекс «Москва-Сити»

*Многофункциональные подземные комп*лексы, включающие, наряду с предприятиями сферы обслуживания, подземные пешеходные и транспортные коммуникации, в том числе железнодорожные станции и станции метро, подземные участки скоростных автомагистралей, подземные гаражи, автостоянки и др., *перспективны* также *при создании окраинных центров культурно-бытового обслуживания населения*, как *самого города*, так *и тяготеющих к нему пригородов*.

В районах вокзалов целесообразно *создание* многофункциональных комплексов с устройством *просторной подземной пешеходной зоны*, связывающей перроны вокзала со станциями метрополитена, большими универсальными магазинами, остановочными пунктами наземного общественного транспорта, подземными автостоянками. При этом рекомендуется совмещение пешеходных тоннелей, подземных подходных коридоров железнодорожных вокзалов и подземных вестибюлей станций метро, которые часто располагаются на одних и тех же отметках.

Автотранспортные тоннели во многих случаях также целесообразно возводить как элементы более сложных многофункциональных комплексов, включающих в себя станции метро мелкого заложения, подземные участки железных дорог, другие транспортные и иного назначения сооружения.

Гагаринский автотранспортный тоннель. Москва (проект)

В крупных общественных наземно-подземных центрах вблизи узловых станций метро целесообразно под объединяющей их площадью проектировать многофункциональные комплексы, объединяющие магазины, рестораны, административные помещения различных фирм, а также автостоянки большой вместимости и гаражи.

Здания наземно-подземных общественных центров целесообразно проектировать *с несколькими подземными уровнями*. Нижний подземный уровень могут занимать трассы и станции метрополитена, отдельные участки железных дорог и скоростных автомагистралей. Верхний уровень может

представлять собой систему взаимосвязанных входов в метро, входов в вокзалы и пешеходных переходов, непосредственно связанных со зданиями и сооружениями наземной застройки, а также подземными автостоянками и гаражами.

В *современных общественно-транспортных подземных* комплексах целесообразно использовать принцип взаимосвязанного и многоярусного размещения объектов на участках ограниченных размеров. *Плоские кровли* таких *комплексов* можно *использовать для создания фрагментов зеленой наземной зоны*.

В многоуровневых подземных общественных комплексах целесообразно создание заглубленных «открытых дворов», на которые могут быть ориентированы витрины, входы в магазины и рестораны, а также входы в многочисленные служебные помещения.

В сложившихся районах крупных городов, как при новом высотном строительстве, так и при реконструкции практически всегда целесообразны многоуровневые подземные коммунальные службы, размещаемые в контуре здания, а при необходимости и под дворовыми участками.

При строительстве многоуровневых подземных комплексов в условиях сложившейся плотной застройки, исторический облик района строительства, как правило, должен быть сохранен.

Раздел 3
ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ, ВОЗВОДИМЫЕ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ

3.1. Применение и выбор эффективных методов и технологий строительства

Технические решения по технологии строительства подземных сооружений открытым способом должны быть комплексными и включать технологии:

- крепления котлована;
- разработки грунта в нем;
- устройства конструкций сооружения;
- инженерные мероприятия по защите котлована и подземного сооружения от подземных вод;
- инженерные мероприятия по обеспечению сохранности близ расположенной существующей застройки;
- обеспечивать выполнение экологических требований по охране окружающей среды.

Обоснование этих технических решений должно обеспечиваться проектными расчетами напряженно-деформированного состояния ограждающих конструкций, гидрогеологического режима подземных вод и фильтрационного притока в котлован.

На выбор технологии возводимого открытым способом подземного сооружения решающее значение оказывают следующие факторы:

- габариты подземного сооружения в плане и по глубине;
- месторасположение подземного сооружения (строительство на свободной территории или в условиях тесной существующей застройки);
- инженерно-геологические и гидрогеологические условия участка

строительства;

- необходимость соблюдения экологических требований по охране окружающей среды;
- экономические соображения;
- возможности строительной организации.

При проектировании подземных сооружений в районах существующей застройки следует выполнять геотехнический прогноз влияния строительства на изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива и деформации существующих зданий и сооружений.

Выбранная технология возведения подземного сооружения должна обеспечивать непревышение допустимых дополнительных деформаций эксплуатируемых зданий, попадающих в зону влияния нового строительства, с учетом их технического состояния. Также технология должна учитывать наличие линий метрополитена и насыщенность подземного пространства существующими коммуникациями.

3.2. Современные методы ограждения глубоких котлованов

Классификация современных методов крепления котлована при строительстве подземного сооружения открытым способом приведена на схеме.

Классификация крепления котлованов

3.3. Ограждение котлованов по способу «стена в грунте»

3.3.1. Описание метода

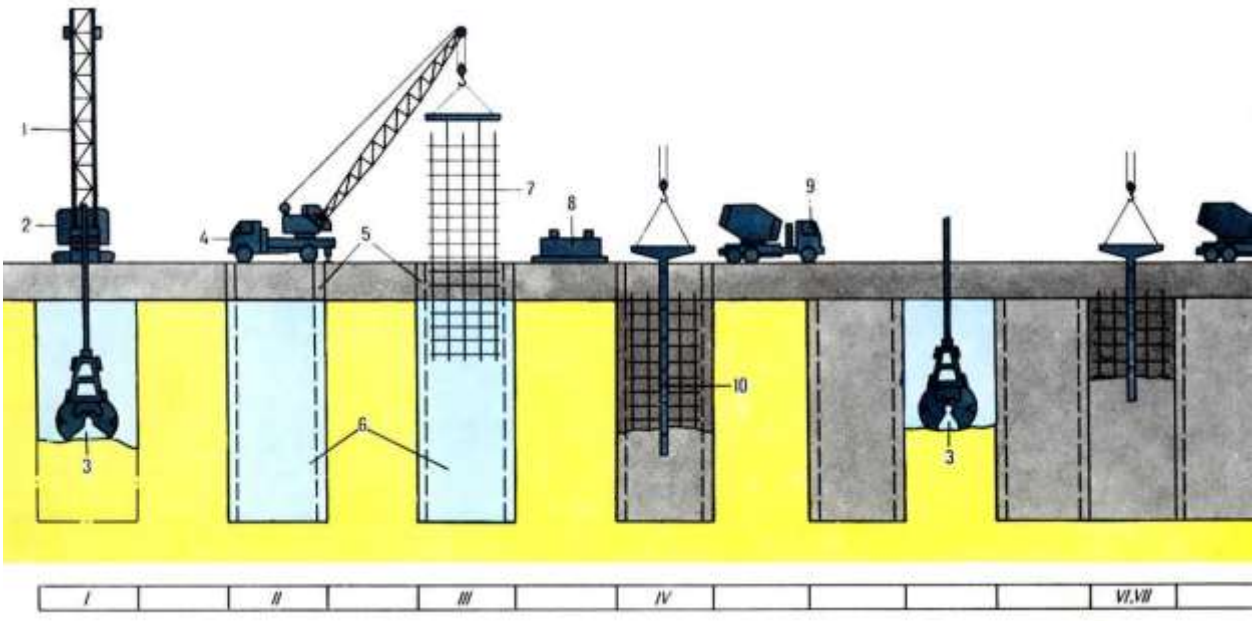
Способ «стена в грунте» является одним из наиболее прогрессивных и универсальных *для устройства подземных сооружений*, возводимых в открытых котлованах.

По *назначению* различают три типа стен: несущие, ограждающие и противофильтрационные.

По *материалам* – монолитные, сборные и сборно-монолитные.

Технология строительства состоит из пяти основных технологических этапов:

- разработка траншеи под защитой глинистого раствора;
- установка арматурного каркаса;
- заполнение траншеи монолитным или сборным железобетоном;
- разработка грунта в ядре сооружения с замоноличиванием стыков и устройством распорных конструкций;
- устройство днища внутренних конструкций.



Способ «стена в грунте» позволяет осуществлять строительство:

- в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений;
- при значительной глубине сооружения (до 50 м);
- при больших размерах в плане и сложной форме сооружения;
- при высоком уровне подземных вод.

По грунтовым условиям *«стена в грунте» может применяться в любых дисперсных грунтах за исключением*:

- текучих глинистых грунтов, илов и плывунов;
- при наличии подземных вод с большими скоростями фильтрации.

При устройстве больших котлованов, внутри которых возводится здание или сооружение, ограждающие конструкции, выполненные методом «стена в грунте», используют как внешние стены подвальных помещений. В этом случае нагрузка от здания передается на фундаменты, не связанные с ограждающими стенами.

При необходимости *ограждающие конструкции, устраиваемые методом «стена в грунте», могут выполнять двойную функцию*: являются и ограждением котлована, и конструктивным элементом, но при этом изменяется конструктивная схема подземной части здания и производится два расчета: на ограждение котлована «стена в грунте» и на боковое давление грунта и расчет «стены» на вертикальную нагрузку.

Современные технологии позволяют устраивать конструкции подземных сооружений разных форм, но традиционными и наиболее часто встречающимися являются конструкции из прямолинейных стенок.

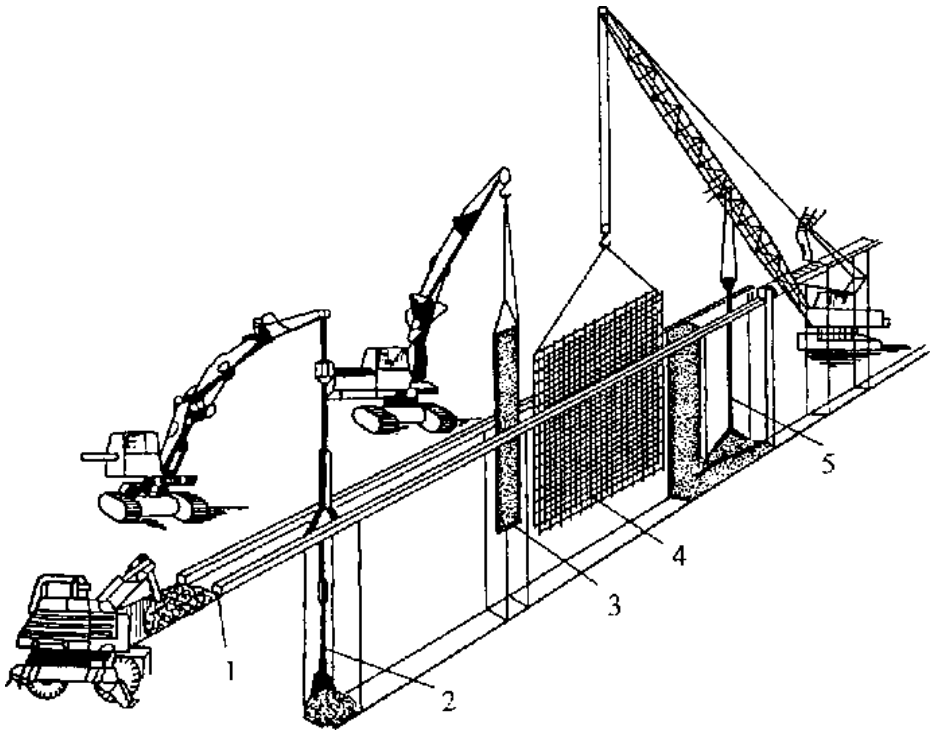
Расстояние между стенками, как правило, принимается до 15–20 м из расчета прочности и устойчивости распорных конструкций. При расстоянии более 20 м устойчивость стен обеспечивается анкерами. Обеспечение устойчивости «стен в грунте» за счет применения наклонных анкеров является наиболее простым и дешевым мероприятием.

При наличии грунтов, содержащих твердые включения природного или техногенного происхождения (крупные валуны, обломки бетонных конструкций, каменной кладки и др.) при проходке траншеи используется техника, оснащенная фрезерным оборудованием.

3.3.2. Технологические приемы

Технологические приемы, применяемые для омоноличивания (тампонажа) стыков при устройстве «стен в грунте», должны обеспечивать достаточную прочность и водонепроницаемость стыков.

Технология устройства «стены в грунте» отдельными захватками (опережающими и соединительными) предусматривает установку арматурных каркасов и бетонирование в опережающих захватках, и последующую разработку соединительных захваток со срезкой бетона толщиной 0,15 м с торцевых кромок опережающих захваток с последующей установкой каркасов и бетонированием. Такая технология обеспечивает монолитность «стены в грунте» и отсутствие холодных и грязевых швов в стыках.

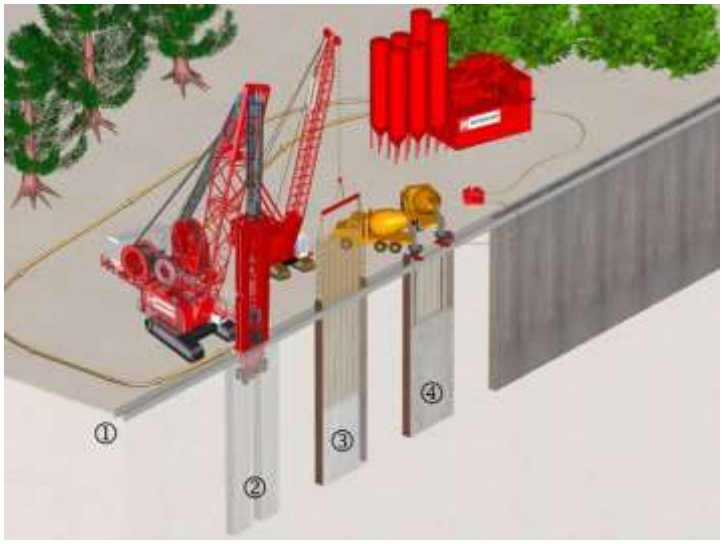


Технологическая схема устройства «стены в грунте»:

1 – устройство форшахты (укрепление верха траншеи);
2 – рытье траншеи на длину захватки;

3 – установка ограничителей (перемычек между захватками);
4 – монтаж арматурных каркасов;
5 – бетонирование на захватке методом вертикально перемещаемой трубы

Для разработки грунтового ядра внутри подземного сооружения, возводимого способом «стена в грунте», рекомендуется применять технологию, которая предусматривает *разработку вначале центральной части грунтового массива внутри сооружения на глубину одного яруса с сохранением по периферии неразработанных участков*.



Такой прием облегчает работу ограждающей конструкции. Затем монтируются распорные конструкции, и разрабатывается оставшаяся часть грунта. На следующей заходке цикл повторяется.

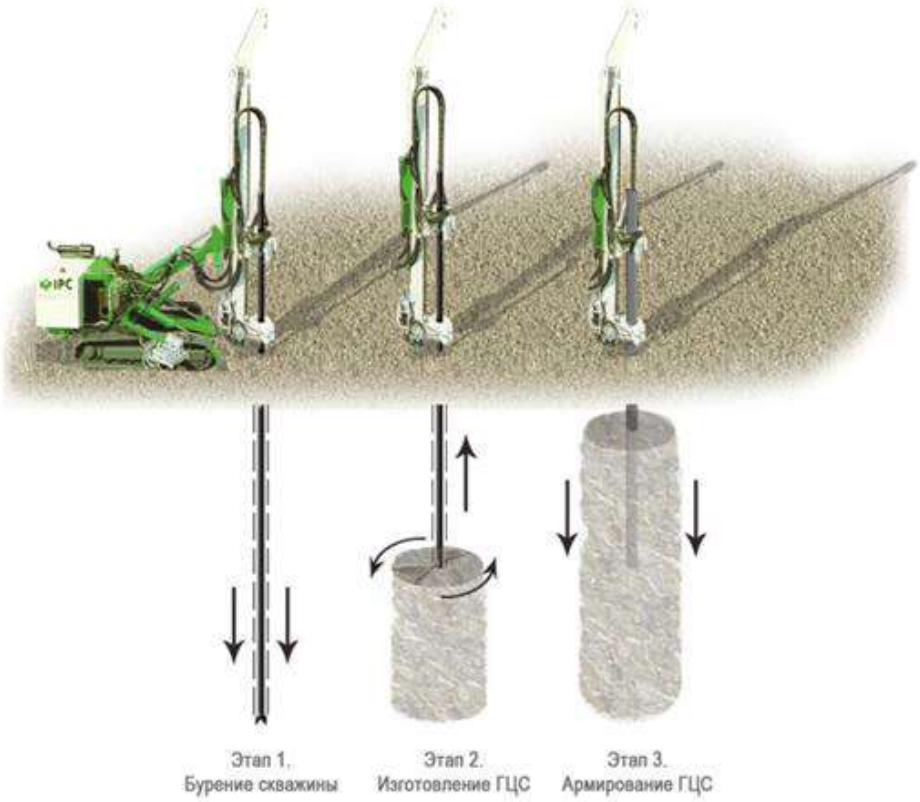
Новым и прогрессивным является также *способ разработки грунта в котловане через перекрытия в многоуровневых подземных сооружениях*. В этом случае дополнительная крепь ограждающих стен не применяется.

Для надежного *уплотнения проблемных стыков между панелями траншейных стен*, как показал опыт строительства, успешно может быть применена *технология струйной цементации* «jet-grouting».

Технология струйной цементации или технология «jet-grouting» заключается в разрушении и перемешивании грунта высоконапорной струей цементного раствора, исходящего под высоким давлением из монитора, расположенного на нижнем конце буровой колонны. В результате в грунтовом массиве формируются сваи диаметром 0,6-1,5 м из нового материала – грунтобетона с достаточно высокими несущими и противофильтрационными характеристиками.

Устройство свай из грунтобетона выполняется в два этапа:

- производство прямого (бурение скважины);
- и обратного хода буровой колонны.



В процессе обратного хода производят подъем колонны с одновременным ее вращением. При этом поднимают давление цементного раствора, который поступает в сопла монитора, создающие струю с высокой кинетической энергией.

Сваи, образуемые с использованием струйной технологии, могут быть круглого сечения, а также секущиеся.

*Технология струйной цементации м*ожет быть эффективно *применена при решении* следующих *задач подземного строительства*:

- сооружение ленточных в плане конструкций типа «стена в грунте»;
- устройство анкерных креплений;
- укрепление грунта вокруг строящихся подземных сооружений;
- создание противофильтрационных завес.
- уплотнение стыков между панелями траншейных «стен в грунте».

К основным преимуществам технологии относятся следующие:

- высокая производительность;
- простота;

- экономичность;
- возможность работы в стесненных условиях (вблизи существующих зданий, в подвалах);
- отсутствие негативных ударных воздействий.

Конструкция ограждения котлована может *выполняться из одного ряда секущихся грунтоцементных свай* (например, диаметром 600 мм с шагом 500 мм) или *с расположением свай меньшего диаметра в два ряда в шахматном порядке*. Для крепления такого ограждения также могут быть применены грунтоцементные сваи, наклоненные под углом 30-45° к вертикали. Сваи ограждения и крепления объединяются поверху монолитной железобетонной обвязочной балкой.

Для повышения устойчивости стен, выполненных методом струйной цементации, применяют их армирование стальными трубами или прокатными балками.

Оборудование для реализации струйной цементации включает:

- буровую установку;
- растворонасос с давлением нагнетания цементного раствора 400-500 атм;
- миксерную станцию;
- силос;
- рукава высокого давления;
- гидромонитор;
- керамические сопла.

Основные параметры струйной технологии с использованием импортного оборудования следующие:

- водоцементное отношение раствора – В/Ц = 0,8-1;
- диаметр сопел – 2 - 4 мм (количество сопел - 1 - 2 шт.);
- диаметр подающего шланга – 25,4 мм;
- рабочее давление подачи раствора – 410 - 440 атм.

Применение технологии «jet-grouting» на ряде объектов в сложных инженерно-геологических условиях показало эффективность и перспективность этой технологии, как при новом строительстве, так и при реконструкции зданий, выполняемых в условиях тесной городской застройки

3.3.3. Конструкции «стена в грунте»

Для повышения индустриальности ведения работ и качества стен рекомендуется применять сборный или сборно-монолитный вариант.

Сборная или сборно-монолитная «стена в грунте» позволяет увеличить скорость возведения конструкции и снизить ее трудоемкость, а также снизить расход бетона.

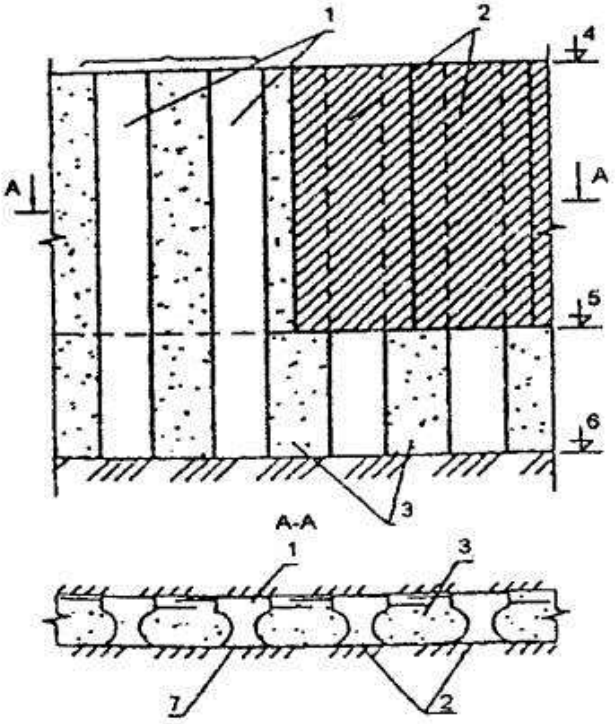
Применение для ограждения котлованов технологии «стена в грунте» в виде сборной или сборно-монолитной конструкции позволяет получить:

- гарантированную марку бетона стен по прочности и водонепроницаемости;
- гарантированную геометрию и чистую поверхность стен;
- возможность установки в заводских условиях закладных деталей и сальников для подводки коммуникаций;
- увеличение скорости возведения конструкции на 15 - 20 %;
- снижение трудоемкости работ.

В качестве конструкций сборной «стены в грунте» хорошо зарекомендовали себя *шпунтовые панели ПШС-50*, разработанные ОАО «ЦНИИС» (Москва). Панели шириной 1,5 м, толщиной 0,5 м и длиной, равной глубине траншеи, соединяются друг с другом посредством пазового замка.

Другая конструкция «стены в грунте» *с листовой арматурой* состоит из сборных железобетонных стеновых блоков, устанавливаемых в заполненную глинистым раствором траншею с определенными интервалами и монолитных участков между ними из бетона или цементного раствора траншеи.

Стеновые блоки поперечного сечения 600*600 мм, длиной до 25 м и массой 15 - 20 т имеют полуцилиндрические боковые поверхности, снабженные со стороны подземного сооружения листовой арматурой толщиной 6-10 мм, которая может служить гидроизоляцией. Блоки изготавливаются в заводских условиях из тяжелого бетона класса В22,5 - В30, марки по водонепроницаемости W4 - W6. Конструкция сборно-монолитной стены толщиной 600 мм может быть использована при глубине «стены в грунте» до 28 м в различных инженерно-геологических условиях.



Принципиальная схема сборно-монолитной «стены в грунте»:

1 - стеновой блок; 2 - листовая арматура; 3 - бетонное заполнение; 4 - отметка верха блока; 5 - отметка дна котлована; 6 - отметка низа стены; 7 - контур траншеи

К недостатку данной конструкции относятся малые осевые нагрузки, передаваемые от армированного бетонного стенового блока на бетонное заполнение в стене, а также малые осевой нагрузки, передаваемые в стене через бетонное заполнение на армированный бетонный стеновой блок в условиях действия на стену вертикальных и горизонтальных нагрузок. Другими словами, основным недостатком сборной стены является недостаточное сцепление стенового блока и бетонного заполнения в условиях сложного пространственного нагружения.

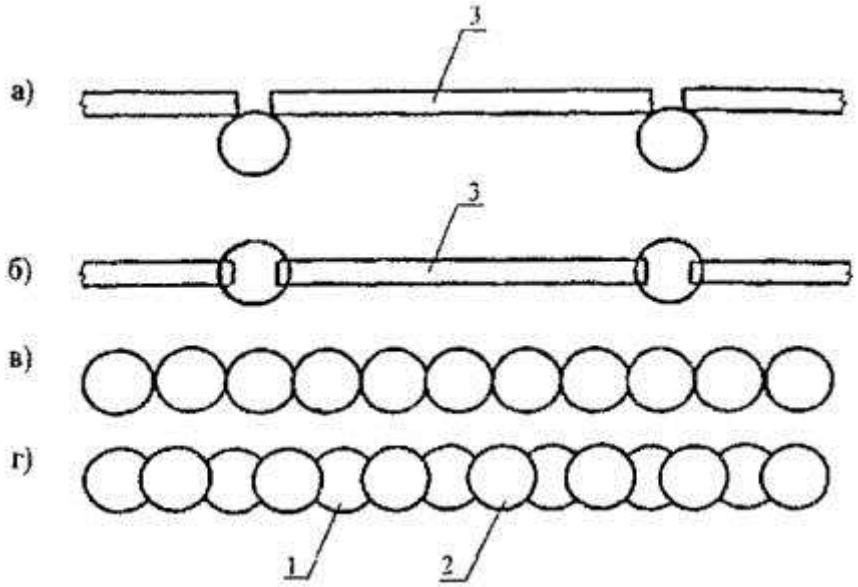
3.4. Ограждение котлованов с помощью свай

3.4.1. Ограждение из буронабивных свай

Ограждение из буронабивных свай относится к малодеформирующимся видам крепления и его целесообразно применять в случае больших нагрузок на бровке котлована, а также на сами сваи при использовании их в качестве несущего элемента строящегося сооружения.

В качестве ограждения котлованов из буронабивных свай применяют три группы свайных стен:

- с прерывистым расположением свай;
- с касательным их сопряжением;
- секущиеся сваи.



Типы ограждений котлована из буронабивных свай

а и *б* - сваи, установленные с определенным шагом и затяжкой;
в - бурокасающиеся сваи; *г* - буросекущиеся сваи:
1 - опережающая свая, 2 - пересекающая свая, 3 - затяжка

Стены с прерывистым расположением свай устраиваются в сухих связных грунтах, способных держать вертикальный откос 1 - 2 м. Промежуток между сваями для предотвращения местных вывалов защищается затяжками из досок, тонких железобетонных плит, гофрированных стальных листов или бетонной затяжкой.

Стены с касательным сопряжением свай используются в несвязных грунтах, чтобы избежать осыпания грунта между сваями при раскрытии котлована, а, следовательно, и осадок поверхности.

Стены из буросекущихся свай сооружают, когда дно котлована ниже подземных вод. На первом этапе изготавливаются через одну сваи без армирования, на втором – между ними устраиваются сваи таким образом, чтобы бетон соседних свай частично подрезался. Сваи второго этапа армируются. Благодаря полученному сцеплению образуется сплошная прочная стена с повышенной водонепроницаемостью. Врезка в бетон соседних свай составляет 80 - 150 мм в зависимости от диаметра свай, который составляет от 600 до 1300 мм.

К преимуществам ограждений из буронабивных свай следует отнести:

- возможность использования в качестве основания прочных грунтов, залегающих на большой глубине;
- возможность устройства свай разной длины, опирающихся на необходимой отметке при резко пересеченном рельефе кровли прочных грунтов, принятых за основание свай;
- возможность устройства ограждений стен котлованов, когда уровень подземных вод залегает выше уровня дна котлована;
- возможность передачи на одну сваю большого диапазона нагрузок (1000 - 10000 кН);
- возможность устройства свай большого диаметра (по сравнению с забивными сваями), что значительно улучшает работу свай на горизонтальную нагрузку;
- повышение надежности сооружений за счет уменьшения общих и неравномерных осадок;
- исключение подвижки и деформации грунтового массива и расположенных поблизости зданий за счет повышенной жесткости свай;
- возможность устройства свай без армирования в нижней ее части, где отсутствует передача моментов и горизонтальных сил;
- отсутствие существенных вибраций и сотрясений в процессе производства работ;
- сокращение потребности в механизмах и транспорте.

Устройство буронабивных свай предъявляет жесткие требования к технологическому процессу производства работ. Особенно это важно при устройстве буросекущихся свай. Изготовление таких свай требует обеспечения непрерывности процесса производства работ, т.к. устройство секущихся армированных свай должно быть произведено в относительно строго регламентированный период (1,5 - 2 суток), начиная с момента выполнения бетонных неармированных свай.

Буронабивные сваи изготавливаются по одной технологической схеме:

1. вначале бурят скважину;
2. устанавливают арматуру;
3. затем скважину заполняют бетонной смесью.

Более совершенной и рациональной технологией является технология, когда через отверстия в полом шнеке скважина заполняется бетоном в процессе бурения, а каркас погружается в литой бетон при помощи виброзадавливания.

Сравнение экономических показателей методов ограждения котлованов показывает, что производительность работ по устройству стен из буросекущихся свай примерно в 5 раз ниже производительности по устройству траншейных «стен в грунте». Однако, в тех случаях, когда «стена в грунте» по каким-либо причинам невыполнима, стена из буросекущихся свай остается надежным видом ограждения котлованов.

3.4.2. Ограждение из бурозавинчивающихся и вдавливаемых свай

Область применения металлических бурозавинчивающихся свай по грунтовым условиям – песчаные и глинистые грунты от плотных до текучих.

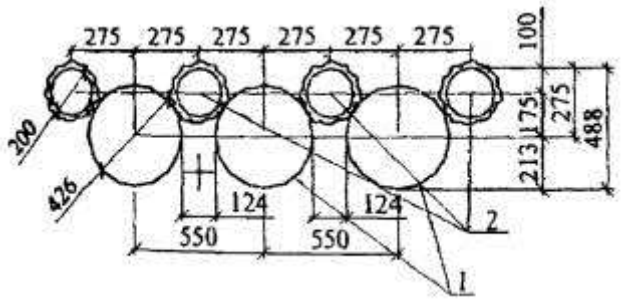
В глинистых грунтах применяют завинчивание труб диаметром до 325 мм, в песках – до 500 мм при их длине – до 20 м. При этом возможна стыковка труб во время их погружения сваркой по аналогии с составными сваями.

В зависимости от конкретных гидрогеологических условий и требований к конструкции ограждения трубы могут быть оснащены заглушками с рыхлителем как глухими, так и теряемыми, которые позволяют осуществить дополнительное рыхление плотного грунта, ускорить процесс завинчивания и не допустить попадания грунта и грунтовых вод в полость трубы, что важно при необходимости заполнения внутреннего пространства трубы бетоном. При завинчивании трубы грунт частично уплотняется.

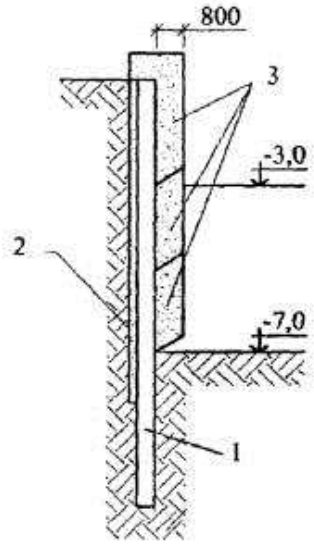
При завинчивании труб отсутствуют удары и вибрация, а также нару-

шение и ослабление окружающего грунта, поэтому *данная технология позволяет вести работы в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений*.

Конструкцию ограждения в виде бурозавинчивающихся свай с забиркой нельзя рекомендовать при устройстве котлованов в слабых и водонасыщенных грунтах в непосредственной близости от существующих сооружений. В этих случаях для ограждения котлованов успешно *применяется конструкция из двух рядов свай*, причем сваи внутреннего ряда, обращенные к котловану, являются несущими, а наружные – тампонирующими или замыкающими. В качестве тампонирующих хорошо зарекомендовали себя так называемые буротрамбованные сваи.



План ограждения котлована конструкций из 2-х рядов свай
1 - несущие металлические сваи; 2 - тампонирующие буротрамбованные сваи



Конструкция стены подземного сооружения из 2-х рядов свай
1 - несущие металлические сваи; 2 - тампонирующие буротрамбованные;
3 - облицовочная ж/б рубашка

Стоимость 1 м^2 ограждающей стенки из бурозавинчивающихся свай на 20 - 30 % ниже стоимости устройства стенки, выполненной способом «стена в грунте» при примерно одинаковых параметрах конструкции. Стоимость 1 м^2 ограждающей стенки, выполненной способом буровставных труб с бурением скважин с применением бентонитового раствора, со стоимостью всех сопутствующих работ примерно на 30 % выше стоимости погружения бурозавинчивающихся свай.

Вдавливание свай (шпунта) статической нагрузкой полностью исключает динамические нагрузки на основание, поэтому ограждение котлованов из вдавливаемых свай является наиболее безопасным методом в условиях тесной городской застройки. Метод исключает возникновение дополнительных недопустимых деформаций близрасположенных сооружений.

Метод вдавливания свай характеризуется высокой производительностью и технологичностью.

Помимо вдавливания железобетонных свай технология вдавливания позволяет:

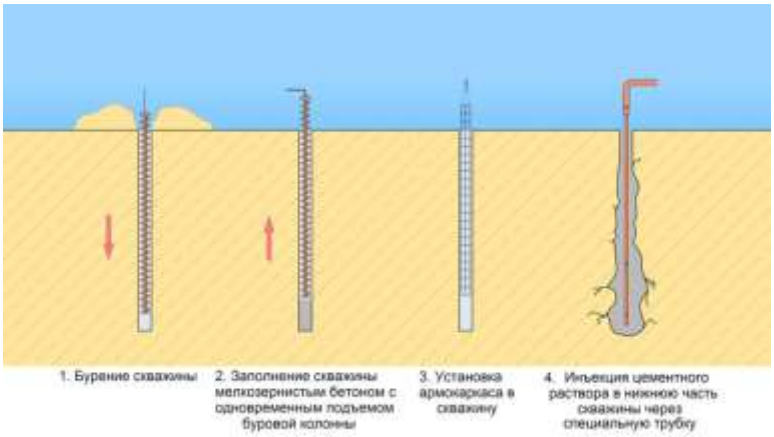
- устраивать трубобетонные сваи (металлическая труба, заполненная бетоном);
- производить устройство набивных железобетонных свай путем вдавливания и последующего извлечения стальных труб с оставляемым нижним концом.

3.4.3. Ограждение из буроинъекционных свай

Буроинъекционные сваи в ряде случаев могут быть использованы в качестве подпорной стенки в грунте с целью ограждения глубокого котлована в стесненных условиях городской застройки.

Для увеличения жесткости стенки в связи с большой гибкостью буроинъекционных свай может быть рекомендовано:

- двухрядное расположение свай;
- дополнительное закрепление грунта вокруг свай путем инъектирования твердеющего раствора;
- устройство анкеров;
- объединение голов свай железобетонной плитой.



Толщина и несущая способность буроинъекционных свай может быть повышена в два и более раз с помощью разрядно-импульсной технологии (РИТ), основанной на использовании энергии электрических разрядов в грунте и в бетонных смесях.

3.4.4. Шпунтовые и балочные ограждения

Стальные шпунтовые ограждения в определенных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях и при глубине котлована до 7 - 8 м по технико-экономическим показателям могут оказаться эффективнее других способов ограждения котлованов.

Применение этого вида ограждающих элементов, погружаемых, как правило, забивкой, может регламентироваться состоянием близрасположенных эксплуатируемых сооружений. Кроме того, шпунтовая стена относится к гибким видам крепления, поэтому ее целесообразно использовать при отсутствии вблизи бровки котлована значительных нагрузок.

Область применения шпунтовых ограждений по грунтовым условиям – пески и глинистые грунты, в том числе водонасыщенные, не содержащие

крупных включений.

Для облегчения погружения оправдал себя *способ подмыва*. Для обеспечения водонепроницаемости концы шпунтовых балок своими плоскостями соединяются в так называемые «замки», служащие также направляющими при погружении шпунта.

Погружение шпунтовых элементов в грунт осуществляется обычно тремя способами: ударным, вибрационным и вдавливанием. Выбор способа погружения определяется:

- грунтовыми условиями;
- наличием вблизи котлована эксплуатируемых зданий и сооружений;
- массой и длиной погружаемых элементов;
- наличием необходимого оборудования.

Шпунт, так же, как и балочное ограждение, чаще всего предусматривается извлекаемым из грунта, для чего используются механизмы, аналогичные применяемым для погружения.

Перспективным методом погружения шпунта и балок, который расширяет область применения этого вида ограждения, особенно в условиях тесной городской застройки, является их вдавливание в грунт, а также вибропогружение с повышенной частотой вибрирования (до 2000 кол/мин).

3.4.5. Способы крепления ограждающих конструкций

Для обеспечения устойчивости ограждающей конструкции при глубине котлована более 4 - 6 м необходимо применять ее крепление распорными или анкерными конструкциями.

К *преимуществам распорных систем* перед анкерными следует отнести следующие:

- их устройство проще;
- дешевле;
- не требует специальной технологии и специального оборудования;
- они могут многократно использоваться.

Поэтому там, где это возможно, предпочтение следует отдавать распорным системам.

Применение анкерного крепления ограждающих конструкций котлованов взамен распорных систем во многих случаях дает ряд *технико-экономических преимуществ*, важнейшими из которых являются:

- нет ограничений по ширине котлована;
- расширяется фронт разработки грунта в котловане строительной техникой;
- отсутствуют какие-либо помехи при монтаже конструкций сооружения;
- отпадает необходимость в перекладке распорных элементов;
- применение там, где это возможно, одностороннего крепления ограждения котлована;
- достигается существенный технико-экономический эффект в последующих технологических операциях по возведению подземного сооружения (земляные работы, монтаж строительных конструк-

ций), что обеспечивает существенное сокращение сроков строительства.

Наиболее широко применяются инъекционные предварительно напряженные грунтовые анкеры, в которых закрепление в грунте создается путем нагнетания в рабочую зону твердеющих растворов, как правило, на основе портландцементов. Такие анкеры обладают целым рядом преимуществ: экономичностью, хорошим сцеплением затвердевшего цементного раствора с тягой, высокой несущей способностью, образованием защитного слоя от коррозии.

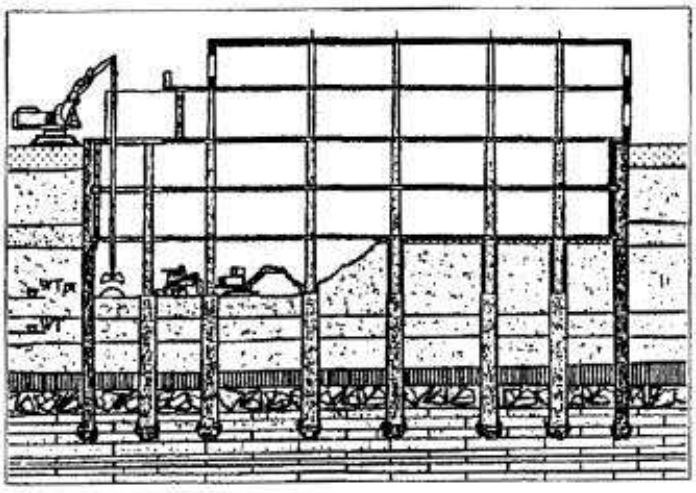
3.5. Методы строительства способами «сверху-вниз» и «вверх-вниз»

Способы строительства подземных сооружений «сверху-вниз» и «вверх-вниз» позволяют отказаться от крепления ограждения котлована временными распорными конструкциями или анкерными креплениями, т.к. в качестве распорной системы для ограждения котлована здесь используются междуэтажные перекрытия. Для второго из способов, кроме того, существенно сокращаются сроки строительства.

Эти методы строительства являются наиболее щадящими по отношению к близлежащей существующей застройке, обеспечивая минимальные, по сравнению с другими способами крепления котлованов, осадки существующих зданий и сооружений.

При способе строительства подземных сооружений «сверху-вниз» (полузакрытый способ) могут быть использованы три основных технологических приема, определяющих порядок возведения монолитных железобетонных перекрытий и поярусной разработки грунта под их защитой.

Первый прием базируется на опережающем возведении перекрытий по отношению к поярусной разработке грунта в котловане, при этом бетонирование перекрытий осуществляется безопалубочным методом непосредственно на подготовленном грунтовом основании.

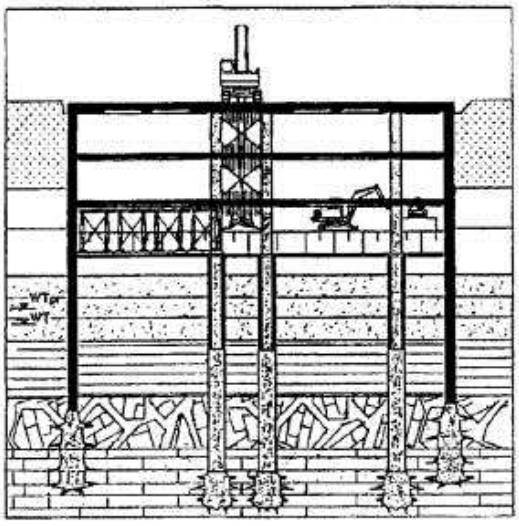


Способ строительства подземного сооружения «сверху-вниз»

Разработка грунта на третьем ярусе котлована под защитой перекрытий над 1 - 3 подземными этажами, возведенными безопалубочным методом

Второй прием предполагает опережающую поярусную разработку грунта и последующее возведение перекрытий с помощью инвентарной опалубки, опирающейся на подготовленное грунтовое основание.

Третий прием – комбинированный и сочетает в себе как элементы технологии возведения перекрытий безопалубочным методом, так и с опиранием инвентарной опалубки на подготовленное грунтовое основание



Способ строительства подземного сооружения «сверху-вниз» по комбинированной технологии

Параллельное возведение перекрытия над 3-м подземным этажом и разработка грунта на третьем ярусе котлована

Метод строительства «вверх-вниз» предусматривает строительство

зданий с несколькими подземными этажами за счет одновременного сооружения этажей вверх и вниз от уровня поверхности земли с устройством ограждения котлована способом «стена в грунте», которое часто служит стеной подземной части здания. Строительство таким методом позволяет сократить общие сроки строительства здания в целом до 30 %.

Строительство по схеме «вверх-вниз» начинается с устройства траншейных «стен в грунте» по периметру сооружения и промежуточных буровых опор (колонн). Траншейные стены и буровые колонны служат опорами будущих конструкций верхнего строения. Далее начинается открытая разработка грунта на первом подземном ярусе и параллельно захватками возводится перекрытие над первым этажом (в уровне земли). При достижении бетоном перекрытия в уровне земли 75 % прочности, на нем в специально усиленной зоне стационарно устанавливается башенный кран. По достижении бетоном перекрытия 100 % прочности начинается возведение конструкций наземных этажей и одновременно ведется строительство второго и последующих подземных этажей по одному из трех технологических приемов, описанных выше.

Раздел 4
ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ГОРОДСКИХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ, ВОЗВОДИМЫХ ЗАКРЫТЫМ СПОСОБОМ

4.1. Введение

Конструкции и технологии возведения городских подземных сооружений мелкого заложения (комплексов многоцелевого назначения, подземных гаражей и автостоянок, коммуникационных тоннелей, пешеходных переходов) должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать устойчивость стенок выработок в процессе проходки и эксплуатации сооружения;
- воспринимать нагрузки и воздействия от горного давления или толщи вышерасположенного грунта и наземного транспорта;
- обеспечивать водонепроницаемость обделок или их гидроизоляции;
- обеспечивать механизированную разработку грунта и возведение обделки;
- обеспечивать минимизацию нарушений поверхностных условий движения транспорта и пешеходов;
- исключать, по возможности, применение водопонижения, способного вызвать осадку поверхности грунта, наземных и подземных объектов;
- обеспечивать сохранность окружающего горного массива и близко расположенных наземных и подземных объектов;
- обеспечивать высокие скорости проходки, сокращение материалоемкости, трудоемкости и сроков строительства;
- обеспечивать соблюдение экологических, санитарно-технических и пожарных требований.

Строительство подземных сооружений мелкого заложения должно базироваться на применении индустриальных технологий с использованием современной проходческой техники, монолитных или сборных железобетонных конструкций обделок, комплексной механизации всех основных процессов и специализации отдельных видов работ, внедрении в производство работ новых строительных материалов.

При этом весь комплекс подземного сооружения должен возводиться в единых конструктивных и технологических решениях, взаимно увязанных между собой.

При возведении подземных сооружений закрытым способом применяют следующие основные *способы работ*:

- *горный* – в крепких и устойчивых грунтах, а с использованием «новоавстрийского» метода (НАТМ) и в грунтах средней и слабой устойчивости;
- *щитовой* – в мягких и слабых грунтах;
- *продавливания* – преимущественно в насыпях, сложенных уплотненными и осушенными несвязными грунтами, а также в слабых водонасыщенных грунтах, осушенных водопонижением.

В наиболее сложных инженерно-геологических, топографических и градостроительных условиях горный и щитовой способы работ применяют в сочетании со специальными видами работ, обеспечивающими предварительную стабилизацию грунтового массива (химическое закрепление и замораживание грунтов, струйная цементация, опережающие защитные крепи и др.).

Проектирование подземного сооружения должно производиться с учетом:

- назначения сооружения, объемно-планировочных и конструктивных решений, глубины заложения;
- результатов определения характера проявления горного давле-

ния;

- выбранного способа и технологии возведения сооружения, а также типа обделки;
- инженерно-геологических и гидрогеологических условий;
- прогноза устойчивости и смещения пород и расчета нагрузок;
- расчета конструкций обделки и сооружения.

При выборе конструкции и параметров обделки следует также учитывать особые требования к обделкам, связанные с дополнительными воздействиями на нее динамических нагрузок, агрессивных подземных вод, а также обеспечения водо- и газоизоляции выработок.

4.2. Горные способы производства работ

Горный способ заключается в разработке всего сечения выработки за один прием или по частям с заменой вынимаемой породы временной крепью с последующим возведением постоянной обделки из монолитного бетона или из железобетонных элементов. Плотный контакт обделки с окружающим массивом грунта обеспечивается нагнетанием за обделку цементного раствора.

Существующие основные способы производства работ по сооружению выработки горным способом могут быть подразделены на три группы:

- *к первой группе* относят способы, при которых *сечение выработки целиком освобождают от породы, используя варианты полностью раскрытого сечения* (поточный и кольцевой варианты), сплошного забоя, ступенчатого забоя, центральной штольни, подсводного разреза, нижнего и верхнего уступов, после чего в выработке полного сечения сооружают стены и свод обделки;
- *ко второй группе* относят способы, когда *сначала раскрывают и закрепляют калотту, в которой возводят свод, опираемый непосредственно на породу*, применяя варианты проходки двух-

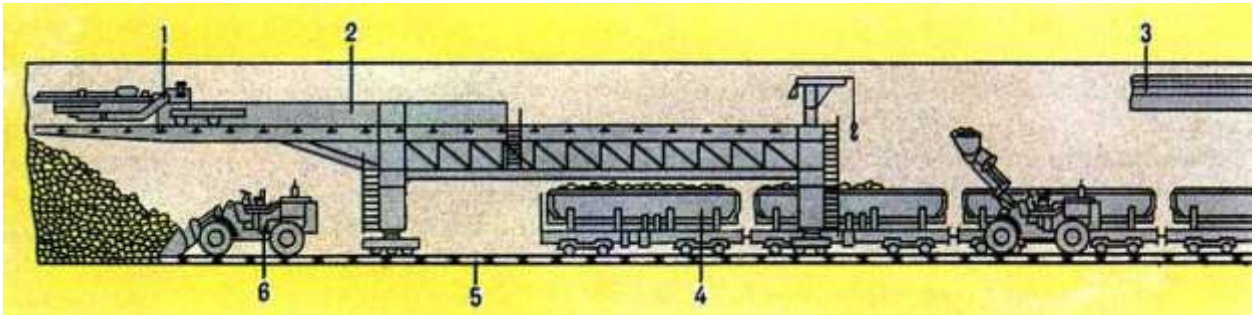
штольной, одноштольной и с опережающей калоттой)[1];

- *в третьей группе* способов *стены обделки сооружают в штольнях*, после чего раскрывают калотту, в которой возводят свод, опираемый на стены (способ опорного ядра).

Способы проходки выработок и средства механизации определяют в зависимости от назначения сооружения, размеров и формы поперечного сечения, инженерно-геологических условий.

До начала основных работ по сооружению выработок при необходимости следует производить проходку передовой штольни в пределах всего сечения для обеспечения осушения выработки и отвода самотеком подземных вод, улучшения ее вентиляции, организации транспортной связи между портальными площадками и уточнения инженерно-геологических условий.

Способ сплошного забоя следует применять для проходки выработок высотой до 10 м с монолитной обделкой в скальных грунтах с коэффициентом крепости не менее 4.



Передвижная платформа с консольным мостом:

1 - бурильная установка; 2 - консольный мост; 3 - вентиляционная труба;

4 - *вагон* с донной разгрузкой; 5 - передвижная *платформа*;

6 - *породопогрузочная машина*

При этом временное крепление выработки при проходке в скальных (невыветрелых) грунтах с коэффициентом крепости от 12 и выше не требует-

[1] Калотта (от франц. calotte, букв. – шапочка; купол * a. calotte; н. Kalotte; ф. calotte; и. calota) — верхняя часть тоннельной выработки, предназначенная для возведения сводовой обделки.

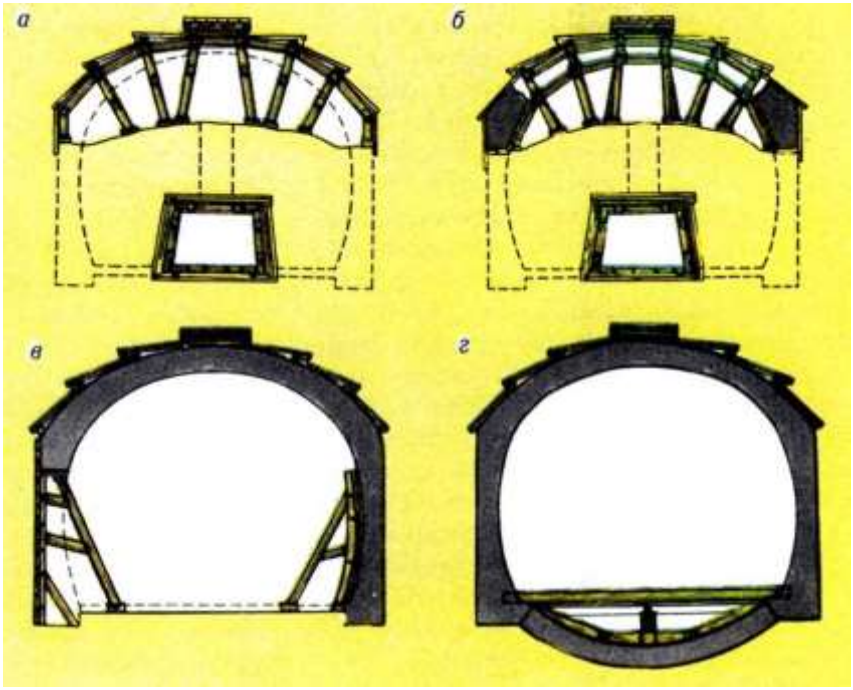
ся, а при проходке скальных выветрелых и сильнотрещиноватых грунтов применение временной крепи обязательно.

Уступный способ следует применять для проходки выработок высотой более 10 м, сооружаемых в скальных грунтах с коэффициентом крепости не менее 4 и для проходки выработок высотой менее 10 м в скальных грунтах с коэффициентом крепости от 2 до 4.

Проходку выработок следует осуществлять преимущественно с нижним уступом.

Способ опертого свода допускается применять при сооружении выработок или их участков длиной до 300 м в дисперсных грунтах типа твердых глин и суглинков, в сцементированных крупнообломочных и других грунтах, а также в скальных грунтах с коэффициентом крепости от 1 до 4, способных воспринять давление от пят свода обделки с учетом всех нагрузок, действующих на свод. Выработки в водонасыщенных грунтах следует сооружать по двухштольной схеме.

Верхняя и нижняя штольни должны соединяться между собой грунтоспусками (фурнелями), а также наклонными стойками (бремсбергами).



Сечение тоннеля, разрабатываемого способом опертого свода:

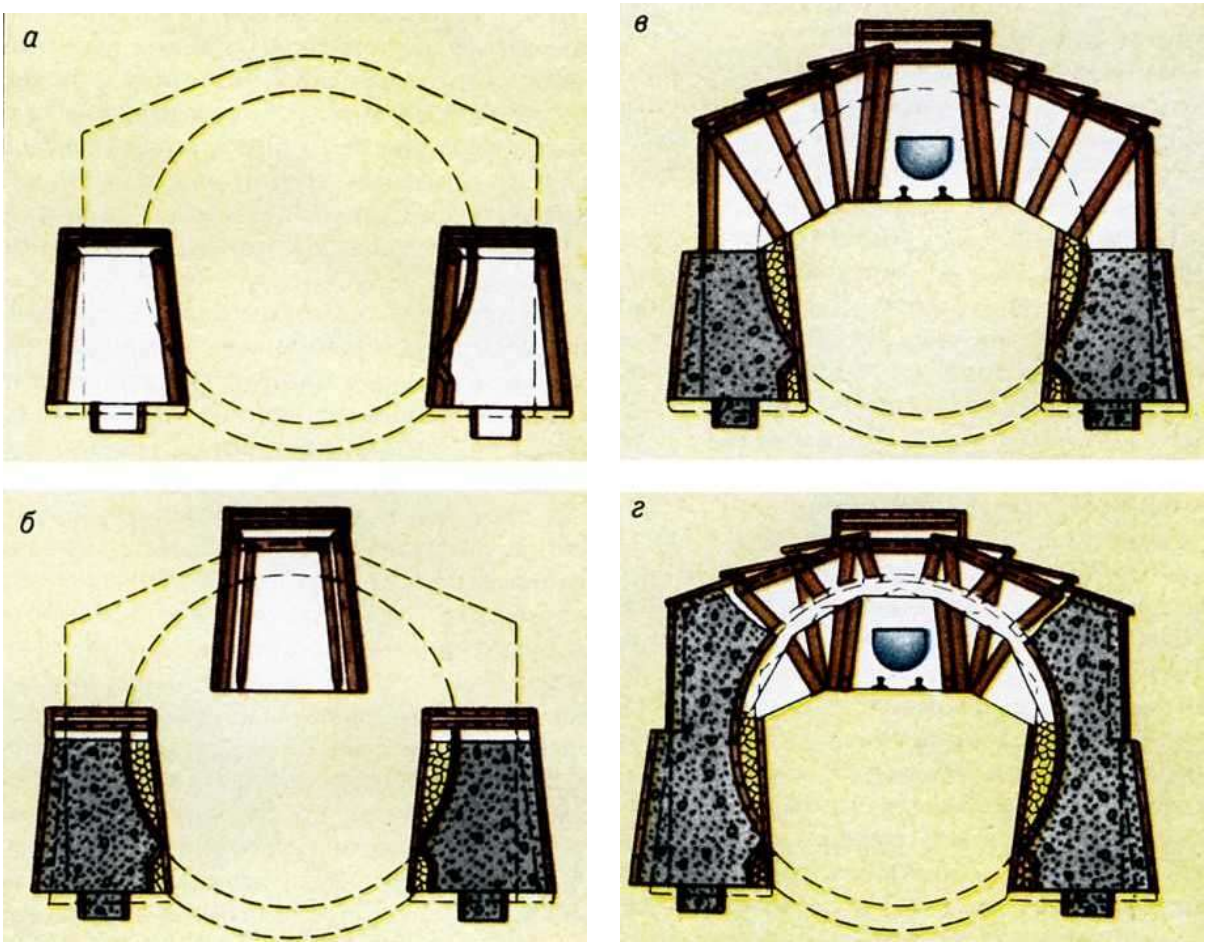
а – разработка калотты; б – бетонирование свода; в – разработка боковой штроссы и бетонирование стен; г – бетонирование лотка.

При проходке тоннелей способом опертого свода раскрытие калотт надлежит вести отдельными участками (кольцами), длина которых устанавливается в зависимости от инженерно-геологических условий и не должна превышать 6,5 м.

Способ опорного ядра следует применять при сооружении выработок или их участков длиной до 300 м в неводонасыщенных глинистых грунтах, не способных воспринимать давление от свода обделки. В этом случае стены возводят в штольнях, после чего раскрывают калотту, в которой возводят свод, опираемый на стены.

При сооружении тоннелей сечением более 40 м^2 допускается предварительная проходка по оси выработки нижней транспортной штольни.

Боковые штольни для возведения стен при проходке выработок следует, по возможности, разрабатывать на всю длину сооружаемого участка выработки.



Сечение тоннеля на различных этапах ведения горных работ:

а – проведение боковых штолен;

б – сооружение стен в нижних штольнях, проведение верхней штольни;

в – разработка калотты; г – возведение свода.

Разработку грунта в забое в зависимости от инженерно-геологических условий, размеров поперечного сечения и принятого способа проходки *производят следующими способами*:

- при проходке сплошным забоем – буровзрывным способом с использованием буровой техники и уборкой грунта породопогрузочными машинами или экскаваторами;
- при проходке уступным способом – верхнего уступа буровзрывным способом с использованием самоходных бурильных установок или горнопроходческими комбайнами, а нижнего уступа – буровзрывным способом с использованием самоходных бурильных установок и уборкой грунта экскаваторами или породопогрузочными машина-

ми;

- при проходке выработки по частям (способами опертого свода и опорного ядра) – в калотте и боковых штроссах – отбойными молотками и пневматическими лопатами; в ядре - тоннельными экскаваторами или буровзрывным способом с уборкой грунта малогабаритными породопогрузочными машинами.

Наиболее прогрессивным методом при строительстве подземных сооружений горным способом является *новоавстрийский способ проходки тоннелей (НАТМ)*.

После проходки горной выработки порода в естественном массиве постепенно переходит из упругого состояния в состояние потери устойчивости и далее в неустойчивое состояние. Установка временной крепи во время проходки должна обеспечить устойчивость массива. При этом крепь может работать как жесткая опора для окружающего массива или как податливая конструкция, допускающая деформации совместно с массивом.

Податливая конструкция крепи дает возможность максимально использовать собственную несущую способность породного массива. При этом крепление выработки следует выполнять как можно быстрее после разработки породы с тем, чтобы эффективно использовать естественную устойчивость породы от перехода ее в неустойчивое состояние. Это достигается путем создания податливого свода, состоящего из тонкой оболочки набрызг-бетона, плотно нанесенной на породу и армированной сеткой или арками и слоя прилегающих к этой оболочке пород. Первичная обделка выполняется из набрызг-бетона толщиной 10 - 20 см и усиливается стальными арками или анкерами, а вторичная - из монолитного бетона или набрызг-бетона толщиной 25 - 35 см.

В таком искусственно созданном податливом своде гибкая оболочка из набрызг-бетона воспринимает лишь незначительные изгибающие нагрузки, а слой пород, закрепленный анкерами, принимает на себя основное горное давление.

Возведенное таким образом временное крепление, взаимодействующее с породой и плотно к ней прижатое по всему периметру выработки, искусственно удлиняет время сохранения устойчивости горными породами до тех пор, пока не будет возведена постоянная обделка. При этом сечение тоннеля освобождается в призабойной части, что дает возможность широко применять высокопроизводительные горнопроходческие механизмы. А постоянную обделку можно возводить на значительном удалении от забоя и сразу по всему сечению с использованием механизированной опалубки и бетоноукладочной машины.

Применение НАТМ дает возможность создавать самонесущую бетоно-породную конструкцию и снизить нагрузки на элементы временной крепи.

4.3. Способ продавливания пешеходных и коммуникационных тоннелей небольшого диаметра

Способ продавливания наиболее эффективен при строительстве тоннелей и прокладке инженерных коммуникаций под автомобильными и желез-

нодорожными магистралями, а также на участках городских территорий в непосредственной близости от существующих зданий и подземных сооружений.

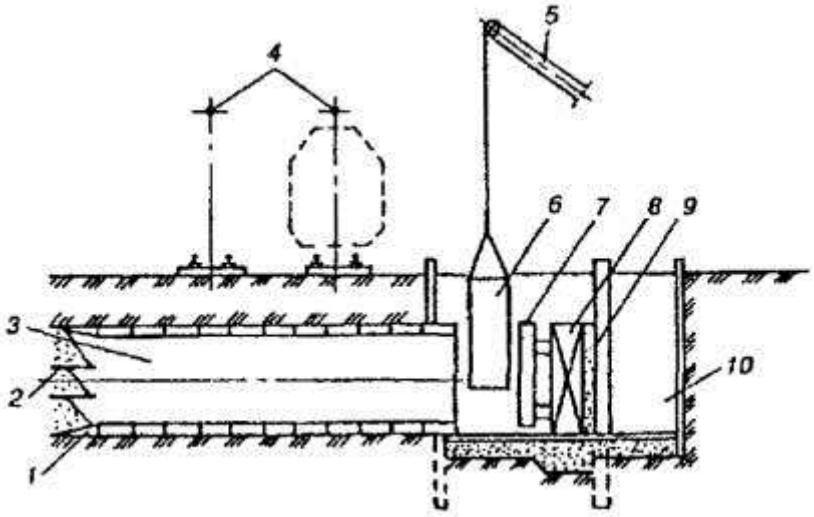


Схема продавливания пешеходного тоннеля

1 - ножевая секция; 2 - горизонтальные полки; 3 - продавливаемая обделка; 4 - контактный провод; 5 - кран; 6 - секция обделки; 7 - распределительная рама; 8 - домкратная установка; 9 - опорная стена; 10 - забойный котлован

Способом продавливания в г. Москве только трестом ГПР-3 Главмосинжстроя прокладывается до 8 - 10 км трубопроводов диаметром 800 - 2000 мм.

С использованием этого способа построены пешеходные тоннели у железнодорожной станции «Беговая», под путями Казанского вокзала, между станциями метро «Варшавская» и «Коломенская», у станций метро «Тушинская» и «Ботанический сад» и др.

Поперечные сечения трубопроводов, применяемых при способе продавливания, могут быть круглые, трапецеидальные, квадратные, прямоугольные и др. с размером труб 800 - 2000 мм. Материал трубопроводов – сталь, железобетон и различные полимерные материалы. Трубы выпускают звеньями длиной 1,5 - 3,0 м, а при использовании телескопических домкратных установок - до 5 м. Стыки между секциями труб уплотняют и изолируют, создавая водонепроницаемое соединение.

Обделки коллекторных и пешеходных тоннелей чаще всего выполняют в виде цельных секций из обычного или преднапряженного железобетона, прямоугольного, сводчатого или кругового очертания длиной до 2 - 3 м и массой до 20 т и более. Цельнотянутые обделки имеют, как правило, заводскую гидроизоляцию, а при строительстве производят только герметизацию стыков между секциями.

В Японии разработан способ «протаскивания» секций, при котором усилия домкратов передаются на обделку при помощи стальных тяговых тросов, пропущенных через грунтовый массив и продольные каналы в обделке.

4.4. Щитовые способы работ

Щитовые способы работ применяют *при возведении подземных сооружений в сильнотрещиноватых (выветрелых и рухляках) скальных, мягких и слабоустойчивых грунтах*, проявляющих горное давление, и *требующих временного крепления кровли и лба забоя*.

Проходческий щит представляет собой подвижную крепь, под прикрытием которой разрабатывают грунт и возводят постоянную обделку. Щиты различаются формой и размерами поперечного сечения, несущей способностью, способом разработки грунта и креплением лба забоя. Формы поперечного сечения щитов: круговая, сводчатая, прямоугольная, трапецеидальная и пр.

По способу разработки грунта различают немеханизированные и механизированные щиты. В первом случае грунт разрабатывается вручную или с применением ручных механизированных инструментов; во втором - все операции по разработке и уборке грунта полностью механизированы и выполняются специальным рабочим органом.

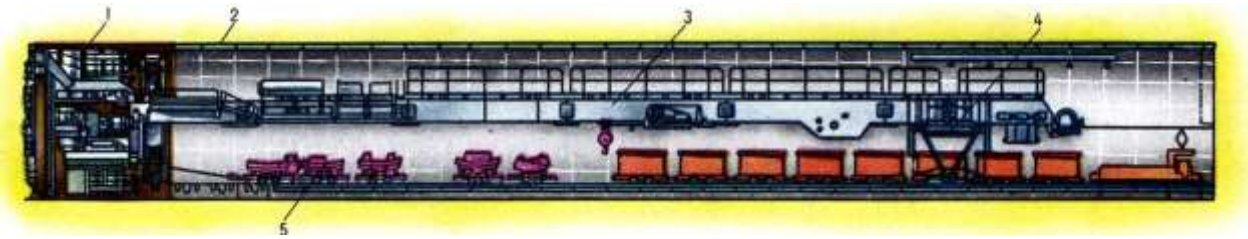


Схема производства работ механизированным комплексом КТ-1-5,6:

1 - щит; 2 - обделка; 3 - транспортный мост; 4 - задняя опора моста; 5 - элементы обделки

Технологию щитовой проходки назначают в зависимости от вида подземного сооружения, глубины его заложения, инженерно-геологических условий, типа щита и вида обделки.

Технология щитовой проходки состоит из следующих этапов:

- устройства пионерного котлована или шахты;
- производства вспомогательных операций, в случае необходимости: водопонижения, химического закрепления грунтов, замораживания и др.;
- погружения краном щита на заданную отметку разрабатываемой выработки;
- монтажа щита и оснащения его необходимым оборудованием;
- производства основных операций по проходке тоннеля, монтажу обделки, устройству гидроизоляции и выполнению вспомогательных работ.

При проходке тоннелей как немеханизированными, так и механизированными щитами основные горнопроходческие операции должны быть увязаны между собой во времени.

Основные несущие конструкции городских тоннелей, сооружаемых щитовым способом, выполняют в основном в виде обделок[2] кругового очертания из металлических или железобетонных элементов, объединяемых между собой в продольном и поперечном направлении. Сборные обделки в

[2] Обделка – постоянная конструкция предназначенная для закрепления горной выработки и придания ей проектного очертания

наибольшей степени отвечают требованиям индустриализации строительства.

В соответствии с конструктивными особенностями и характером статической работы все *сборные обделки кругового очертания* разделяют на две группы: *жесткие* – со связями растяжения в радиальных стыках и *гибкие* – без связей растяжения в стыках.

Жесткие обделки предназначены для использования в слабоустойчивых и неустойчивых грунтах в условиях значительного горного и гидростатического давления. Их проектируют как с постоянными связями растяжения (на период монтажа и период эксплуатации), так и с временными связями растяжения (на период монтажа).

Гибкие обделки применяют в устойчивых грунтах, обладающих упругими свойствами, когда обделка работает совместно с окружающим грунтовым массивом. Такие конструкции устраивают без предварительного напряжения и с обжатием в грунт.

Применение вместо дорогостоящих чугунных и стальных обделок железобетонных, обладающих высокой несущей способностью, жесткостью и водонепроницаемостью, позволяет снизить расход материала на 80 - 85 %, а стоимость сооружения на 15 - 20 %.

Раздел 5
ЗАЩИТА ОТ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

5.1. Основные принципы защиты существующей застройки при устройстве подземных сооружений

Мероприятия по защите окружающей застройки, их конструктивные решения, методы производства работ и их объемы непосредственно связаны с принятыми решениями по вновь строящемуся объекту.

Проектные решения по строительству нового объекта и защите окружающей застройки должны приниматься на основе анализа их взаимодействия. Для достижения оптимального решения разработку проектов защиты существующих сооружений следует осуществлять в составе проекта вновь строящегося объекта.

Размер зоны влияния нового строительства обусловливает следующий комплекс факторов:

- вид строительства (подземное сооружение, коллекторные сети и др.);
- нагрузки, передаваемые на основание;
- грунтовые условия;
- соотношение отметок заложения фундаментов проектируемого здания и окружающей застройки;
- глубина котлована и способ его ограждения;
- технология производства работ;
- способ возведения подземного сооружения (открытый, закрытый);
- наличие дренажей или водопонижения.

При определении зоны влияния следует также *учитывать возможное влияние строительства на изменение режима подземных вод* и на *активизацию опасных геологических процессов*.

Обязательной составной частью строительства на площадках, где

устройство подземных сооружений осуществляется в условиях плотной застройки, *является мониторинг поведения эксплуатируемых зданий*, попадающих в зону влияния нового строительства

Основными методами защиты существующих зданий, попадающих в зону влияния нового строительства, являются:

- усиление оснований и фундаментов, а также верхних конструкций зданий;
- устройство разделительной (отсечной) стенки;
- нагнетание в ограниченный объем грунта твердеющего раствора;
- компенсационное нагнетание.

В качестве *метод*ов *усиления оснований и фундаментов* применяют следующие:

- увеличение опорной площади существующих ленточных и столбчатых фундаментов;
- устройство дополнительных фундаментов;
- подведение плитного фундамента;
- пересадку фундаментов на сваи различных видов и способов погружения и изготовления;
- химическое закрепление грунтов основания.

Наиболее эффективными и безопасными являются *метод*ы *усиления оснований и фундаментов с помощью свай* вдавливаемых, бурозавинчиваемых, буроинъекционных, буронабивных и грунтоцементных (по технологии «jet-grouting»), т.е. технологии, не создающие динамических воздействий.

Эффективной мерой, направленной на уменьшение влияния подземного строительства на существующие здания, является *устройство разделительной (отсечной) стенки*.

Жесткость и глубина разделительной стенки определяются расчетом и должны обеспечить ограничение горизонтальных смещений грунта в основании существующего здания.

В качестве разделительной стенки могут быть использованы:

- «стена в грунте»;
- шпунтовый ряд;
- стенка из свай различных видов и способов погружения.

5.2. Дренажные системы

5.2.1. Классификация дренажных систем

Дренажи подразделяют на:

- *общие*, обеспечивающие понижение уровня подземных вод на территории микрорайона;

К общим дренажам относятся:

- головной;
- береговой;
- отсечной;
- систематический;

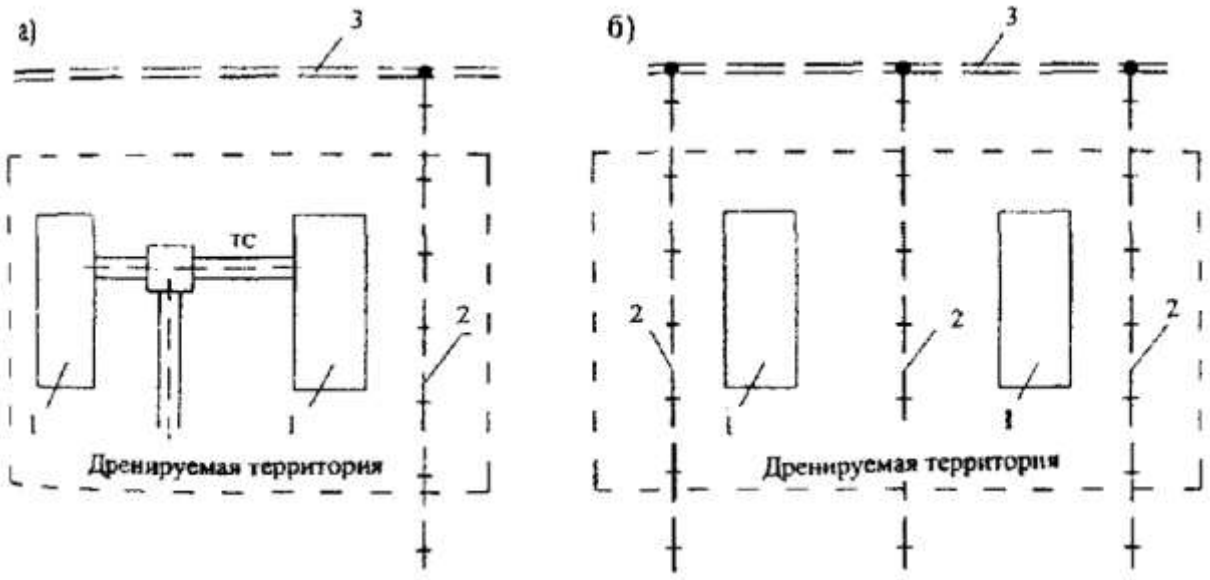
- *местные*, служащие для защиты от подтопления подземными водами отдельных сооружений.

К местным дренажам:

- кольцевой;
- пристенный;
- пластовый.

По *конструктивным признакам* дренажи подразделяют на:

- горизонтальные;
- вертикальные;
- комбинированные ;
- специальные.



Схемы дренажа:
а) головного; б) систематического
1 - подземные сооружения; 2 - дрены; 3 - водосточный коллектор

5.2.2. Горизонтальные дренажи

Открытые дрены – канавки и лотки, и *закрытые* беструбчатые дрены устраивают для непродолжительной эксплуатации на период проведения строительных работ. Наибольшее распространение получили трубчатые дрены, укладываемые в нижней части дренажных траншей, заполненных фильтрующим материалом.

В трубчатых дренажах используют следующие разновидности труб:

- асбестоцементные;
- бетонные и железобетонные;
- чугунные;
- керамические;
- пластмассовые;
- трубофильтры из пористого бетона на плотных заполнителях;
- трубофильтры из пористого полимербетона;
- и др.

Материал труб назначают в зависимости от степени агрессивности подземных вод и прочности материала с учетом глубины их заложения.

Глубина заложения труб из пористого полимербетона ограничена 5 м. Трубы из пористого бетона на плотных заполнителях укладывают на глубину свыше 8 м. Глубина заложения асбестоцементных труб определяется расчетом, а поливинилхлоридных труб назначается с учетом толщины их стенок. Бетонные, железобетонные и асбестовые трубы применяют только в неагрессивных по отношению к бетону средах.

Для фильтровых покрытий вокруг труб используют песчано-гравийные обсыпки, обертки из искусственных волокнистых материалов (геотекстиль), обмотки из нетканого рулонного материала, а также дренажные композиционные материалы – геокомпозиты.

Для дренажных труб, обмотанных рулонным фильтрующим материалом с перехлестом слоев, устраивают песчано-гравийную подготовку (подушку) толщиной не менее 100 мм. Если в основании залегают песчаные грунты, то допускается укладка труб на спланированное естественное основание.

Для обеспечения длительной работы фильтров дренажных труб используют геотекстильные материалы (водопроницаемые тканевые, нетканевые, вязаные и композиционные полотна из синтетических волокон), которые при высокой плотности и фильтрационной способности обеспечивают в наименьшей степени заиливание дренажных труб.

Геотекстиль выполняет три функции в массиве грунта – сепарацию, фильтрацию и армирование.

Из российских материалов, получивших широкое применение в подземном строительстве, следует отметить дорнит, разработанный ВНИИСтройполимером и Ростокинской фабрикой нетканых материалов (г. Москва); из зарубежных – Geolon голландской фирмы Nicolon, Heidelberger Vlies немецкой фирмы Gebruder Friedrich, Bidim французской фирмы Rhone-Poulenc, Polyfelt австрийской фирмы Polyfelt и другие.

5.2.3. Пластовый дренаж

Пластовый дренаж *защищает сооружение,* как *от гравитационной воды*, так и *от капиллярной влаги*. Такой дренаж устраивают в слабопроницаемых грунтах, где трубчатые и другие линейные конструкции малоэффективны. Вода из пластового дренажа отводится по трубчатым и беструбчатым дренам, лоткам и канавкам.

Под сооружениями пластовый дренаж выполняют однослойным или двухслойным.

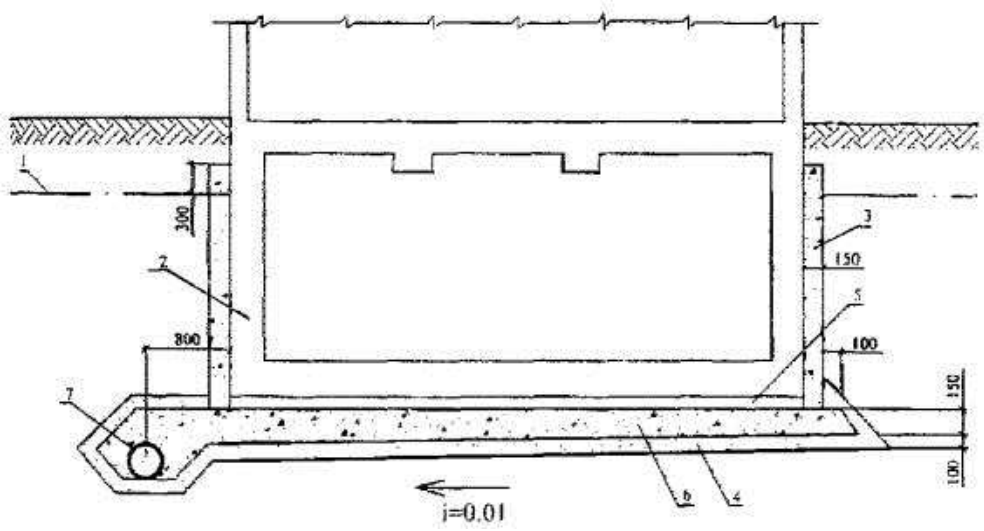


Схема пластового дренажа

1 - уровень подземных вод; 2 - подземное сооружение; 3 - пристенный дренаж;
4 - песчаный слой; 5 - защитное покрытие щебеночного слоя;
6 - песчано-гравийный или щебеночный слой; 7 - труба

Однослойный дренаж из щебня или гравия укладывают на скальные или полускальные трещиноватые грунты. Двухслойный дренаж выполняют в пылеватых и мелких песках и глинистых грунтах. Верхний слой отсыпается

из щебня или из гравия минимальной толщины 150 мм. Крупность щебня или гравия рекомендуется принимать 3 - 20 мм при коэффициенте неоднородности 5. Содержание глинистых или пылеватых частиц не должно быть более 3 %. Нижний слой отсыпается из песка средней крупности с минимальной толщиной слоя 100 мм.

5.2.4. Пристенный дренаж

Пристенный дренаж представляет собой вертикальный слой из проницаемого материала, устраиваемый с наружной стороны заглубленного сооружения, и выводится на отметку выше максимального уровня подземных вод на 0,3 м.

Пристенный дренаж прокладывается по контуру здания с наружной стороны.

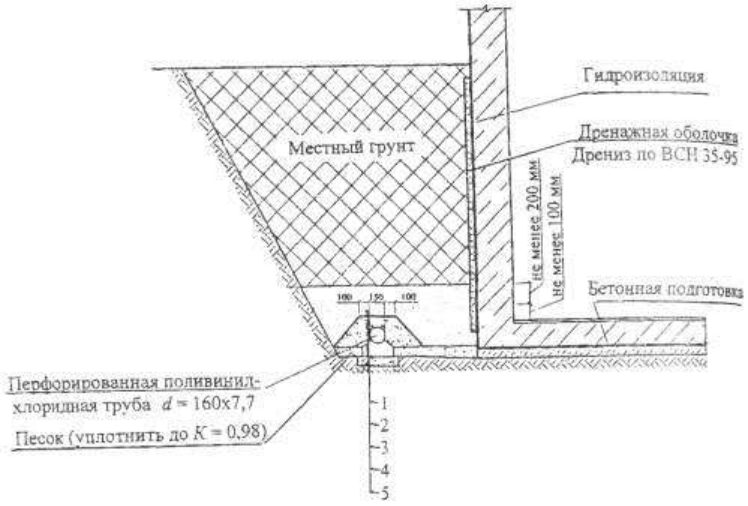


Схема пристенного дренажа с применением поливинилхлоридных труб и дренажной оболочки «Дренаж»

1 - песок $К_ф$ > 5 м/сек;

2 - дорнит или минерально-волокнистый материал по ОСТ 33-10-73;

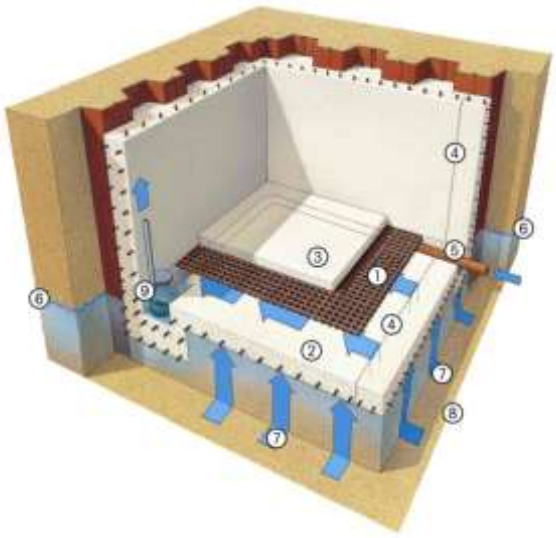
3 - гранитный щебень размером 3 - 10 мм;

4 - Бетон В15; 5 - гранитный щебень, втрамбованный в грунт

Конструкции пластовых и пристенных дренажей из пластмасс в сочетании с геотекстильными материалами являются наиболее эффективными.

Примером современного типа конструкций пристенного дренажа с

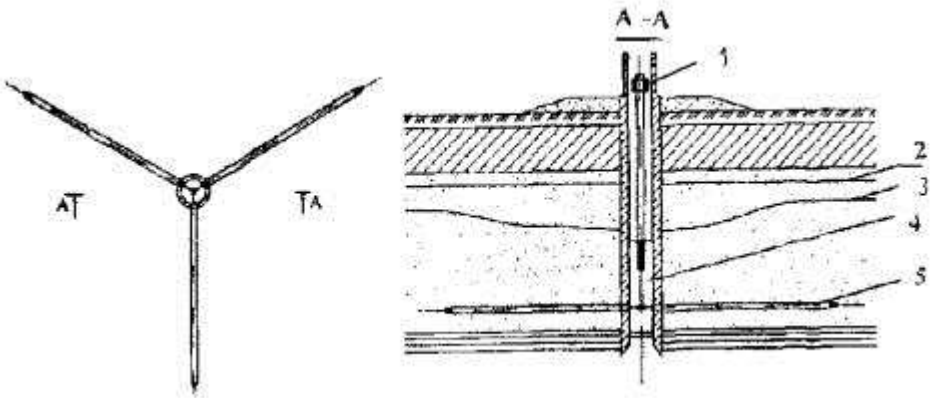
применением полимерных фильтрующих материалов являются оболочки «Дрениз».



Дренажная система Delta немецкой фирмы Dorken представляет собой одно-, двух- и трехслойную конструкцию, в составе которой имеется высокопрочное полиэтиленовое полотно с отформованными округлыми шипами.

5.2.5. Лучевые дренажи

Лучевые дренажи *устраивают в наиболее проницаемых грунтах* (песках, супесях) или когда слабопроницаемые грунты чередуются с обводненными прослойками. Лучевые дренажи целесообразно использовать на строительных площадках, расположенных в стесненных условиях городской застройки с густой сетью коммуникаций.



Лучевой дренаж

1 - водоприемник; 2 - естественный уровень подземных вод;
3 - пониженный уровень подземных вод; 4 - водосборный колодец;
5 - горизонтальная лучевая скважина

При лучевом дренаже совмещены горизонтальные трубчатые скважины с водосборным колодцем и водосборником. Горизонтальные скважины устраивают с помощью станков горизонтального бурения или проколом. Водосборный приемник выполняется методами «стены в грунте», опускного колодца и другими.

5.2.6. Вертикальные дренажи

Вертикальные дренажи предназначены для осушения грунтов с помощью вертикальных дренажно-поглощающих колодцев. Сброс воды осуществляют через специально сооружаемый центральный поглощающий колодец, к которому вода подается из всех дренажных колодцев.

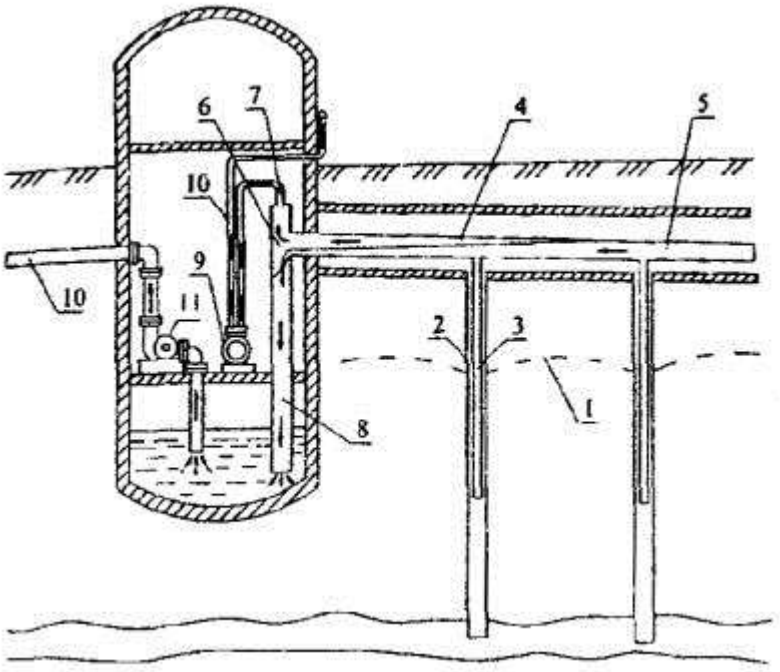


Схема вертикального дренажа с системой сифонного водоотвода

1 - уровень подземных вод; 2 - всасывающая труба; 3 - трубчатый колодец; 4 - сифонный трубопровод; 5 - галерея; 6 - воздухопроводная труба; 7 - воздушный котел; 8 - стояк сифона; 9 - вакуум-насос; 10 - выбросные трубы; 11 - центробежный насос

Трубчатый колодец (скважина вертикального дренажа) представляет собой вертикальную колонну труб, погружаемую в водоносную толщу. Колонна состоит из фильтровой части и надфильтровых труб. Если система имеет индивидуальную откачку, то в комплект колонны входит насос.

В трубчатых колодцах применяют фильтры разной конструкции (дыр-

чатые, щелевые, проволочные, каркасно-стержневые и др.) из стали, керамики, асбестоцемента, пластмассы и других материалов.

Фильтровую часть колодца оборудуют гравийно-песчаными обсыпками. В верхней части затрубного пространства устраивают глиняный замок, чтобы воздух не проникал к фильтру. Для откачки воды из скважин вертикального вакуумного дренажа используют вакуум-насосы или эжекторы, размещаемые в фильтровой части скважин.

При уровне подземных вод до 5 м от поверхности земли применяют центробежные насосы. При глубине динамического уровня воды в скважине более 10 м осуществляют индивидуальную откачку с использованием погружных насосов. При глубине этого уровня менее 10 м скважины объединяют в единую систему с помощью сифонных водоводов, а воду отводят к насосным станциям.

Для вертикального вакуумного дренажа используют трубчатые колодцы с надежной герметизацией их внутренней полости от проникания воздуха. Сеть трубчатых колодцев оборудуют системой автоматики для информации о работе дренажа

5.2.7. Комбинированные и специальные дренажи

Комбинированные дренажи устраивают, сочетая вертикальные самоизливающиеся скважины с горизонтальными дренами трубчатого или галерейного типа.

Для осушения оползневых склонов используют специальный вид дренажей – дренажные штольни. *Дренажные штольни* – это разновидность горизонтальных дрен, которые сооружают как закрытым подземным способом, так и траншейным способом. К числу таких дрен относятся дренажные прорезы, застенные откосные и трубчатые дренажи и другие.

Дренажные прорезы – открытые траншеи с деревянным креплением, заполняемые дренажным материалом. Устройство застенных дренажей предусматривают за подпорной стеной или на оползневом склоне.

Откосные дренажи – траншеи малой (около 0,5 м) глубины, заполненные фильтрующим материалом. Такие дренажи размещают на искусственно спланированных склонах.

5.3. Гидроизоляция подземных сооружений

5.3.1. Классификация гидроизоляции

В зависимости от назначения применяется гидроизоляция следующих видов:

- антифильтрационная;
- антикоррозийная;
- герметизирующая;
- теплогидроизоляционная.

Антифильтрационная гидроизоляция предназначена для защиты элементов подземных конструкций от воздействия вредных (химически агрессивных) поверхностных и подземных вод, а также для борьбы с электрокоррозией от блуждающих токов.

Герметизирующую гидроизоляцию используют для борьбы с прониканием вод через стыковые соединения конструкций подземных сооружений.

Теплогидроизоляция, помимо защиты от воздействия подземных вод, выполняет еще роль теплоизоляции.

По способу устройства гидроизоляцию подразделяют на:

- окрасочную;
- штукатурную;
- оклеечную;
- литую;
- плиточную;
- инъекционную;
- засыпную.

По виду материала гидроизоляции различают:

- цементную;
- асфальтовую;
- битумную;
- полимерцементную;
- полимерную (из пластмасс и эластомеров);
- металлическую;
- и др.

Гидроизоляцию подразделяют также по электроизоляционной надежности:

- на нормальную (электрическое сопротивление изолированной конструкции не ниже 10^4 Ом·м);
- усиленную (не ниже 10^5 Ом·м).

Для гидроизоляции подземных сооружений применяют первичную и вторичную защиту конструкций.

Первичная защита предполагает устройство конструкций из материалов повышенной химической стойкости и водонепроницаемости.

В качестве первичной защиты подземных сооружений (наиболее эффективной для монолитных конструкций) прогрессивным является *применение бетонов с требуемыми показателями водонепроницаемости, химической стойкости и морозостойкости* на основе использования различного рода уплотняющих, пластифицирующих, ингибирующих и комбинированных добавок.

В агрессивных средах применяют бетоны с повышенными защитными свойствами – полимерцементные растворы, полимербетоны и др.

В настоящее время разработаны бетоны на микрокремнеземах, суперпластификаторах и других добавках, которые обеспечивают водонепроницаемость до W20.

Эффективной первичной защитой, особенно в сильно агрессивных сре-

дах, являются *конструкционные полимеры* (композиты), обладающие во многих средах более высокой химической стойкостью, чем нержавеющие стали, алюминий, титан.

Для *вторичной гидроизоляции* конструкций от подземных вод следует применять:

- лакокрасочные;
- мастичные;
- пропиточные;
- штукатурные;
- оклеечные;
- и другие материалы,

обладающие стойкостью в агрессивной среде

Выбор материала гидроизоляции и технологии ее устройства для защиты сооружения *определяется* следующими *факторами*:

- гидростатическим давлением воды;
- допустимой влажностью помещений по СНиП II-3-79*;
- трещиноватостью изолируемых конструкций;
- агрессивностью среды по СНиП 2.03.11-85, СТ СЭВ 2440-80;
- конструктивным типом сооружения, механическими и температурными воздействиями и др.

5.3.2. Оклеечная гидроизоляция

В массовом строительстве наиболее распространены окрасочная, оклеечная и штукатурная гидроизоляции.

Применение *оклеечной гидроизоляции* целесообразно в случаях, *когда использование окрасочной и штукатурной гидроизоляции не обеспечивают водонепроницаемость сооружений*.

Оклеечную гидроизоляцию устраивают из рулонных, пленочных и листовых материалов. Она может быть *из битумных рулонных материалов и из листовых полимерных материалов* (не имеют в составе битумов и дегтей).

5.3.3. Литая гидроизоляция

Литую гидроизоляцию применяют *для заполнения щелей и швов подземных строительных конструкций*.

Для этой цели используют горячий битум, пек, асфальтовый раствор (асфальтобетон), а также различного рода герметики (герметизирующие мастики) и профильные эластичные элементы. Профильные элементы выполняют из пластиковых масс или полосовой пленки стеклопластиков и пропитанных нефтяными битумами рулонных материалов.

5.3.4. Листовая гидроизоляция

В качестве монтируемой листовой гидроизоляции применяют *металлические (стальные) или полимерные синтетические листы*, которые закрепляют на конструкции (металлическую гидроизоляцию в связи с ее высокой стоимостью применяют в исключительных случаях).

Полиэтиленовая листовая гидроизоляции стен

Для металлической гидроизоляции применяют листовую сталь класса ВСт3 или низколегированную сталь марок 14Г2, 12ГС и 16ГС. Стальные листы в процессе эксплуатации должны подвергаться периодическому освидетельствованию для контроля их коррозионной устойчивости.

Для повышения коррозионной стойкости и долговечности стали применяют лакокрасочные покрытия, напыление металлических покрытий или используют металлизационно-лакокрасочные покрытия.

5.3.5. Полимерная гидроизоляция

В качестве монтируемой полимерной гидроизоляции применяют полимербетонные и полимерсиликатные плиты. Полимерные, рулонные и листовые материалы соединяют сваркой.

5.3.6. Засыпная гидроизоляция

Засыпная гидроизоляция – способ защиты подземных строительных конструкций от увлажнения, основанный на использовании *способов гидрофобизации*.

Засыпная гидроизоляция состоит из частиц песка или золы уноса ГРЭС, которые покрывают тончайшей пленкой поверхностно-активного вещества и засыпают в щели толщиной до 250 мм вокруг подземных конструкций.

5.3.7. Инъекционная гидроизоляция

Инъекционная гидроизоляция, используемая *для повышения водонепроницаемости конструкций*, включает методы силикатизации, цементации, смолизации и битумизации.

Цементация используется для устранения трещин и пустот в конструкциях при водопоглощении свыше 0,05 л/мин на 1 м^2 скважины. Нагнетание растворов производится через шпуры и скважины, пробуренные в теле конструкции.

Раздел 6
МОНИТОРИНГ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

6.1. Геотехнический мониторинг

6.1.1.Назначение, цели и задачи мониторинга

Мониторинг следует выполнять в процессе строительства подземных сооружений, а в необходимых случаях и в начальный период их эксплуатации.

Мониторинг, как правило, следует организовывать:

- для строящихся подземных сооружений I уровня ответственности;
- для строящихся подземных сооружений II уровня ответственности в сложных инженерно-геологических условиях;
- для существующих зданий и сооружений, попадающих в зону влияния подземного строительства в условиях тесной застройки, а также в других случаях, предусмотренных техническим заданием.

В состав проекта строительства подземных сооружений следует включать требования к проведению мониторинга.

Мониторинг подземных сооружений предназначен для обеспечения надежности строительства подземных сооружений и сохранения зданий и сооружений, находящихся в зоне их влияния, а также защиты окружающей среды с учетом возможных негативных последствий строительства.

Целью мониторинга является оценка воздействия строительства подземного сооружения:

- на окружающие здания и сооружения;
- на атмосферную, геологическую и гидрогеологическую среду в период строительства и эксплуатации;
- разработка прогноза изменения их состояния;

- своевременное выявление дефектов конструкций;
- предупреждение и устранение негативных процессов;
- уточнение результатов прогноза и корректировка проектных решений.

В задачи мониторинга входит разработка решений по обеспечению сохранности и надежности окружающей застройки, предупреждению и устранению дефектов конструкций зданий и сооружений, недопущению негативных изменений окружающей среды, а также осуществление контроля за выполнением принятых решений.

В процессе мониторинга должен рассматриваться весь комплекс статических, динамических и иных техногенных воздействий, приводящих к качественному и количественному изменению характеристик состояния зданий и сооружений (под воздействием строительства подземных сооружений), в т.ч. к потере ими пригодности к эксплуатации. В случае необходимости должны разрабатываться конструктивные или иные меры защиты для обеспечения их эксплуатационной надежности.

При проведении мониторинга, как правило, следует определять:

- осадки, крены и горизонтальные смещения конструкций подземного сооружения, а также окружающих зданий и сооружений, расположенных в зоне влияния строительства;
- техническое состояние конструкций строящегося подземного сооружения и окружающих зданий и сооружений;
- деформации ограждающих и распорных конструкций и значения усилий в них;
- усилия в анкерах конструкций;
- напряжения и деформации в грунтовом массиве;
- пьезометрические напоры воды в грунтовом массиве;
- расходы воды, фильтрующей в массиве грунта, вмещающем подземные сооружения;

– температуру грунтов в массиве;
– эффективность работы дренажных, водопонизительных и противофильтрационных систем;
– уровень колебаний подземного сооружения при его строительстве рядом с тоннелями метрополитена и другими источниками вибрационных и динамических воздействий.

При строительстве подземных объектов в районах с плотной застройкой и наличием исторических памятников и памятников архитектуры мониторинг осуществляется под руководством научно-технического координационного совета, который создается из представителей заказчика, проектировщика, строительной организации и районных органов надзора и контроля, а также в случае необходимости - органов охраны исторических памятников.

Мониторинг должен проводиться по специально разработанному проекту или программе. К выполнению мониторинга должны привлекаться специализированные организации, имеющие лицензии на проведение этих работ.

6.1.2. Состав мониторинга

Состав и объем мониторинга должны назначаться в зависимости от уровня ответственности сооружений, их конструктивных особенностей, категории сложности инженерно-геологических условий, способа возведения подземного сооружения, плотности окружающей застройки и других условий.

В составе мониторинга необходимо предусматривать:

- сбор и анализ технических данных по конструкциям подземных и надземных частей зданий и сооружений;
- обследование существующих зданий и сооружений, в том числе подземных коммуникаций, попадающих в зону влияния нового строительства;
- разработку требований по допускаемым предельным деформаци-

ям зданий и сооружений;

- определение расчетных величин геотехнического прогноза, включая оценку влияния подземного строительства и производства работ на существующие здания и сооружения;
- разработку мероприятий по устранению негативных последствий подземного строительства.

Мониторинг целесообразно осуществлять с использованием комплексной автоматизированной программы, позволяющей оперативно выявлять все возникающие отклонения, устанавливать необходимые взаимосвязи и регулировать весь процесс в целом.

6.1.3. Общие требования к мониторингу

Выбор системы наблюдений производят в зависимости от целей и задач мониторинга, результатов расчетных прогнозов, скорости протекания процессов, точности измерений и продолжительности их во времени.

Точность систем наблюдений назначается в зависимости от величин расчетных прогнозов и *должна обеспечивать достоверность получаемой информации*, а также соответствовать требованиям согласованности в пространстве и во времени применяемых различных систем наблюдений.

Приборы и оборудование, используемые для наблюдений, должны быть сертифицированы и аттестованы в соответствии с требованиями Госстандарта России.

Точки измерений и частоту наблюдений необходимо назначать в зависимости от величин расчетных прогнозов, интенсивности изменений наблюдаемых величин, масштабов освоения подземного пространства, конструктивных особенностей зданий и сооружений.

6.1.4. Система мониторинга

На стадии проектирования до проведения мониторинга должны быть разработаны и определены:

- основные эксплуатационные требования к зданиям и сооружени-

ям и окружающей среде;

- расчетный прогноз значений деформаций и усилий;
- программа наблюдений;
- системы наблюдений.

На стадии строительства должны выполняться:

- установка систем наблюдений;
- производство наблюдений.

Оценка принятых критериев выполнения эксплуатационных требований производится на основе результатов сравнения расчетных и наблюдаемых значений деформаций и усилий. В необходимых случаях производится разработка дополнительных мероприятий по обеспечению эксплуатационной надежности строящегося подземного сооружения и окружающих эксплуатируемых зданий.

6.2. Инженерно-геологический мониторинг

В процессе изысканий в необходимых случаях следует *выполнять мониторинг отдельных компонентов геологической среды*, который может продолжаться в период строительства, а при необходимости и в период эксплуатации зданий и сооружений.

Мониторинг проводится в соответствии с заранее разработанным проектом и включает в себя:

- систему стационарных наблюдений за отдельными компонентами геологической среды;
- оценку результатов наблюдений и прогноз изменения геологической среды в связи со строительством.

Состав, объем, и методы мониторинга должны назначаться в зависимости от инженерно-геологических и гидрогеологических условий площадки, способа возведения объекта строительства, его конструктивных особенностей и уровня ответственности, удаленности окружающей существующей застройки и в соответствии с результатами геотехнического прогноза.

Натурные наблюдения, выполняемые в процессе мониторинга, могут

включать:

а) наблюдения за состоянием основания и массива грунта и гидрогеологической обстановкой:

- наблюдения за изменением физико-механических свойств грунтов;
- измерения напряжений и деформаций в грунтовом массиве;
- наблюдения за составом и режимом подземных вод;
- наблюдения за развитием неблагоприятных инженерно-геологических процессов (карст, суффозия, оползни, оседание поверхности и др.);
- наблюдения за состоянием температурного, электрического и других физических полей;

б) наблюдения за изменением окружающей природной среды:

- при опасности загрязнения грунтов и подземных вод;
- при газовыделении, радиационном излучении и т.п. (геоэкологический мониторинг).

На основе полученных результатов натурных наблюдений уточняются прогнозы, касающиеся изменения физико-механических свойств грунтов, напряженно-деформированного состояния грунтового массива и гидрогеологического режима, активизации и развития неблагоприятных геологических и инженерно-геологических процессов.

По результатам мониторинга проектная организация может произвести корректировку проектного решения.

При выполнении инженерно-геологического *мониторинга применяют следующие виды работ*:

для наблюдений за изменением состояния грунтового массива:

- бурение;
- полевые и лабораторные исследования грунтов;
- геофизические исследования;

для контроля за изменением гидрогеологического режима, в том числе развитием депрессионной воронки или подтопления:

- устройство системы наблюдательных скважин.

Общие требования, предъявляемые к мониторингу:

– *комплексность*, заключающаяся в том, что все наблюдения должны производиться согласованно между собой в пространстве и во времени;

– *установка всех точек наблюдений в наиболее характерных местах*;

– *частота наблюдений* определяется интенсивностью и длительностью протекания наблюдаемых процессов;

– *точность измерений* должна обеспечивать достоверность получаемой информации и должна быть согласована с точностью расчетов;

– *по результатам* мониторинга должен быть *составлен отчет*.

6.3. Экологический мониторинг подземных вод

Основными задачами экологического мониторинга подземных вод на стадии рабочей документации или рабочего проекта *являются*:

- разработка системы оперативного контроля и своевременного обнаружения истощения и загрязнения подземных вод и подтопления территорий;
- оценка динамики гидрогеодинамических (истощение, подтопление), гидрогеохимических (химическое загрязнение) и гидрогеотермических (тепловое загрязнение) показателей;
- изучение и оценка закономерностей динамики миграции загрязняющих веществ в зоне аэрации и в подземных водах;
- составление прогноза характера течения процессов загрязнения и истощения подземных вод, подтопления и затопления территорий, активизации карстово-суффозионных процессов, оседания и просадки поверхности земли и т.д.;
- контроль и оценка эффективности природоохранных мероприятий.

Получаемая при экологическом мониторинге подземных вод гидрорежимная информация должна обеспечивать оценку:

- геоэкологического состояния подземных вод;
- условий взаимодействия подземных вод с окружающей средой;
- прогнозов режима подземных вод, в том числе и прогнозов геоэкологических процессов;
- состояния грунтов зоны аэрации;
- баланса подземных вод в естественных и нарушенных условиях;
- пространственно-временных закономерностей режима, фильтрационных и миграционных параметров подземных вод;
- характеристик зон техногенных нарушений в подземных водах.

Созданию плана размещения наблюдательных сетей должно предшествовать эколого-гидрогеологическое районирование, на базе которого и намечаются наблюдательные точки мониторинга подземных вод.

По целевому назначению экологический мониторинг подземных вод предусматривает создание четырех видов наблюдательных сетей:

1) наблюдательных сетей в зоне влияния очагов техногенеза;

2) наблюдательных сетей в пределах всей стройплощадки;

3) наблюдательных сетей на сопредельных территориях для вычленения влияния внешних факторов загрязнения;

4) фоновых наблюдательных скважин.

В состав режимной сети для гидрохимических наблюдений, изучения и контроля загрязнения подземных вод входят скважины специализированной наблюдательной сети и пункты гидрохимического опробования по эксплуатационным скважинам. Наблюдения за режимом температуры подземных вод проводятся в скважинах гидрогеотермической сети.

Продолжительность функционирования наблюдательной сети должна быть определена из конкретных природных условий и характера и степени воздействия объекта на экологическое состояние подземных вод. При необ-

ходимости наблюдения могут быть продолжены в течение всего периода эксплуатации.

Гидрогеоэкологическое прогнозирование осуществляется на основе геофильтрационных и геомиграционных моделей. Размеры моделируемой области геофильтрации и геомиграции не должны ограничиваться строительной площадкой и должны определяться размером области возможного влияния объекта на изменение уровней и загрязнение подземных и поверхностных вод. В область влияния должны быть включены располагающиеся по соседству со строительной площадкой водоохранные зоны рек, зеленые насаждения, парки, пруды, жилые массивы, площадки отдыха и другие природные и социальные объекты.

При выборе положения нижней границы области влияния в гидрогеологическом разрезе необходимо учитывать сложность геологического строения и гидрогеологических условий территории, глубину и размеры подземного сооружения.

Границы области возможного влияния объекта строительства на подземные и поверхностные воды в плане и разрезе, методика проведения прогнозных расчетов должны определяться и уточняться на стадии разработки проектной документации специалистами или организацией, специализирующейся на выполнении прогнозных гидрогеоэкологических расчетов.

Для разработки моделей используются картографические материалы, которые получены в результате анализа и обработки материалов инженерно-геологических и геоэкологических изысканий, а также следующие фондовые материалы:

- геологическое строение площадки;
- буровые колонки скважин с указанием водопроявлений;
- гранулометрический состав водовмещающих отложений;
- коэффициенты фильтрации водовмещающих отложений, полученные лабораторными способами и при проведении опытно-фильтрационных работ;

- результаты геофизических исследований;
- данные режимных наблюдений за уровнем подземных вод;
- химический состав подземных и поверхностных вод.

По материалам геоэкологических исследований должен быть составлен отчет.